



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОДНЫХ РЕСУРСОВ



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«РОССИЙСКИЙ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ И
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ЦЕНТР»

ВОДОХРАНИЛИЩА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ: СОВРЕМЕННЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ, СОСТОЯНИЕ, УПРАВЛЕНИЕ

**Сборник материалов Всероссийской
научно-практической конференции**

23-29 сентября 2019 года, г. Сочи

Ростов-на-Дону
2019

УДК 556.182(470+571)(082)
ББК 65.45(2)я43
В 623

Редакционная группа:

д-р техн. наук **А.Е. Косолапов;**
д-р техн. наук **М.В. Болгов;**
д-р техн. наук **А.Ю. Александровский;**
д-р техн. наук **А.Т. Зиновьев;**
д-р физ.-мат. наук **Е.В. Веницианов;**
д-р геол.-минерал. наук **Р.Г. Джамалов;**
д-р геогр. наук, чл.-корр. РАН **А.А. Тишков;**
д-р геогр. наук **А.Н. Махинов;**
д-р геогр. наук **Ш.Р. Поздняков;**
д-р геогр. наук **Ивлиева О.В.;**
д-р геогр. наук **Беспалова Л.А.**

В 623 Водохранилища Российской Федерации: современные экологические проблемы, состояние, управление: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, г. Сочи, 23-29 сентября 2019 г. – Новочеркасск: Лик, 2019. – 500 с.

ISBN 978-5-907158-45-0

В настоящем сборнике опубликованы доклады, представленные на Всероссийскую научно-практическую конференцию «Водоохранилища Российской Федерации: современные экологические проблемы, состояние, управление» (г. Сочи, 23-29 сентября 2019 г.), в которых рассматриваются вопросы управления режимами работы водохранилищ и их каскадами, развития методов проведения мониторинга, оценки качества вод и экологического состояния водохранилищ.

УДК 556.182(470+571)(082)
ББК 65.45(2)я43

ISBN 978-5-907158-45-0

- © Федеральное агентство водных ресурсов, 2019
- © Федеральное государственное бюджетное учреждение Российский информационно-аналитический и научно-исследовательский водохозяйственный центр, 2019

ПРЕДИСЛОВИЕ

Основная цель Всероссийской научно-практической конференции «Водохранилища Российской Федерации: современные экологические проблемы, состояние, управление» – обмен опытом в области управления режимами работы водохранилищ и их каскадами, организации методов мониторинга, оценки качества вод и экологического состояния водохранилищ и их реабилитации.

Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции «Водохранилища Российской Федерации: современные экологические проблемы, состояние, управление» содержит доклады представителей ведущих научных коллективов в области использования, управления и охраны водных объектов, среди которых академические и научно-исследовательские институты, крупные вузы страны; территориальные органы и подведомственные организации Росводресурсов и других ведомств; специалисты проектных и производственных организаций.

В сборнике собраны материалы конференции, сгруппированные по основным тематическим направлениям, среди которых:

- совершенствование методов управления режимами работы водохранилищ;
- применение современных информационных технологий, математических моделей и методов для оптимизации режимов работы водохранилищ в различных гидрологических условиях;
- оценка состояния водохранилищ и их влияния на природную среду;
- развитие методов проведения мониторинга состояния дна, берегов и водоохраных зон водохранилищ с использованием методов дистанционного зондирования земли (ДЗЗ), беспилотных летательных аппаратов (БЛА) и современных информационных технологий;
- опыт управления крупнейшими водохранилищами Российской Федерации и их каскадами;
- современные методы оценки качества вод, экологического состояния и реабилитации водохранилищ;
- оценка рисков и опасности проявления негативных эндогенных и экзогенных процессов в береговой зоне водохранилищ.

Материалы конференции представляют интерес для научных работников и специалистов, занимающихся вопросами использования и управления водными ресурсами.

СЕКЦИЯ I.
УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ ВОДОХРАНИЛИЩ
И ИХ КАСКАДАМИ: ПРОБЛЕМЫ, СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ
И МОДЕЛИ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАСКАДАМИ ВОДОХРАНИЛИЩ
В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Александровский А.Ю.¹, Борщ П.С.²

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва

¹*E-mail: ayaleksand@mail.ru*

²*E-mail: pborsch@mail.ru*

Аннотация. В статье приведена оценка цикличности колебаний стока рек Ангаро-Енисейского и Волжско-Камского каскадов для выявления закономерности изменения речного стока р. р. Ангара, Енисей, Волга, Кама, что в дальнейшем может быть использовано для оптимизации режимов работы ГЭС данных каскадов.

Ключевые слова: речной сток, асинхронность речного стока, Волжско-Камский каскад, Ангаро-Енисейский каскад, компенсированный энергетический режим, ГЭС.

PROBLEMS OF RESERVOIR CASCADES MANAGEMENT
UNDER MODERN CONDITIONS

Alexandrovsky A.Yu., Borshch P.S.

FGBOU HE "National Research University "MEI", Moscow

Abstract. The article assesses the cyclical nature of fluctuations in the river flow of the Angara-Yenisei and Volga-Kama cascades to identify patterns of changes in the flow of the Angara, Yenisei, Volga, Kama Rivers, which can later be used to optimize the operation modes of Hydraulic Power Plants (hPP) of these cascades.

Keywords: river flow, asynchronism of river flow, Volga-Kama cascade, Angara-Yenisei cascade, compensated energy mode, HPP.

Эксплуатация крупных водохранилищ ГЭС в условиях рыночных отношений выявила ряд проблем использования их энергетических возможностей в энергосистемах. К этим проблемам относятся, с одной стороны, изменения водноэнергетических показателей, связанные с ужесточением требований неэнергетических водопользователей и охраны окружающей среды к уровню режиму в нижних и верхних бьефах гидроузлов. С другой стороны, в условиях эксплуатации в практике последнего времени имеют место случаи резкого изменения нагрузки, когда выполненный проект выдачи мощности станции в энергосистему не отвечает сложившимся условиям.

Выход потребителя, находящегося в местном районе, может носить неожиданный, не прогнозируемый характер и объясняться мировой конъюнктурой на тот или иной вид продукции.

Еще одной проблемой, возникшей в последние годы, является обеспечение эффективного использования энергии, вырабатываемой ГЭС, имеющей переменный в многолетнем и годовом разрезах характер. Особенно остро данная ситуация будет иметь место в энергосистемах с большим удельным весом электростанций на возобновляемых источниках, режим работы которых может зависеть от требований конкретных заинтересованных потребителей.

Оценка цикличности колебаний стока рек Ангаро-Енисейского и Волжско-Камского каскадов позволяет выявить закономерности изменения речного стока р. р. Ангара, Енисей, Волга и Кама. Подобная оценка может быть использована при оптимизации совместных режимов работы ГЭС данных каскадов.

Выявление цикличности колебаний речного стока, а также выявления асинхронности водного режима р. р. Волга, Кама, Енисей и Ангара является первым этапом к определению возможности использования взаимной компенсации в работе водноэнергетических систем.

Для оценки цикличности колебания речного стока в работе рассматривается весь год, при этом определяется изменение водности, характеризующееся чередованием маловодных и многоводных группировок различной продолжительности и разной величиной отклонения от среднего многолетнего значения стока за рассматриваемый период.

Оценка цикличности колебаний речного стока для р. Ангара проводится по стоку оз. Байкал, так как последнее оказывает регулирующее влияние на сток. Для р. Волга оценка проводится по стоку Рыбинского водохранилища, для р. Кама – по стоку Камского водохранилища, для р. Енисей – по стоку Саяно-Шушенского водохранилища.

В качестве исходной информации в работе принимается величина объема полезного притока в оз. Байкал и бокового притока в Камское, Рыбинское и Саяно-Шушенское водохранилища за рассматриваемый период. Расчеты проводятся для второго квартала.

Первоначально определяется объем речного стока за рассматриваемый период. Далее строятся разностные интегральные кривые притока воды в каждое из водохранилищ, на основе которых определяется цикличность колебания речного стока.

Для каждого водохранилища расчет нормы стока проводился для второго квартала. Далее считается величина среднеквадратичного отклонения и коэффициента вариации и строится разностная интегральная кривая притока воды в каждое водохранилище.

В результате построения разностных интегральных кривых, а также хода величины речного стока, можно сделать вывод о цикличности колебаний речного стока.

Для выявления общих закономерностей циклических колебаний речного стока, во избежание излишней детализации при дифференциации стока по обеспеченности, принимаются только три основные градации: многоводные, средние и маловодные годы. При разбивке водности лет на эти группы были приняты следующие градации: многоводные – 1-25 %, средние – 26-74 % и маловодные – 75-99 %.

Обеспеченность стока n -летки определяется по соответствующему среднему модульному коэффициенту стока этой n – летки, который вычисляется по разностным интегральным кривым и коэффициенту вариации стока данной n – летки - C_{np} - с помощью таблицы Фостера-Рыбкина.

Выделение маловодных, средних и многоводных фаз циклических колебаний годового, половодного и меженного стоков проводится с помощью разностных интегральных кривых по основным переломным точкам. В результате выполненного анализа можно сделать вывод о количестве маловодных и многоводных группировок и их чередовании.

Как видно из исследования, прослеживается четкая закономерность цикличности колебания речного стока для оз. Байкал и Рыбинского водохранилища. При этом фазы многоводных, средневодных и маловодных лет не совпадают и асинхронны. Аналогичная картина наблюдается и для других створов Волжско-Камского и Ангаро-Енисейского каскадов.

При проведении анализа синфазности и асинфазности стока рек Ангаро-Енисейского и Волжско-Камского каскадов использовались ранее построенные интегральные кривые стока, а также рассчитанные коэффициенты корреляции между значениями годового стока разных рек. При оценке коэффициентов корреляции была учтена ошибка их определения в зависимости от величины самого коэффициента корреляции r и числа лет одновременных наблюдений в сравниваемых створах.

При сравнительном анализе совместных лет наблюдений за стоком наблюдается асинхронность речного стока Рыбинского водохранилища и оз. Байкал. При этом стоит выделить ряд лет, когда наблюдается синхронность стока, что можно объяснить применяемым при расчете графоаналитическим

методом, который предполагает достаточно большие оценочные интервалы лет. Кроме того, в качестве исходных данных использовались обобщенные данные по приточности в оз. Байкал и по боковой приточности в каждое водохранилище. Данный подход является обобщающим и усредненным, в связи с чем возможна погрешность при статистической оценке.

Выводы:

1. Выполненные расчеты подтверждают цикличность колебаний речного стока и асинфазность водного режима р. р. Волга, Кама, Енисей и Ангара.

2. Выявление цикличности колебаний речного стока, а также выявления асинхронности водного режима р. р. Волга, Кама, Енисей и Ангара являются первым этапом к определению возможности использования взаимной компенсации в работе водноэнергетических систем, а также применению компенсированного энергетического режима для ГЭС Волжско-Камского и Ангаро-Енисейского каскадов.

3. Введение совместного компенсированного энергетического режима для Волжско-Камского и Ангаро-Енисейского каскадов может повысить эффективность их использования, при этом компенсированный режим может проводиться по зонам асинхронности стока рек.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда РФ (грант 18-19-00662).

Список литературы

1. Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 425с.
2. Сванидзе Г.Г. Математическое моделирование гидрологических рядов. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 296с.
3. Музылев С.В., Привальский В.Н., Раткович Д.Я. Стохастические модели в инженерной гидрологии. М.: Наука, 1982. 174с.
4. Цветков Э.И. Методические погрешности статистических измерений. Л.: Энергоатомиздат, 1984. 304с.
5. Гидрологические основы гидроэнергетики / под ред. А.Ш. Резниковского М.: Энергоатомиздат, 1989. 263с.

© Александровский А.Ю., Борщ П.С., 2019

ОЗЕРА-ВОДОХРАНИЛИЩА НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ВАЛДАЙСКИЙ» И ИХ ВКЛАД В ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕРХНЕ-ВОЛЖСКОЙ И НЕВСКО-ЛАДОЖСКОЙ ВОДНЫХ СИСТЕМ

Тишков А.А., Белоновская Е.А., Царевская Н.Г.

Институт географии РАН, Москва, Россия

E-mail: tishkov@igras.ru

Аннотация. В докладе обосновывается возможность учета, в рамках оценки объемов и стоимости экосистемных услуг, национального парка «Валдайский», вклада озер-водохранилищ в экологическое состояние Верхне-Волжской и Невско-Ладужской водных систем, что важно как для формирования будущего межрегионального рынка экологических компенсаций и платежей, так и для повышения качества водопользования в самых густонаселенных регионах России – Санкт-Петербурга и Москвы.

Ключевые слова: озера-водохранилища, экосистемные услуги, плата за воду, национальный парк Валдайский, сток, защита почв, биопродукционная и ассимиляционная функции, чужеродные виды.

LAKES-RESERVOIRS OF THE VALDAI NATIONAL PARK AND THEIR CONTRIBUTION TO THE ECOLOGICAL STATE OF THE UPPER VOLGA AND THE NEVA-LADOGA WATER SYSTEMS

Tishkov A.A., Belonovskaya E.A., Tsarevskaya N.G.

Institute of geography RAS, Moscow, Russia

Abstract. The report substantiates the possibility of accounting for the contribution of lakes - reservoirs to the ecological state of the Upper Volga and Nevsko-Ladoga water systems within the assessment of the volumes and cost of the Valdai national park, ecosystem services which is important for both the future interregional market of environmental compensation and payments, and improving the water use quality in the most densely populated regions of Russia – St. Petersburg and Moscow.

Keywords: lakes-reservoirs, ecosystem services, payment for water, Valdai national park, runoff, soil protection, bioproduction and assimilation functions, alien species.

Валдайская возвышенность – один из нескольких глобальных водоразделов планеты, сохраняющих истоки рек 3-х морей – Черного (р. Днепр), Каспийского (р. Волга) и Балтийского (р. р. Западная Двина, Валдайка, Березайка и др.). Издавна сток из крупнейших озер возвышенности (а с 1990 г. – национального парка Валдайский), был зарегулирован, и озера функционировали как водохранилища. С одной стороны, установленный режим в сочетании с влиянием многолетнего аграрного производства и рекреации содействовал развитию здесь процессов эвтрофикации, что установила еще в 1960-х гг. гидробиологическая экспедиция Института географии РАН под руководством профессора Л.Л. Россолимо. А с другой стороны, регулирование стока в значительной степени содействовало накоплению воды, усиле-

нию водообмена ниже по течению и увеличению стока, в целом. Создание национального парка непосредственно в центре «Великого водораздела» привело к тому, что существенно возросли затраты на охрану и мониторинг состояния экосистем, обеспечивающих водный сток для водопотребления 2-х столиц России, но эта, нехарактерная для особо охраняемой природной территории функция (сток качественной питьевой воды), никак не компенсируется. Кроме того, высоки издержки местного населения и малого аграрного и рекреационного бизнеса, имеющие существенные ограничения для ведения хозяйства. Затраты на обеспечение качества воды в озерах и их стока настолько велики, что, естественно, встает вопрос о компенсации национальному парку этих издержек. О чём идет речь? Прежде всего, о принятой во всем мире практике компенсации экосистемных услуг – «Платежей за услуги по обеспечению водой определенного качества» [5; 2; 3; 6].

На территории парка действует, как минимум, 3 системы озер-водохранилищ, включающих более 50 озер (из почти 200 на территории парка), которые формируют сток воды высокого качества для Верхне-Волжской и Невско-Ладожской водных систем. Они находятся в режиме водохранилищ, их сток и уровень соответствующим образом регулируется, а управление режимом, как сложилось исторически, находится вне национального парка – в соответствующих Бассейновых управлениях.

Озеро Велье, расположенное севернее оз. Селигер и, как и его Полновский плёс, целиком располагается на территории национального парка. Оно вытянуто с севера на юг более чем на 25 км, имеет около 200 больших и малых островов, средняя глубина – 9-10 м, площадь – 35,0 км² (меняется в разные сезоны, в зависимости от водозабора). В озеро впадает несколько небольших рек. Естественный сток – через р. Явонь – частично перекрыт с помощью плотины, из-за чего уровень озера поднят на несколько метров. Часть стока оз. Вельё поступает в Вышневолоцкую водную систему через искусственный канал в восточной части озера в р. Либья. Вода в озере пригодна для питья.

Озеро Валдайское – площадь без островов составляет 19,7 км²; средняя глубина – 12 м (максимальная – 60 м). В средней части расположен о. Рябиновый, делящий озеро на два плёса. Озеро соединено с оз. Ужин каналом «Копкой», который был построен в 1862 г. на месте р. Федосеевка (около 150 м). Плотина на р. Валдайка построена в 1958 г. вместо ранее существовавшей деревянной ряжевой плотины. Расход 8-10 м³/с. Начало регулирования

стока р. Валдайка для подпитывания Вышневолоцкого водного пути и лесосплава в бассейне р. Мста относится к XVIII в. В 1925 г. проведена батиметрическая съемка Валдайского водохранилища, предполагалось его использование в качестве водоема-накопителя для проектируемой Шуйской ГЭС. В 1930 г. бейшлот был восстановлен для обеспечения лесосплава и работы Шуйской мельницы – мельничная плотина была расположена в 0,8 км ниже по течению Валдайки. Рубка леса на водосборе оз. Ужин и его переплав Кошелевым методом и плотами по 3000-4500 м³ через «Копку» в Валдайское озеро проходили в 1943-1954 гг. В 1950 г. закончилось строительство Шуйской ГЭС на р. Валдайка в 8 км ниже её истока, и начались попуски воды из Валдайского водохранилища для Шуйской ГЭС.

Каскад из Байневского, Боровновского, Разлив и Горнешинского озер-водохранилищ на р. Щегринка. Всего в каскадной системе озер Боровно (1,8 км²) и Разлив (до Гарнешинской плотины) насчитывается 42 озера! Они, как и система Валдайских озер, включены в Невско-Ладужскую систему, им рекомендован режим водохранилищ. Плотина местной гидроэлектростанции построена в 1928 г. В ходе строительства был прорыт канал от р. Щегринка, построена плотина, и бывшая низина с мелкими озерами превратилась в водохранилище площадью более 5 км² (теперь оз. Розливы). Сейчас действуют несколько плотин, обеспечивающих регулирование стока и уровень воды.

Озера-водохранилища имеют исключительное значение для развития рекреации в национальном парке. Непосредственно их берега и акватории посещает, по данным Отдела экологического просвещения и туризма парка, более 20 тыс. туристов. Но, оказывается, еще большая роль озер – в обеспечении находящихся ниже по течению населенных пунктов чистой питьевой водой и в разбавлении воды условно грязных и грязных водоемов до пригодного к использованию состояния. Объемы этой «работы» озер парка огромны, но никак не учтены в межрегиональных экономических взаимодействиях и взаиморасчетах. Концепция экосистемных услуг позволяет создать методологическую основу для создания в перспективе межрегионального и национального рынка водосберегающих, водорегулирующих и водоресурсных услуг.

Для выявления, оценок и расчётов экосистемных услуг нами использовались данные дистанционных и наземных наблюдений и измерений. При этом во внимание брались такие показатели функционирования национального парка, как посещаемость, затраты на сохранение и восстановление

экосистем, наличие или отсутствие внутреннего рынка экосистемных услуг, в т.ч. рекреационных, а также водно-ресурсных, водорегулирующих услуг.

Надо понимать, что национальный парк, вот уже почти 30 лет, постоянно становится объектом судебных разбирательств, в основном, по вопросам использования водных ресурсов. Так, судебный иск 1999 г. ФБГУ «Канал им. Москвы» на 200 млн. руб. о незаконном использовании вод озера-водохранилища *Велье* для решения водно-экологических проблем Московского бассейна и другие прецеденты с использованием стока и загрязнения рек и озер парка, позволяют говорить о явных издержках ситуации с отсутствием межрегионального рынка экосистемных услуг. Из оз. *Велье* «Канал им. Москвы» отбирал ежегодно до 130 млн м³ чистой воды, за которые не платил, а сам получал от Московского водоканала 27 коп. за м³ воды.

Другой пример – АО «ИнтерЭнергоСоюз» и Окуловская администрация в одной команде, оспаривающие право собственности Российской Федерации (национального парка) на всю бывшую территорию и акваторию каскада *Боровновской ГЭС*, а также более ранние претензии «Новгородэнерго» на этот водный объект. В 2015 г. парк получил право бессрочного пользования на земли, где собиралась хозяйствовать московская компания АО «ИнтерЭнергоСоюз», но проблемы с водопользованием и компенсацией за водоресурсные и водоохраные услуги парка сохранились.

Третий пример касается Валдайского озера-водохранилища – многочисленных случаев нарушения требований ст. 250 «Загрязнение вод» УК Российской Федерации, ст. 56 «Охрана водных объектов от загрязнения и засорения» и ст. 65 «Водоохранные зоны и прибрежные защитные полосы» Водного кодекса Российской Федерации. Фактически все людские и скромные финансовые ресурсы парка уходят на защиту и мониторинг состояния этого водного водоема.

Национальный парк «Валдайский» (Новгородская область) призван сохранить один из ключевых планетарных водоразделов, что само по себе повышает его ценность как поставщика экосистемных услуг, в данном случае, климато- и водорегулирующих и водноресурсных. Он занимает площадь 158,5 тыс. га. Растительный покров представлен лесами (85 %, треть – ельники), озёрами (9 %) и болотами (3 %). Экосистемные услуги его ландшафтов складываются из объемов биопродукционных, климаторегулирующих, водорегулирующих, водоресурсных, ассимиляционных, биоресурсных, почвозащитных и информационных (рекреационных и др.) функций. Основная доля

услуг приходится на биоресурсные – до 50 % (табл.) [4]. Из-за отсутствия платежей за водоресурсные и водосберегающие функции. Явно недооцененной остается водорегулирующая и ассимилирующая функции, обеспечивающие сток чистой, лишенной чужеродных видов, воды в Верхне-Волжскую и Невско-Ладожскую водные системы.

С экономических позиций, расчёт экосистемных услуг в случае физических (натуральных) и монетарных (денежных) оценок осуществляется через компенсационные механизмы – затраты на восстановление растительного покрова, воспроизводство объектов фауны и флоры, или через стоимость замещения (имитации) той или иной функции экосистемы (например, поддержание кислородного баланса в водоёме – через стоимость работы компрессора, деятельность по ассимиляции загрязняющих веществ макрофитами – через стоимость работы с аналогичными объёмам очистных сооружений).

Продукционные, биоресурсные, климаторегулирующие, почвозащитные, ассимиляционные и водорегулирующие услуги могут быть в полной мере оценены дистанционными методами. Современный аппарат интерпретации космических снимков позволяет оценить породный состав лесов, запасы фитомассы, динамику ее накопления, структуру и сезонность состояния, накопление углерода, не древесную продукцию и продукцию промысловой фауны (через известные количественные показатели обилия в разных угольях), способности почв, растительности и природных вод адсорбировать загрязняющие вещества (избыточно поступающие в окружающую среду) и др. Наконец, водорегулирующие функции и услуги при знании базовых параметров водного баланса территории и вклад в него отдельных элементов ландшафта оценивается также по данным ДЗЗ с учётом мозаики ландшафта и выполнения каждым из её элементов экосистемных услуг по водосбережению, обеспечению стока, самоочищению воды и водопотреблению. В некоторых случаях дистанционные оценки дополняются данными по стоимости замещения роли ландшафта в обеспечении среднесрочного уровня стока (например, стоимость переброски аналогичных объёмов воды из ближайшего водоёма на замыкающий створ данного водосборного бассейна). Часть территории парка относится к Волжскому бассейну, и вклад стока рек и озёр его южной части (Полновский плес оз. Селигер, оз. Велье и др.) существенен, по нашим оценкам – до 10-12 л/с с км² лесной или болотной площадей парка. Аналогичные удельные показатели характерны и для Балтийского бассейна.

Таблица

Экосистемные услуги национального парка «Валдайский»

Некоторые группы экосистемных услуг	Национальный парк Валдайский	
	Абсолютные величины и алгоритм расчёта	Денежная оценка, \$/га/ год
Климаторегулирующие (сток углерода)	Сток углерода в приросте древесины и накоплении торфа составляет 1,0-1,5 т/га год	5-50
Водорегулирующие (обеспечение стока, снижение потерь воды)	Компенсация (замещение) рассчитывается через возможные затраты на «работу» леса, болот и озёр по регуляции стока воды	40-50
Водоресурсные (при наличии национального рынка стока чистой воды)	Стоимость 1 м ³ воды в Москве – 38,06 руб, в Твери - 22,11 руб., транспортировки воды, например, для Мосводоканала -1,37 руб./м ³	50-60
Ассимиляционные (нейтрализация «лишних» биогенов, загрязнений)	Высокими ассимиляционными качествами обладают заросли макрофитов озёр, лесная подстилка и болота	5-10
Почвозащитные (снижение риска эрозии, через затраты на восстановление земель)	0,5-2,5 % от затрат на восстановление при оценке скорости сукцессий лугов 30-40 лет и лесов 200 лет	5-25
Биоресурсные (стоимость урожая древесины, сена, ягод, лекарственных трав, грибов и пр.)	На Валдае высокобонитентные леса с приростом древесины до 2-3 м ³ в год, урожайность ягод 10-50 кг/га, грибов – до 200 кг/га, вылов рыбы на 1 рыбака 1,5-2,0 кг	50-150
Информационные (через затраты исследования, инвентаризацию, картографирование и эко-мониторинг)	Инвентаризация флоры и фауны: список флоры - более 750 видов, птиц – около 200, млекопитающих – 60; действует визит-центр, работает музей, осуществляется мониторинг (Летопись природы).	15-20
Рекреационные (ценность использования в рамках туристической деятельности)	Ежегодно парк посещает более 60 тыс. туристов (центральную часть задокументировано – 17-20 тыс.), входная плата – 100 руб./сут/	10-15
Итого, \$/ га в год		180-380

Вышесказанное позволяет сделать следующие выводы:

1) В ближайшей перспективе необходимо уточнить объемы водоресурсных, водорегулирующих и ассимиляционных функций озёр-водохранилищ национального парка «Валдайский» для расчетов «платежей за услуги по обеспечению водой определенного качества» регионов, лежащих ниже по течению.

2) Совместно с Бассейновыми управлениями и водопользователями следует разработать оптимальные схемы регулирования режима функционирования озёр-водохранилищ и диспетчерских графиков, учитывающих особен-

ности развития природного комплекса национального парка и нужды приозерной рекреации.

3) Требуется провести монетарные оценки некомпенсируемых затрат парка на поддержание оптимального объема стока и качества воды озер-водохранилищ для расчетов компенсаций, в т.ч. затраты на охрану, научные исследования, мониторинг, обустройство рекреационных участков, исключающее загрязнение водоемов и пр.

Благодарности: *работа выполнена по гранту РФФИ-РГО «Оценка и картографирование изменений состояния Великого Евразийского природного массива как фактора глобальной экологической стабильности и источника экосистемных услуг» и по теме Государственного задания Института географии РАН № 0148-2019-0007 «Оценка физико-географических, гидрологических и биотических изменений окружающей среды и их последствий для создания основ устойчивого природопользования».*

Список литературы

1. Белоновская Е.А., Кренке-мл. А.Н., Тишков А.А., Царевская Н.Г. Природная и антропогенная фрагментация растительного покрова Валдайского поозерья. Изв. РАН. Сер. геогр., 2014. № 5. С. 67-82.
2. Петрова Т.Э., Тишков А.А. Экосистемный подход к сохранению биоразнообразия на региональном и локальном уровнях. В кн.: Переход к устойчивому развитию: глобальный, региональный и локальный уровни. Зарубежный опыт и проблемы России. М.: Изд-во КМК, 2002. С. 267-286.
3. Принципы и методы экономической оценки земель и живой природы: аналит. справ. Нестерова О.А., Тишков А.А. (ред.) М.: Проект ГЭФ «Сохранение биоразнообразия Российской Федерации», Ин-т экон. природопользования, 2002. 101 с.
4. Тишков А.А., Белоновская Е.А., Кренке А.Н., Царевская Н.Г. Экосистемные услуги национальных парков и заповедников: оценка, сопоставление, выявление конфликтов при пользовании. В кн.: Охрана природы и региональное развитие: гармония и конфликты (к Году экологии в России). Т. I. Оренбург: Ин-т степи УрО РАН, 2017. С. 60-71.
5. Экономика сохранения биоразнообразия. Справ. Ред.: А.А. Тишков. Науч. ред.-сост.: С.Н. Бобылев, О.Е. Медведева, С.В. Соловьева. М.: Проект ГЭФ «Сохранение биоразнообразия», Ин-т экон. природопользования. 2002. 604 с.
6. Бобылев С.Н., Букварева Е.Н., Грабовский В.И. [и др.] Экосистемные услуги России. Прототип нац. докл. Т. 1. Услуги наземных экосистем. Ред.-сост.: Е.Н. Букварёва, Д.Г. Замолотчиков. М.: Изд-во Центра охраны дикой природы, 2016. 148 с.

© Тишков А.А., Белоновская Е.А., Царевская Н.Г., 2019

АКТУАЛЬНЫЕ ПРАВОВЫЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОХРАНЫ ВОД РОССИИ

Веницианов Е.В.

ФГБУН Институт водных проблем РАН, г. Москва

E-mail: eugeny.venitsianov@gmail.com

Аннотация. Современное состояние качества поверхностных вод, по данным Государственных докладов о состоянии окружающей среды в Российской Федерации за 2003-2015 гг., остается стабильным, однако характеризуется рядом проблем, в совокупности ставящих под сомнение эффективность действующей системы управления водными ресурсами в РФ. Следствием недостатков действующей системы управления на протяжении длительного периода времени являются высокие объемы поступлений загрязняющих веществ в составе сбросов сточных вод и диффузного стока с водосборов, неудовлетворительное состояние поверхностных и подземных вод, неудовлетворительное качество питьевой воды в системах водоснабжения населенных пунктов, загрязнение водоохраных зон и др.

Ключевые слова: водные объекты, водное хозяйство, экономика водных отношений, правовая и нормативная система управления.

ACTUAL LEGAL AND ECONOMIC PROBLEMS OF WATER PROTECTION IN RUSSIA

Venitsianov E. V.

Institute of water problems Russian Academy of Sciences, Moscow

Abstract. The current state of surface water quality according to the State reports on the environmental conditions in the Russian Federation for 2003-2015, remains stable, but is characterized by a number of problems, which together call into question the effectiveness of the current water management system in the Russian Federation. The consequence of the shortcomings in the current management system for a long period of time are high volumes of pollutants in the wastewater discharge and diffuse runoff from catchments, poor condition of surface and groundwater, poor quality of drinking water in the water supply systems of settlements, pollution of water protection zones, etc.

Keywords: water bodies, water economy, Economics of water relations, legal and regulatory management system.

Водоснабжение, водоотведение и состояние водных объектов. Услугами централизованного водоснабжения (ЦВ) в Российской Федерации пользуются около 120 млн. чел. (82 % населения страны). В крупных и средних городах услугами систем ЦВ обеспечено 100 % населения, то в сельских населенных пунктах этот показатель не превышает 33 % [1]. Из общего объема воды, подаваемой в системы ЦВ, через системы водоподготовки пропускается не более 59 %, а в сельских населенных пунктах – менее 20 %. Около четверти водозаборов из поверхностных источников водоснабжения не имеют необходимых очистных сооружений. Каждый второй житель РФ вынуж-

ден использовать для питьевых целей воду, не соответствующую по ряду показателей установленным нормативам [2]. Порядка 15 % подземных и 33 % поверхностных источников питьевого водоснабжения не соответствуют санитарно-эпидемиологическим требованиям [3, 4]. Статистика демонстрирует, что за последние шесть лет ситуация кардинально не изменилась.

В большинстве субъектов РФ серьезной экологической проблемой остается низкое качество или отсутствие очистки сточных вод. Треть общего объема сбросов сточных вод в РФ классифицированы как загрязненные. При этом 55 % загрязненных сточных вод приходится на очистные сооружения коммунальной канализации (ОСКК), Они ответственны за сброс большей части загрязняющих веществ: 45 % общего азота, 76 % нитрат-ионов, 93 % жиров и масел, 64 % сульфатов. Сама отрасль водопроводно-коммунального хозяйства справиться с данной проблемой не может, в первую очередь, ввиду высокого износа основных фондов (более 40 %).

Значимой проблемой, не поддающейся на сегодняшний день количественной оценке, является воздействие на водные объекты диффузного стока с сельскохозяйственных и селитебных территорий, площадей размещения коммунальных и промышленных отходов.

Очевидно, что текущее состояние российского водного хозяйства имеет также ряд иных проблем, однако причины большинства из них, также, как и перечисленных выше, заключаются в несовершенстве действующей системы управления водным хозяйством РФ, коренные недостатки которой рассмотрены далее.

Проблемы финансового обеспечения водного хозяйства. Ключевая проблема российского водного хозяйства – оторванность его экономического механизма от реальных потребностей управления водопользованием, прежде всего – водоохраны. В ежегодных Государственных докладах «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в соответствующем году» сообщается, что в условно сопоставимых ценах текущие затраты на охрану и рациональное использование водных ресурсов, по сравнению с 2005 г., составляют порядка 85 %, причем за последние пять лет имеет место уменьшение суммарного поступления водного налога и платежей за водопользование в номинальном исчислении.

По оценке специалистов, готовящих новый вариант Стратегии развития водного хозяйства России (до 2030 г.), по сценарию неухудшения состояния водных ресурсов требуется ежегодно сумма порядка 45 млрд. руб., а для улучшения состояния – более 70 млрд. Очевидно, что достичь этот уровень

инвестиций можно, резко увеличив бюджетную поддержку водоохранных мероприятий или в несколько раз повысив ставки водного налога.

Управление качеством вод водных объектов. Актуальной проблемой для России является переход на принцип нормирования, в соответствии с наилучшими доступными технологиями (НДТ), по отраслям промышленности и ЖКХ. Сделан первый шаг: разработаны информационно-технологические справочники по НДТ для отдельных отраслей. Однако до сих пор отсутствует четкая процедура, позволяющая объединить систему НДТ с действующей системой нормативов допустимых сбросов.

В США выдача разрешения на сброс загрязняющих веществ регулируется Национальной системой предотвращения сбросов загрязняющих веществ – National Pollutant Discharge Elimination System, NPDES). Разрешение NPDES содержит предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в составе сточных вод, требования к мониторингу и отчетности. В разрешении также может быть рекомендовано применение той или иной наилучшей доступной технологии, обеспечивающей содержание загрязняющего вещества в пределах установленного лимита [5]. При разработке лимитов на сброс загрязняющих веществ исполнительные органы Агентства окружающей среды штатов руководствуются:

- технологическими возможностями очистки сточной вод. В таком случае устанавливаются предельные концентрации загрязняющих веществ в сточных водах, исходя из возможностей применяемой технологии очистки (Technology-based effluent limitations, TBELs);
- стандартами качества воды, если технологически обоснованные лимиты не способны обеспечить необходимое качество вод. В этом случае в отношении приоритетных водных объектов устанавливаются максимально допустимые суточные нагрузки загрязняющих веществ (Total maximum daily loads, TMDLs) [6].

В США выделено три критерия риска при нормировании качества сточных вод [5]:

1. критерии качества – допустимая концентрация загрязняющего вещества;
2. период времени (продолжительность), на протяжении которого концентрация вещества в воде водного объекта усредняется с целью сравнения с допустимой концентрацией;
3. частота нарушения допустимой концентрации без оказания негативного воздействия на конкретный вид водопользования.

В международной практике критерии качества воды разработаны для хозяйственно-питьевого водопользования (Рекомендации Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ)), рыбного хозяйства (Директива ЕЭС 78/659), орошения, рекреации (Директива по качеству воды для купания 76/100/ЕЕС), эстетического восприятия свойств и состава воды (Великобритания), водной экосистемы, в целом (Нидерланды).

Европейские нормативы более гибкие, хотя и менее жесткие, чем российские. Учитывается макросостав воды. Например, содержания цинка и меди устанавливаются с учетом жесткости [7]. Российские нормативы в 30-100 раз (для цинка) и 40 раз (для меди) жестче европейских нормативов, но влияние жесткости на их токсичность не учитывается.

У нас имеется печальный опыт с нормативами допустимых воздействий (НДВ), которые были разработаны для бассейнов всех крупных рек без какой-либо связи с нормативами допустимых сбросов. Поэтому они так и не включены в систему регулирования сбросов сточных вод.

Обратим внимание и на проблему разработанных во всех водных бассейнах Схем комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО), которые должны были, в частности, обеспечить экологически и экономически обоснованные программы мероприятий по улучшению состояния водных ресурсов. В большинстве стран влияние сбросов сточных вод предприятий (как действующих, так и проектируемых) оценивается с использованием математических моделей. Используется индивидуальный подход для каждого водного объекта и каждого водопользователя [8].

В России до сих пор используются расчётные методы начала 1950-х гг. Во всех водохозяйственных организациях должны появиться компьютерные информационно-вычислительные системы, оснащённые моделями «подведомственных» бассейнов и их участков. Это будет намного эффективнее и дешевле, чем неработающие разрабатываемые минимум на 5 лет СКИОВО.

Отдельного внимания заслуживает тема управления качеством водохранилищ, созданных на многих равнинных российских реках. Такие водохранилища являются огромными отстойниками, аккумулирующими в донных отложениях значительную часть загрязняющих веществ. Научные исследования последних лет показали, что объём и химический состав этих отложений в настоящее время таковы, что вероятность выхода вторичных загрязнений высока. Однако в законодательстве РФ отсутствуют какие-либо нормативы содержания загрязняющих веществ в донных осадках. Отсутствует мониторинг донных отложений, хотя Водный кодекс РФ предписывает ведение

«мониторинга состояния дна и берегов водных объектов, а также состояния водоохраных зон» (п. 5.2 ч. 4 ст. 30).

Эффективность надзорной деятельности. Контрольно-надзорную деятельность Росприроднадзора нельзя охарактеризовать как достаточно эффективную. На фоне кризисной проблемы со сбросом загрязненных сточных вод в водоемы, одна из ключевых целей ведомства заключается в увеличении поступлений в бюджет РФ, что демонстрирует реактивную, а не превентивную политику.

Несовершенство системы мониторинга и статистики. Тревожное положение в оценке воздействия на водные объекты РФ различных видов хозяйственной деятельности вызывает существующая система статистического учета. Статистика сбросов предприятиями загрязняющих веществ часто не достоверна, перечень компонентов устарел, отсутствуют методики оценки неконтролируемого (диффузного) стока и вторичных загрязнений от донных осадков [9].

Публикуемые данные не дают полной картины об источниках загрязнения водных объектов, так как содержат лишь качественные, по сути, характеристики сточных вод: загрязненные, очищенные и пр. Форма отчетности 2-ТП (водхоз) составляется самими предприятиями, и достоверность такой исходной информации не известна. К тому же эти данные характеризуют лишь часть источников загрязнения. Диффузные неконтролируемые источники для ряда водных объектов превышают объем загрязнений от контролируемых точечных источников [10].

Ограниченный учет опасных загрязняющих веществ. В условиях недостатка информации о реальном состоянии охраняемых водных объектов появляются весьма спорные документы, например, Распоряжение Правительства РФ от 8 июля 2015 г.

№ 1316-р «Перечень загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды». Не пояснен термин «меры государственного регулирования». В Распоряжении приведён список из 140 веществ и 17 стойких органических соединений в воде водных объектов, но количество ПДКв и ПДКвр значительно больше, и их списки пополняются. Как быть, если загрязняющее вещество найдено в концентрации, превышающей ПДК, но не входит в Перечень указанного Распоряжения Правительства? И наоборот: концентрация меньше ПДК, но вещество входит в этот Перечень – надо ли к нему применять «меры государственного регулирования», и если надо, то какие?

Наконец, номенклатура поллютантов не включает большие группы загрязняющих веществ, называемых органическими ксенобиотиками. Несмотря на сверхнизкие концентрации их обнаружения в водных объектах, их воздействие на обитателей водных объектов и человека через потребляемую питьевую воду весьма значительно. Особенно существенна данная проблема для водоемов-источников питьевого водоснабжения, так как типовые системы водоочистки не ориентированы на удаление этих веществ. Именно поэтому в развитых странах загрязнению ксенобиотиками уделяется большое внимание.

Недостатки системы нормирования негативных воздействий. В России принят подход на основании нормирования воздействия с использованием предельно допустимых концентраций (ПДК), в мировой практике получивший название опасность-ориентированного подхода, или концепции «нулевого» риска. Критерием допустимости загрязнения является выполнение неравенства $C < \text{ПДК}$, где C – концентрация загрязняющего вещества в так называемом «контрольном створе».

В настоящее время в управлении качеством вод, в основном, используются нормативы качества природных поверхностных вод при рыбохозяйственном (ПДКвр) использовании водных объектов. Установлен единый норматив для всех водных объектов страны, несмотря на огромное различие физико-географических, климатических и социально-экономических условий. При этом рыбохозяйственные нормативы более жёсткие, чем водохозяйственные для большинства контролируемых загрязняющих веществ. Фактически, качество сточных вод по ряду действующих нормативно-методических документов должно быть значительно лучше, чем воды питьевого назначения.

Современный российский бизнес и муниципальные предприятия ни технологически, ни экономически не готовы к выполнению действующих высоких стандартов. Установление технологически недостижимых, экономически неоправданных и экологически необоснованно жёстких нормативов приводит, вопреки намерениям законодательных органов, не к улучшению экологической ситуации, а к её ухудшению. Любой хозяйствующий субъект, чтобы обеспечить рентабельность своего производства, может выделить лишь ограниченный ресурс на очистку сточных вод и реализацию водоохраных мероприятий. Если для выполнения установленных нормативов требуются затраты, превышающие этот ресурс, водопользователь вынужден решать свои проблемы вне рамок правового поля, не заботясь о поэтапном проведении непоследовательных для него водоохраных мероприятий.

Критика распространения рыбохозяйственных нормативов на все водные объекты страны не означает каких-либо претензий к самому рыбному хозяйству как водопользователю. Рыбное хозяйство (рыболовство и рыбоводство) испытывает немалые трудности из-за того, что до сих пор не сформулированы чёткие условия определения статуса водного объекта (или его участка) как рыбохозяйственного и критерии его зонирования для участков нереста, нагула, промысла. При этом должен учитываться видовой состав рыбной фауны, с выделением объектов, где обитают ценные виды.

В то же время имеется законодательно обоснованная возможность использовать Схемы комплексного использования и охраны водных объектов в качестве инструмента разработки региональных нормативов качества воды (как целевых показателей качества воды в водных объектах на период действия этих схем – статья 33 Водного кодекса РФ) с учетом природного состояния водных объектов и существующей и прогнозируемой антропогенной нагрузки.

В свою очередь, в природоохранительном законодательстве развитых стран, в частности в Европейском Союзе, уже более 20 лет происходит планомерный переход к риск-ориентированному подходу [11]. На основании результатов оценки рисков принимается решение о способах водоохраны, а также о размере платежей за загрязнение.

Риск-ориентированный подход (РОП) к регулированию качества вод на законодательном уровне реализован через систему требований к выдаче разрешений на осуществление хозяйственной деятельности для объектов негативного воздействия; систему контрольно-надзорной деятельности природоохранных органов исполнительных власти, при планировании и осуществлении проверок и систему регулирования рынка производителей и экспортеров химических веществ.

Суммируя опыт развитых стран, можно выделить шесть этапов в оценке рисков [12]:

1. Определение и анализ рисков и источников рисков от объекта деятельности.
2. Определение реципиентов, на которые воздействуют риски от рассматриваемой деятельности.
3. Определение возможных путей воздействия источников риска на реципиентов.
4. Оценка рисков, относящихся к характеру деятельности предприятия и уровня производственного контроля.

5. Разработка системы управления рисками. Уровень системы управления рисками определяется степенью значимости выявленных рисков. Система должна включать описание всех видов операций на объекте; план технического обслуживания и ремонта оборудования; план реагирования на чрезвычайные ситуации; план управления развитием персонала и повышения компетенций; план вывода объекта из эксплуатации; проведение общественных слушаний.

6. Включение оценки риска в состав документации к заявке на получение КЭР (комплексного экологического разрешения).

Список литературы

1. Жилищное хозяйство в России – 2016 г. Федеральная служба государственной статистики.
2. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 августа 2009 г. № 1235-р «Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года».
3. «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2016 году». Гос. докл. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2017. 220 с.
4. Охрана окружающей среды в России. 2018: Стат. сб. / Росстат. М., 2018. 125 с.
5. «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году». Гос. докл. М.: Минприроды России; НИА-Природа. 2016. 639 с.
6. National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES): NPDES Basics by United States Environmental Protection Agency, from: <https://www.epa.gov/npdes/npdes-permit-basics>.
7. National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES): NPDES Permit Limits by United States Environmental Protection Agency, from: <https://www.epa.gov/npdes/npdes-permit-limits>
8. Guidance for Water Quality-Based Decisions: The TMDL Process. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Washington, D.C. Doc. No. EPA 440/4-91-001. April 1991.
9. Доклад Федеральной службы по надзору в сфере природопользования об осуществлении и эффективности государственного контроля (надзора) за 2016 г.
10. Гордин И.В. Кризис водоохраных зон России. М.: Физматлит, 2006. 196 с.
11. Кирпичникова Н.В. Исследование неконтролируемых источников загрязнения (на примере Иваньковского водохранилища). Автореф. дис. канд. техн. наук, 1991. 24 с.
12. General Report 2015. European Chemicals Agency, Helsinki, March 2016.

© Веницианов Е.В., 2019

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ВОДОХРАНИЛИЩАХ И НИЖНИХ БЬЕФАХ СИБИРСКИХ ГЭС

Зиновьев А.Т.

Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения РАН, г. Барнаул
E-mail: zinoviev@iwep.ru

Аннотация. Рассматривается комплекс математических моделей для описания гидро- и ледотермических процессов в глубоких водохранилищах и нижних бьефах гидроузлов. Усовершенствованная гидроледотермическая одномерная вертикальная (1DV) модель глубоких замерзающих водохранилищ учитывает ход уровня водной поверхности и конечные размеры водоема, включает уточненные описания зоны селективного оттока и вертикального турбулентного переноса. Разработанная гидроледотермическая одномерная горизонтальная (1DH) модель формирования и динамики полыньи в нижних бьефах ГЭС и гидроузлов позволяет учесть видовой состав шугового материала и влияние продольного градиента толщины льда покрова на гидравлику речного потока. С использованием разработанного комплекса гидрологических 1D-моделей выполнен прогноз изменения состояния водной среды р. Нижняя Тунгуска под влиянием строительства Эвенкийского водохранилища.

Ключевые слова: водохранилище, нижний бьеф, гидрологические процессы, моделирование.

MATHEMATICAL MODELING OF HYDROLOGICAL PROCESSES IN WATER RESERVOIRS AND TAILWATERS OF SIBERIAN HYDROPOWER STATIONS

Zinoviev A.T.

Institute for water and environmental problems Siberian Branch RAS, Barnaul

Abstract. A set of mathematical models for the description of hydro - and ice-thermal processes in deep reservoirs and tailwaters is considered. Improved hydro-thermal one-dimensional vertical (1DV) model of deep freezing reservoirs takes into account the variation of the water surface level and the finite size of the reservoir, includes refined descriptions of the selective outflow zone and vertical turbulent transport. The developed hydro-ice-thermal one-dimensional horizontal (1DH) model of formation and dynamics of fringed open water in the tailwaters of hydroelectric power stations and waterworks allows taking into account the species composition of the frazil ice and the effect of the longitudinal gradient of the ice cover thickness on the hydraulics of the river flow. Using the developed complex of hydrological 1D-models, the forecast of changes in the state of the water environment of the Lower Tunguska river under the influence of the Evenk reservoir construction was made.

Keywords: reservoir, downstream, hydrological processes, modeling.

Перспективы развития гидроэнергетики Сибири требуют решения важных научно-практических задач, связанных с проектированием, созданием и эксплуатацией больших водохранилищ в суровых сибирских условиях. Изменение гидрологического режима зарегулированных участков рек в результате строительства крупных гидроузлов оказывает существенное влияние на со-

стояние водной среды. Природные условия строительства на реках Сибири делают такие воздействия особенно масштабными и сложными. Изменения состояния водной среды требуют предварительной оценки на этапе проработки экологических последствий реализации гидротехнических проектов. Эффективным подходом для изучения гидрологических процессов на зарегулированных участках рек является применение методов математического моделирования.

Проектируемые глубокие водохранилища ГЭС на сибирских реках следует относить к малоизученным водным объектам, по которым имеется сравнительно немного исходной информации (морфометрической, гидро- и метеорологической и т.д.). Опыт работ показал, что для описания гидрологических процессов на зарегулированных участках рек во многих практически важных случаях достаточно использовать математические модели той минимальной размерности, которая позволяет воспроизводить основные особенности исследуемых гидрологических процессов. Рассмотрим результаты разработки и использования гидрологических моделей малой размерности на примере проектировавшейся Эвенкийской (Туруханской) ГЭС, учитывая, что многие характерные для строительства крупных ГЭС в условиях Сибири экологические проблемы возникают при обсуждении последствий создания уникального Эвенкийского водохранилища на р. Нижняя Тунгуска. К числу наиболее важных вопросов строительства Эвенкийской ГЭС относится прогноз состояния водной среды на зарегулированных участках реки – в водохранилище и нижнем бьефе.

Основной вариант строительства предполагает создание уникального Эвенкийского водохранилища объемом до 409 км³ и длиной 1229 км при положении створа плотины на 120-ом км от устья р. Нижняя Тунгуска. Климат региона резко континентальный, среднегодовая температура воздуха в районе строительства –8,5 °С, ее минимальные зимние значения доходят до –63 °С, максимальные летние – до +37 °С. Гидрологический режим реки характеризуется неравномерностью стока, резкими колебаниями уровня воды (до 30 м) в паводок. При высоте плотины около 200 м следует ожидать формирование вертикальной плотностной стратификации в водохранилище, поэтому прогноз изменения ледотермического режима реки выходит на первый план. Ряд важных проблем изменения качества воды при строительстве водохранилища обусловлен достаточно высоким естественным уровнем минерализации поверхностного стока в районе гидростроительства и большим количеством заготавливаемой древесно-кустарниковой растительности.

На основе гидроледотермической 1DV-модели [1-3] построена компьютерная модель процессов тепло- и массопереноса в глубоком водохранилище ЭГЭС и выполнены расчеты для двух вариантов положения створа плотины, 120 км и 59,5 км от устья Н. Тунгуски. Длина водохранилища во втором варианте при НПУ – 695,5 км, объем – 48,51 км³. Формирование вертикальной плотностной стратификации моделируется с учетом влияния температуры и минерализации на плотность воды. Пространственно-временная динамика общей минерализации в водохранилище описывается на основе 1DV-модели переноса растворенной консервативной примеси [4]. В отсутствие надежной информации о возможных источниках поступления солей из ложа будущего водохранилища моделируется лишь перенос растворенных примесей, поступающих с речным стоком. Расчеты по 1DV-моделям показали, что прогнозируемые показатели общей минерализации являются благоприятными: значения минерализации поверхностных слоев воды будут менее 100 мг/л; у дна – около 400 мг/л. Показатели минерализации вытекающей воды будут стабилизироваться по мере заполнения водохранилища. После некоторого их повышения в начале заполнения, общая минерализация будет уменьшаться до 100 мг/л и ниже.

При прогнозе воздействия строительства ЭГЭС на качество воды в р. Нижняя Тунгуска, с учетом высокого уровня залесенности территории затопления нужно оценить влияние затопления, большого объема древесно-кустарниковой растительности на содержание растворенного кислорода в водохранилище. Адаптация ранее разработанной кислородной 1DV-модели [5] к условиям Эвенкийского водохранилища дала оценки влияния затопленной растительности на содержание растворенного кислорода в водной толще. В адаптированной модели учитывается потребление кислорода на границе «вода-дно» на окисление затопленной растительности [6]. В отсутствие достоверных сведений о взвешенном органическом веществе в р. Нижняя Тунгуска влиянием его окисления на содержание растворенного кислорода в водохранилище пренебрегается. Наличие или отсутствие льда на поверхности водохранилища учитывается при вычислении потока кислорода через границу раздела «вода-воздух» (или «вода-лед»). При наличии льда потоком кислорода на границе раздела «вода-лед» пренебрегается.

Для изучения влияния затопленной растительности на кислородный режим Эвенкийского водохранилища разработанная кислородная 1DV-модель [5] дополнена рядом формул, предложенных в ИВЭП СО РАН. Потребления кислорода на окисление затопленной растительности учитывается использованием полуэмпирических формул, в которых сток кислорода на границе

«вода-дно» пропорционален суммарной массе всех экстрагируемых веществ в затопленном биоматериале [7].

В расчетах полагается, что лесосводка на затопляемой территории проводиться не будет (до 92 % затопляемых площадей занято древесно-кустарниковой растительностью). На рис. 1 показаны расчетные изолинии концентрации растворенного кислорода в приповерхностных слоях водохранилища.

Полученные результаты показали, что для обоих вариантов положения створа плотины ЭГЭС в течение первых лет заполнения водохранилища зимой в поверхностных слоях воды возможен дефицит кислорода. С наполнением водохранилища концентрации растворенного кислорода по всей глубине станут близки к концентрациям насыщения.

Разработанная 1DH-модель гидротермических процессов [8, 9] применена для прогноза ледотермического режима р. Нижняя Тунгуска в нижнем бьефе ЭГЭС. Компьютерная 1DH-модель ледотермических процессов на участке нижнего бьефа построена с использованием морфометрической информации для рассматриваемого участка реки и метеорологических данных по м/с Большой Порог. Значения теплового стока в нижний бьеф ЭГЭС задавались по расчетам гидротермического режима Эвенкийского водохранилища.

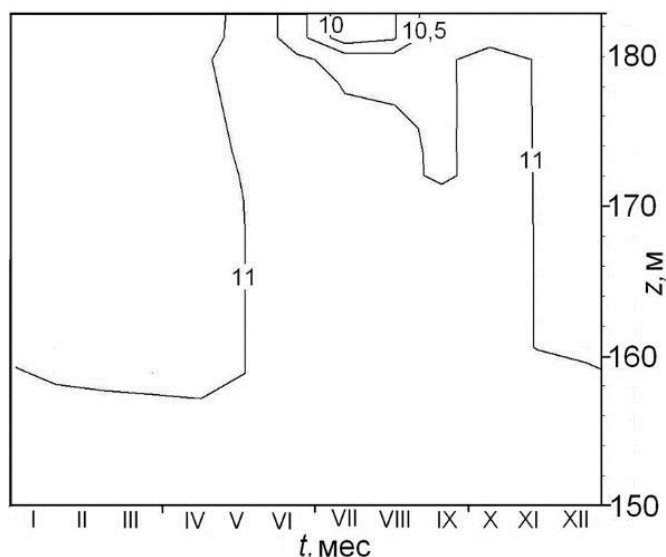


Рис. 1. Изолинии концентрации кислорода (мг/л) при наличии минерализации для одного года вблизи поверхности водохранилища (26-й год заполнения)

Прогноз ледотермического режима нижнего бьефа ЭГЭС выполнен для двух проектов строительства водохранилища. Расчеты процессов теплопереноса показали, что летние температуры воды в устье реки с некоторого момента заполнения не превысят 6 °С. При положении створа плотины на 120 км от устья дата перехода температуры воды в устье реки через 0 °С

весной придется на первую декаду мая, а осенью – на конец ноября - начало декабря. Для створа на 59,5 км от устья почти весь год, за исключением января и февраля, температура воды на участке нижнего бьефа будет выше температуры замерзания ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$); максимальная температура воды в устье реки в летний период года уменьшится на $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ по сравнению с естественными условиями.

В зимние месяцы на этапе заполнения водохранилища для створа плотины на 120-км от устья в нижнем бьефе будет формироваться полынья. Размеры сплошного ледяного покрова от устья р. Нижняя Тунгуска до кромки льда в сторону плотины ЭГЭС в зимние периоды после третьего года наполнения водохранилища показаны на рис. 2. Минимальная длина полыньи в нижнем бьефе – около 45 км. По сравнению с естественными условиями ледообразование начнется на один месяц позже (начало декабря), а река освободится ото льда на месяц раньше (в начале мая). Для створа плотины на 59,5 км от устья в зимние месяцы при заполнении водохранилища река будет замерзать только в устье.

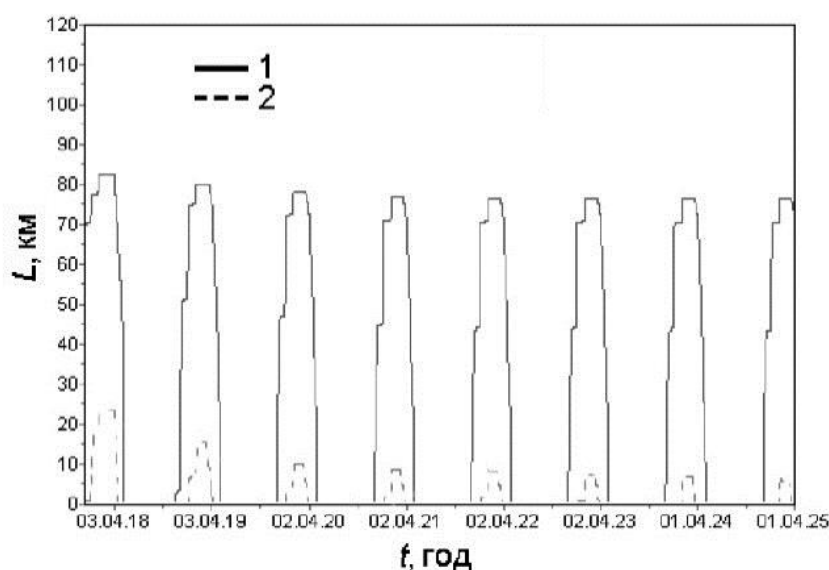


Рис. 2. Прогноз замерзания Н. Тунгуски выше устья при заполнении водохранилища: кривая 1 – створ 120 км; 2 – створ 59,5 км (L – расстояние от устья до кромки льда)

После заполнения водохранилища р. Нижняя Тунгуска в нижнем бьефе замерзать не будет. Положительные значения температуры воды в устье реки в пределах $2\text{--}3\text{ }^{\circ}\text{C}$ в зимние месяцы определяют наличие полыньи вдоль правого берега Енисея ниже устья Нижней Тунгуски.

Получены оценки минерализации воды в р. Нижняя Тунгуска ниже плотины ЭГЭС на основе 1ДН-модели массопереноса. Сток растворенных солей

в нижний бьеф задавался из расчетов минерализации Эвенкийского водохранилища по 1DV-модели. Также по натурным данным о расходах и минерализации воды в створе Б. Порог за 1974 г. рассчитана минерализация воды в р. Нижняя Тунгуска на участке нижнего бьефа в естественных условиях. На рис. 3 приведены значения минерализации воды в устье Нижней Тунгуски. Нижняя ось абсцисс относится к расчетам минерализации воды в устье реки при наполнении водохранилища для разных положений створа плотины (кривые 1-2); верхняя ось абсцисс – к расчетам минерализации для различных гидрологических периодов 1974 г. (кривая 3).

Из расчетов следует, что после 2–3-х лет заполнения водохранилища сезонные изменения минерализации воды в нижнем бьефе практически исчезнут, сами уровни минерализации снизятся и уменьшатся их внутригодовые изменения по сравнению с естественными условиями.

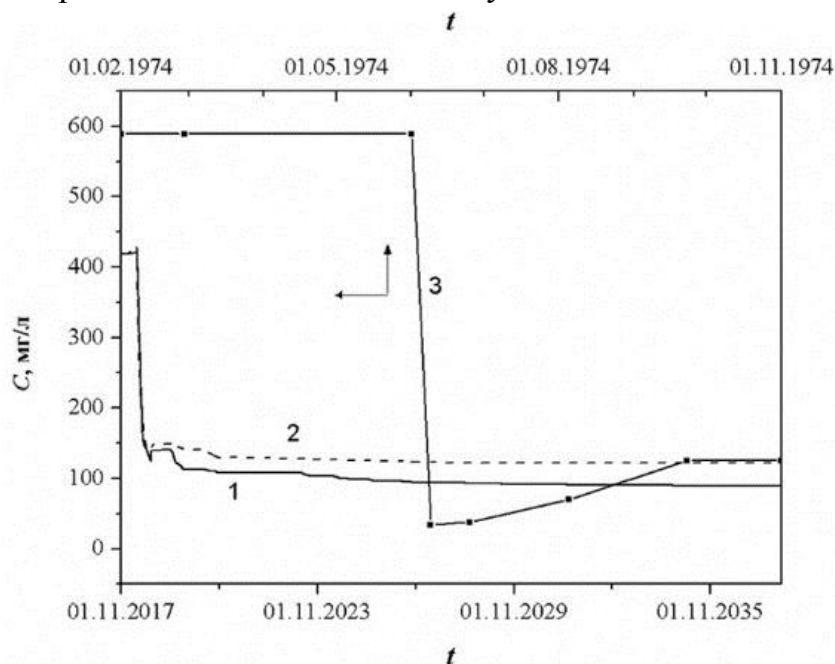


Рис. 3. Минерализация воды в устье Н. Тунгуски при наполнении водохранилища: кривая 1 – створ 120 км; 2 – створ 59,5 км; 3 – расчет для условий 1974 г. (в естественных условиях)

Заключение

Создан базовый комплекс математических моделей малой размерности для описания гидро- и ледотермических процессов в глубоких водохранилищах и нижних бьефах гидроузлов. Усовершенствованная гидроледотермическая 1DV-модель глубоких замерзающих водохранилищ учитывает ход уровня водной поверхности и конечные размеры водоема, включает уточненные описания зоны селективного оттока и вертикального турбулентного переноса. Разработанная гидроледотермическая 1DH-модель формирования и динамики

попыньи в нижних бьефах ГЭС и гидроузлов позволяет учесть видовой состав шугового материала и влияние продольного градиента толщины льда покрова на гидравлику речного потока.

С использованием разработанного комплекса гидрологических 1D-моделей выполнен прогноз изменения состояния водной среды р. Нижняя Тунгуска под влиянием строительства Эвенкийского водохранилища для двух проектных вариантов положения створа плотины ГЭС. Расчетами установлено, что при всех вариантах строительства в водохранилище достаточно быстро сформируется вертикальная плотностная стратификация; определены общая минерализация и содержание растворенного кислорода в водохранилище и сбрасываемой в нижний бьеф воде в периоды заполнения и проектной эксплуатации водохранилища. Оценки указывают, что с наполнением водохранилища концентрации кислорода по всей глубине станут близки к концентрациям насыщения, а концентрации солей у дна составят около 400 мг/л. Расчеты по ледотермической 1DN-модели для нижнего бьефа ЭГЭС показывают, что летом температура воды в р. Нижняя Тунгуска существенно понизится (до 6 °С) по сравнению с естественными условиями; зимой вплоть до устья реки сформируется попынья.

Список литературы

1. Васильев О.Ф., Зиновьев А.Т., Бочаров О.Б. Математическое моделирование гидротермических процессов в глубоководных водоемах // Гидротехническое строительство. 1991. № 7. С. 3-5.
2. Зиновьев А.Т. Моделирование температурной стратификации Телецкого озера // Основные закономерности глобальных и региональных изменений климата и природной среды в позднем кайнозое Сибири. Вып. 1. Новосибирск: Изд-во ИАЭ СО РАН, 2002. С. 212-216.
3. Зиновьев А.Т. Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2006610297 «Гидротермика-1DV (HT1DV)» // Заявка № 2005612513. Дата поступления 04.10.05. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 16.01.06.
4. Васильев О.Ф., Зиновьев А.Т., Иванов П.В., Сухенко С.А. Математическая модель миграции растворенной примеси в системе водохранилище-затопленные почвы // Водные ресурсы. 1993. Т. 20. № 6. С. 701-706.
5. Зиновьев А.Т., Кириллов В.В., Марусин К.В., Андреева А.Ю. Прогноз качества воды глубоких водохранилищ для решения задач управления // Ползуновский вестник. 2005. № 4, Ч.2. С. 101-106.
6. Зиновьев А.Т., Балдаков Н.А. Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2014619215 «Расчет динамики концентрации загрязняющих веществ в воде водохранилища (Ложе-М 1.0)» // Заявка № 2014615445. Дата поступления 04.07.14. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 11.09.14.
7. Зиновьев А.Т., Кошелев К.Б. Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2014619217 «Моделирование гидрохимических и гидрофизических процессов в глубоких водохранилищах на этапах их заполнения и проектной эксплуатации: формирование плотностной стратификации, переноса растворенного кислорода

и фенолов (HT1DV_QUALITY)» // Заявка № 2014615449. Дата поступления 06.07.14. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 11.09.14.

8. Атавин А.А., Зиновьев А.Т., Кудишин А.В. Ледотермический режим нижнего бьефа Новосибирского гидроузла // Водные ресурсы. 2014. № 2. С. 21-34.
9. Зиновьев А.Т., Кудишин А.В., Атавин А.А. Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2006611428 «Гидроледотермика-1ДН (Полынья)» // Заявка № 2006610634. Дата поступления 03.03.06. Зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 26.04.06.

© Зиновьев А.Т., 2019

УПРАВЛЕНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩАМИ ЗАПАДНО-КАСПИЙСКОГО БАСЕЙНОВОГО ОКРУГА: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

Курбанчиев Г.С., Гаджиев М.К.

Западно-Каспийское бассейновое водное управление, г. Махачкала
E-mail: zkbvu@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены вопросы управления водохранилищами Западно-Каспийского бассейнового округа и предлагаются пути их решения. Рассмотрены водохозяйственные и водноэкономические подходы управления водохранилищами на бассейновом уровне. Уделено внимание разработке правил использования водохранилищ, их преимуществам и недостаткам. Обсуждается решение проблем паводков, водообеспечения населения и отраслей экономики путем строительства новых водохранилищ.

Ключевые слова: Западно-Каспийский бассейновый округ, водохранилище, управление, каскад водохранилищ, водообеспечение.

WATER RESERVOIRS MANAGEMENT OF THE WESTERN-CASPIAN BASIN DISTRICT: PROBLEMS AND SOLUTIONS

Kurbanchiev G.S., Gadzhiev M.K.

Western Caspian Basin Water Administration, Makhachkala

Abstract. The problems of reservoirs management of the West Caspian basin district are considered and ways of their decision are offered. Water protection and water economic approaches to reservoir management at the basin level are considered. Attention is paid to the development of rules for the use of reservoirs, their advantages and disadvantages. The solution of problems of floods, water supply of the population and branches of economy by construction of new reservoirs is discussed.

Keywords: West Caspian basin district, reservoir, management, cascade of reservoirs, water supply.

Важная роль в водохозяйственном комплексе принадлежит водохранилищам, которые обеспечивают регулирование и перераспределение во времени стока рек, гарантированное водоснабжение населения, защиту территорий от паводков.

В Западно-Каспийском бассейновом округе регулирование стока осуществляют более 25 водохранилищ суммарной емкостью более 4,2 млрд. м³ (табл. 1).

Управление водохранилищами осуществляется Федеральным агентством водных ресурсов, которое для выработки решений привлекает заинтересованные федеральные органы исполнительной власти и органы власти субъектов Российской Федерации. С этой целью при Федеральном агентстве водных ресурсов создана и постоянно действует Межведомственная рабочая группа (МРГ) по регулированию режимов работы водохозяйственного комплекса бассейнов р. р. Терек и Кума. В работе МРГ принимают участие представители Федерального агентства водных ресурсов, Росгидромета, Минэнерго России, Минсельхоза России, МЧС России, Федерального агентства по рыболовству, органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, ПАО «Русгидро» и других заинтересованных организаций. После принятия рекомендаций они передаются в Западно-Каспийское БВУ Федерального агентства водных ресурсов, которое принимает решение и дает соответствующие указания по режимам работы водохранилищ и гидроузлов округа.

Таблица 1

Действующие водохранилища Западно-Каспийского бассейнового округа

Водохранилище	Водоток	Проектный объем, млн. м ³			Назначение	Год
		НПУ	УМО	Полез.		
1	2	3	4	5	6	7
Республика Дагестан						
Гунибское	Кара-Койсу	10,54	9,66	0,88	выработка эл.энергии	2005
Гергебильское	Кара-Койсу	1,19	0,32	0,87	выработка эл.энергии	1938
Гоцатлинское	Аварское-Койсу	48,10	44,55	3,55	выработка эл.энергии	2015
Ирганайское	Аварское-Койсу	640	264	376	выработка эл.энергии орошение, водос-ние	1998
Миатлинское	Сулак	47,0	25,3	21,7	выработка эл.энергии орошение, водоснаб.	1985
Чиркейское	Сулак	2780	1460	1320	выработка эл.энергии, орошение, водос-ние, рыбоводство	1974
Чирюртское	Сулак	9,51	2,54	6,97	выработка эл.энергии орошение, водос-ние	1961
Аксайское	Аксай	35,0	6,0	29,0	противопапавдковое	1958
Чеченская Республика						
Сунженское	Сунжа	3,1	1,2	1,9	промводоснабжение	1932
Чернореченское	Гойта	5,6	1,0	4,6	промводоснабжение, теплоэнергетика	1961
Червленское	Терек	1,8	-	1,8	рекреация	1969

Продолжение таблицы 1

Республика Северная Осетия-Алания						
Зарамагское	Ардон	10,24	9,68	0,56	выработка эл.энергии	2009
Кашхатауское	Черек	6,9		0,9	выработка эл.энергии	2010
Аушигерское	Черек	1,4		0,9	выработка эл.энергии	2002
Зарагижское	Черек	0,3		0,19	выработка эл.энергии	2016
Республика Калмыкия						
Чограйское*	Вост. Маньч	720	50	670	водоснаб., обводнение, рыбоводство	1969
Аршань-Зельменское	Аршань	29,4	2,8	26,6	орошение, рыбоводство	1937
Головное	Бахтемир	24,5	7,0	17,5	коммун. хоз-во, орошение	1962
Джалга	Джалга	4,0	1,5	2,5	орошение	1967
Кегульта	Кегульта	2,3	0,4	1,9	орошение	1969
Нугра	Нугра	8,0	1,3	6,7	орошение	1966
Ставропольский край						
Отказненское	Кума	99	20	79	регулирование стока орошение, рыбо-ство	1965
Курганенское	Кура	4,6	2,8	1,8	- // -	1928
Советское	Кура	7,2	0	7,2	- // -	1936
Ростовановское	Кура	18,0	16,4	1,6	- // -	1950
Курское*	Кура	11,4	8,4	3,0	- // -	1948
Моздокское	Кура	4,1	1,8	2,3	- // -	
Волчьи ворота	Томузловка	25,0	11,3	13,7	- // -	1956

Примечание. * Водохранилища находятся на территории двух субъектов Российской Федерации.

В соответствии с Водным кодексом Российской Федерации, основным документом управления водохранилищами, регламентирующим режим их наполнения и сработки, порядок пропуска половодий и паводков, объемы попусков в нижний бьеф гидроузлов, являются правила использования водохранилищ (далее Правила), включающие в себя правила использования водных ресурсов водохранилищ (ПИВР) и правила технической эксплуатации и благоустройства водохранилищ (ПТЭБ). ПИВР водохранилищ определяют режим их использования, в том числе режим наполнения и сработки. ПТЭБ водохранилищ определяют порядок использования их дна и берегов [1].

Утвержденных Правил в Западно-Каспийском бассейновом округе нет, что затрудняет управление водохранилищами. Западно-Каспийским БВУ в 2011-2014 гг., в соответствии с методическими указаниями [2], разработаны Правила по 11 водохранилищам и направлены на согласование в федеральные органы исполнительной власти. Правила должны были быть согласованы и утверждены в 2012-2014 гг. согласно приказу Федерального агентства водных ресурсов от 31 мая 2010 г. № 160. Замечания по согласованию от части

федеральных органов исполнительной власти получены в 2019 г. Процесс согласования Правил затягивается на срок более 5 лет, а за эти годы произошли изменения на большинстве водохранилищ, и Правила уже требуют корректировки.

Большинство действующих в настоящее время водохранилищ были построены до середины XX века и эксплуатируются более 50 лет, многие из них заилились. В XXI веке введены в эксплуатацию только 6 водохранилищ.

На водохранилищах, которые находятся в длительной эксплуатации, необходимо обобщить накопленный опыт, изучить изменения и последствия длительной эксплуатации, провести специальные исследования. Это позволит выделить наиболее уязвимые в экологическом отношении водохранилища, определить общие направления их использования с учетом основных экологических требований и требований безопасности. Эта проблема тесно связана с рациональным использованием и охраной водных ресурсов, необходимостью защиты водоемов от заболачивания, зарастания, эвтрофирования, антропогенного загрязнения и др. негативных процессов [3].

Одна из сложных задач округа – это управление каскадом водохранилищ на р. Сулак. Водоохранилища Сулакского каскада в Дагестане - Гергебильское, Гунибское, Гочатлинское, Ирганайское, Чиркейское, Миатлинское и Чирюртовское имеют комплексное назначение. Основным водопользователями, в интересах которых осуществляется регулирование стока водохранилищами Сулакского каскада, являются гидроэнергетика, водоснабжение населения, сельское и рыбное хозяйство, промышленность.

Основной регулятор стока р. Сулак, осуществляющий годичное регулирование с сезонным перераспределением стока между водопользователями – Чиркейское водохранилище, с полным объемом 2780 млн. м³.

Гидроэлектростанции Сулакского каскада в объединенной энергосистеме Северного Кавказа участвуют в покрытии пиков графика нагрузки электроэнергетики, несут функции частотного резерва мощности, покрывают часть аварийного резерва энергосистемы в зимний период.

Вода водохранилищ используется для питьевого и хозяйственно-питьевого водоснабжения гг. Махачкала, Каспийск, Кизилюрт, Буйнакск и ряда населенных пунктов с количеством водопотребителей около 1 млн. чел.

Согласно приказу № 42 от 30.03.2005 г. Федерального агентства водных ресурсов «Об установлении режимов работы водохранилищ водохозяйственных систем», Западно-Каспийское БВУ устанавливает режимы специальных пусков, наполнения и сработки, пропуска половодья и паводков на водохранилищах Сулакского каскада ГЭС.

Многие организации имеют прямое или косвенное отношение к каскаду Сулакских водохранилищ. А хозяина, координатора, отвечающего за его экологическое благополучие, нет. Во всяком случае, по состоянию водохранилища это просматривается во многих аспектах. Дирекции ГЭС эксплуатацией водохранилищ не занимаются, никаких расходов по их благоустройству не несут, получая при этом большую часть прибыли от создания водохранилища. Все, что-то делают: ГЭС, вырабатывает электроэнергию, коммунальная служба обеспечивает водообеспечение и водоотведение, рыбоохрана стоит на страже рыбных запасов и т.д. Все вместе и каждый в отдельности работают на улучшение состояния водохранилища, но экологическая обстановка на многих водохранилищах каскада ухудшается или, во всяком случае, не улучшается и это вполне объяснимо. Загрязнение реки как бы остается неизменным, но за последние 10 лет количество вредных сбросов постоянно увеличивается, что не учитывается при сравнении загрязнений реки в естественном состоянии и водохранилища.

И еще одна проблема – Тишиклинская дамба Чиркейского водохранилища. Тишиклинская дамба – гидротехническое сооружение, длиной 1290 м и высотой 28 м. Она входит в напорный фронт Чиркейской ГЭС и позволяет аккумулировать 750 млн. м³ из 1320 млн. м³ составляющих полезный объем Чиркейского водохранилища. В Российском регистре гидротехнических сооружений Тишиклинская дамба значится как потенциально опасный объект, относящийся к I классу.

Основная задача дамбы – удержание части напорного фронта Чиркейского водохранилища в целях выработки электроэнергии и предотвращения затопления Тишиклинской долины водами р. Сулак, а также подача воды на орошение засушливых земель. Для этого, при строительстве, в теле дамбы был предусмотрен водовыпуск мелиоративного значения, который с 1976 г. так и не был задействован.

Тишиклинская дамба была запроектирована и построена в 1976 г. в процессе возведения Чиркейской ГЭС и до 1997 г. находилась на балансе дирекции «Чиркейская ГЭС» Дагэнерго, после чего была передана на баланс ФГУ «Дагводресурсы». В соответствии с распоряжением Росимущества от 2007 г. Тишиклинская дамба протяженностью 1,29 км и отсечная дрена на Чиркейском водохранилище протяженностью 1,5 км были переданы из федеральной собственности в собственность муниципального образования "село Чиркей" Буйнакского района Дагестана, не имеющего ни финансовых, ни технологических средств, ни квалифицированных кадров для обеспечения эксплуатации подобных сложных и капиталоемких гидротехнических сооружений.

С момента передачи в 2007 г. на указанных гидротехнических сооружениях не проводятся регламентные работы, нет обслуживающего персонала и охраны, что создает реальную угрозу возникновения чрезвычайной ситуации на территории, где проживает около 15 тыс. чел. В случае аварии или теракта на дамбе в зоне затопления могут оказаться Тишиклинская долина и несколько населенных пунктов Буйнакского и Кизилюртовского районов Дагестана. Уровень безопасности ГТС Тишиклинской дамбы оценивается как неудовлетворительный. Ежегодно поднимается вопрос о невозможности МО «село Чиркей» обеспечить безопасную эксплуатацию потенциально опасного объекта – Тишиклинской дамбы. В настоящее время прорабатывается вопрос о ее передаче с баланса МО «с. Чиркей» на баланс Республики Дагестан либо ПАО «Русгидро».

Вопросов возникает много и решать их, наверно, нужно в комплексе. Во всяком случае, создавшееся положение по эксплуатации водохранилищ Сулакского каскада и их использованию, находится в неустойчивом равновесии, а это продолжаться долго не может. Проблему надо решать.

Учитывая большую значимость водохранилищ Сулакского каскада ГЭС для водоснабжения городов и населенных пунктов Республики Дагестан, а также для объединенной энергосистемы Северного Кавказа, считаем целесообразным внесение названных водохранилищ в Перечень, утвержденный распоряжением Правительства РФ от 31 декабря 2008 г. № 2054-р. А для полноценной эксплуатации водохранилищ и Тишиклинской дамбы создать ФГУ по эксплуатации водохранилищ Сулакского каскада.

В Западно-Каспийском бассейновом округе очень остро стоят вопросы дефицита водных ресурсов и предотвращения последствий паводков. Наиболее остро вопрос дефицита водных ресурсов ощущается в Калмыкии, Дагестане и Ингушетии. В Калмыкии более половины населения республики не обеспечены качественной водой.

В центральной части горных районов Республики Дагестан из-за дефицита питьевой воды остро стоит социальная проблема водообеспечения населенных пунктов Левашинского, Сергокалинского и Каякентского районов. Ситуация водораздела в данных многонациональных районах обусловлена и межэтническими отношениями, что приводит к конфликтам.

Со дня основания г. Южно-Сухокумск в Дагестане испытывает острую нехватку в питьевой воде. До настоящего времени местным жителям платят безводные. Обеспеченность водой составляет менее 33 % от нормативного водопотребления, вода подается по графику в определенные часы. Водообеспечение производится из действующих артезианских скважин, которые не способны покрыть потребности города. В 70 % артезианских скважин г. Южно-

Сухокумск отмечается превышение нормативов по мышьяку 2-5 раз. Ежегодные показатели бактериального загрязнения питьевой воды составляют 3-5 %.

Дефициты потребления питьевой воды ощущаются в летнее время в населенных пунктах Ингушетии, особенно в столице Республики – г. Магас.

Для решения проблем дефицита водных ресурсов в бассейновом округе строятся водохранилища Шурдере – в южном Дагестане и Элистинское – в Калмыкии, проектируются Левашинское и Южно-Сухокумское водохранилища в Дагестане, а также планируется строительство Дубовского водохранилища в Ингушетии (табл. 2).

Таблица 2

Строящиеся, проектируемые и планируемые водохранилища

Наименование	Проектный объем, млн. м ³	Назначение	Местоположение
<i>строящиеся</i>			
Шурдере	50	гарантированное обеспечение водой объектов экономики Южного Дагестана, в т.ч. оросительных систем, водоснабжения гг. Дербент, Дагестанские Огни, Белиджи, Каякент	Республика Дагестан
Элистинское	35	водоснабжение г. Элиста и орошение земель	Республика Калмыкия
<i>проектируемые</i>			
Левашинское	1	снятие дефицита питьевой воды и нормализация социально-экономической обстановки	Республика Дагестан
Южно-Сухокумское	1	снятие дефицита питьевой воды	Республика Дагестан
<i>планируемые</i>			
Ногайское	100	снижение паводковой опасности в низовьях реки Терек	Республика Дагестан, Чеченская Республика
Дубовское	1,5	хозяйственно-бытовое водоснабжение г. Магас и населенных пунктов Ингушетии	Республика Ингушетия

Важной проблемой водохозяйственного комплекса округа является предотвращение последствий паводков.

Одной из наиболее острых проблем, входящих в водохозяйственный комплекс Северного Кавказа, является проблема борьбы с паводками. Общие принципы защиты прилегающих территорий и населенных пунктов в регионе от затопления и подтопления при прохождении паводков сводятся, в основном, к строительству водооградительных валов и берегоукрепительных сооружений.

Кафедра гидрологии суши географического факультета МГУ и ОАО «Севкавгипроводхоз» считают, что основным решением проблемы паводков

в низовьях Терека может стать создание наливного водохранилища для снятия пиков паводков. Предлагается строительство «Ногайского наливного противопаводкового водохранилища» в Ногайских степях на сопредельных территориях Чеченской Республики и Республики Дагестан, емкостью до 1,2 млрд. м³, с дальнейшим сбросом на пониженные участки песчаных территорий Ногайского района, что в перспективе позволит улучшить качество земель. Указанная территория слабо освоена в хозяйственном отношении. Ногайские степи – район полупустынного климата, в основном используемый для развития скотоводства. Любой (даже временный) источник воды, появляющийся в таких районах, дает толчок к экологическому прогрессу в развитии биоценозов, решению ряда водохозяйственных задач, ранее не характерных для засушливой местности. Конечно, все это требует детального изучения, оценок воздействия на окружающую среду, гидрологических, водохозяйственных и экономических расчетов, согласования со всеми заинтересованными субъектами РФ, министерствами и ведомствами. Все это будет оправдано, если поможет снизить риск наводнений в дельте Терека.

Список литературы

1. Водный кодекс Российской Федерации от 3 июня 2006 г. N 74 - ФЗ.
2. Методические указания по разработке правил использования водохранилищ, утв. Приказом Минприроды России от 26 января 2011 г. № 17.
3. Тихомиров О.А. Динамика аквальных комплексов равнинных водохранилищ. Тверь: Тверской гос. ун-т, 2008. 308 с.

© Курбанчиев Г.С., Гаджиев М.К., 2019

ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ВОЛГО-АХТУБИНСКОЙ ПОЙМЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА ВОЛЖСКО-КАМСКИМ КАСКАДОМ ВОДОХРАНИЛИЩ

Горелиц О.В., Ермакова Г.С., Землянов И.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение

«Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова», г. Москва

E-mail: gorelits@mail.ru

Аннотация. Рассмотрен гидрологический аспект проблемы деградации экосистем верхней части Волго-Ахтубинской поймы (ВАП). Приведен анализ причин недостаточного обводнения рук. Ахтуба и верхнего участка ВАП после сооружения Волжско-Камского каскада водохранилищ и зарегулирования стока р. Волга. Снижение водности Ахтубы в период весеннего половодья в совокупности с низким стоком в летнюю межень может стать причиной деградации уникальной экосистемы ВАП.

Ключевые слова: Волго-Ахтубинская пойма, Волжско-Камский каскад водохранилищ, гидрологический режим, регулирование стока.

CHANGES IN THE HYDROLOGICAL REGIME OF THE VOLGA-AKHTUBA FLOODPLAIN CAUSED BY THE FLOW CONTROL OF THE VOLGA-KAMA RESERVOIR CASCADE

Gorelits O.V., Ermakova G.S., Zemlyanov I.V.

Zubov State Oceanographic Institute, Moscow

Abstract. The hydrological aspect of the degradation problem for ecosystems of the upper Volga-Akhtuba floodplain (VAF) is considered. An analysis of the causes for insufficient watering of the Akhtuba arm and the upper part of the VAF after the construction of the Volga-Akhtuba reservoir cascade and flow regulation is given. Decrease in water content of the Akhtuba during the period of spring flood in the aggregate with low flow in the summer dry weather period can become a cause for degradation of the unique VAF ecosystem.

Keywords: Volga-Akhtuba floodplain, Volga-Kama reservoir cascade, hydrological regime, flow control.

Волго-Ахтубинская пойма (ВАП) – сложная русловая система, сформированная главными водотоками – р. Волга и ее левым рукавом Ахтуба и многочисленными протоками, ериками и водоемами их междуречья. В условиях аридного климата основным фактором, определяющим существование уникальной экосистемы ВАП и ее биоразнообразие, являются водные ресурсы. Изменения гидрологического режима обуславливают динамику основных элементов экосистемы ВАП.

Наиболее существенной особенностью гидрологии Волго-Ахтубинской поймы является ежегодное заливание ее территории в период половодья. Выход полых вод на пойму создает благоприятные условия для обогащения почв плодородным наилком, увлажнения сенокосов и дубрав, создания запасов воды для орошения в местной гидрографической сети и создания благоприятных условий обитания [1].

Благодаря регулярному и обильному обводнению, природные условия Волго-Ахтубинского междуречья значительно контрастируют с сухостепными и полупустынными условиями примыкающих территорий по богатству ландшафтов, обилию флоры и фауны, что позволяет выделить территорию ВАП как особый интразональный природный комплекс [2].

С вводом в эксплуатацию Волжско-Камского каскада водохранилищ (ВКК) и его замыкающей ступени – Волжской ГЭС и Волгоградского водохранилища – гидрологический режим поймы коренным образом изменился и приобрел новые черты. Под влиянием зарегулирования произошли изменения основных экологически значимых параметров гидрологического режима,

распределения стока между Волгой, Ахтубой и водотоками их междуречья, продолжительности заливания пойменных территорий в период половодья.

Уже в период проектирования Волжско-Камского каскада учитывались особая значимость обводнения Волго-Ахтубинской поймы и необходимость решения этой проблемы после зарегулирования стока. Поэтому в период строительства и начала эксплуатации Волжской ГЭС были разработаны комплексные компенсационные мероприятия, направленные на снижение возможного негативного влияния зарегулирования на обводнение ВАП и сохранение уникальных пойменных экосистем [3].

В проектах комплексного переустройства ВАП впервые была выдвинута идея продольного обвалования основного русла Волги, сооружения низконапорного гидроузла в конце защитного вала. На обвалованной пойме планировалось лиманное орошение, для чего предполагалось разделить её поперечными дамбами на отдельные участки, которые в необходимые агрономические сроки заливались бы небольшим слоем воды. В русле рук. Ахтуба предполагалось строительство головного сооружения для подачи постоянного расхода воды в 200-250 м³/с [3]. Мероприятия по управляемому обводнению Волго-Ахтубинской поймы – обвалования и лиманное орошение – должны были способствовать сохранению биоразнообразия и обеспечению высокой продуктивности ценных в сельскохозяйственном и рыбохозяйственном отношениях угодий.

В наибольшей степени влияние зарегулирования стока испытала экосистема северной (верхней) части ВАП. Поэтому при проектировании комплексных решений по переустройству ВАП после зарегулирования стока особое внимание уделялось работам по обеспечению устойчивого обводнения верхнего участка Волго-Ахтубинской поймы в пределах границ Волгоградской области. Основным источником водного питания этой части ВАП является рук. Ахтуба. Для обеспечения поступления необходимых объемов воды в русло Ахтубы и далее на пойму были сооружены Головная насосная станция в ее истоке и водопроводящие тракты – в Среднеахтубинском районе Волгоградской области. Под тракты были использованы цепочки ериков, построены подпорные и регулирующие гидротехнические сооружения. Головная насосная станция и часть этих сооружений функционируют до настоящего времени, но их ресурс практически исчерпан.

Сооружение водохранилищ ВКК и зарегулирование стока значительно изменили водный режим рук. Ахтуба. В то же время комплексные компенсационные мероприятия, планировавшиеся после создания ВКК, не были реализованы в полном объеме, поэтому на современном этапе естественные

процессы обводнения и водообмена в пределах Волго-Ахтубинской поймы существенно нарушены.

В верхней части ВАП, в силу геоморфологических особенностей, общий уклон территории направлен от Ахтубы к Волге, поэтому водотоки и водоемы на этом участке обводняются преимущественно из Ахтубы. На рис. 1 приведен пример поперечного профиля рельефа Волго-Ахтубинской поймы в створе г. Ленинск (65 км ниже плотины Волжской ГЭС). На этом участке общее поперечное падение составляет около 5 м: от отметки бровки рук. Ахтуба –5 м БС до –10 м БС (отметка бровки русла р. Волга).

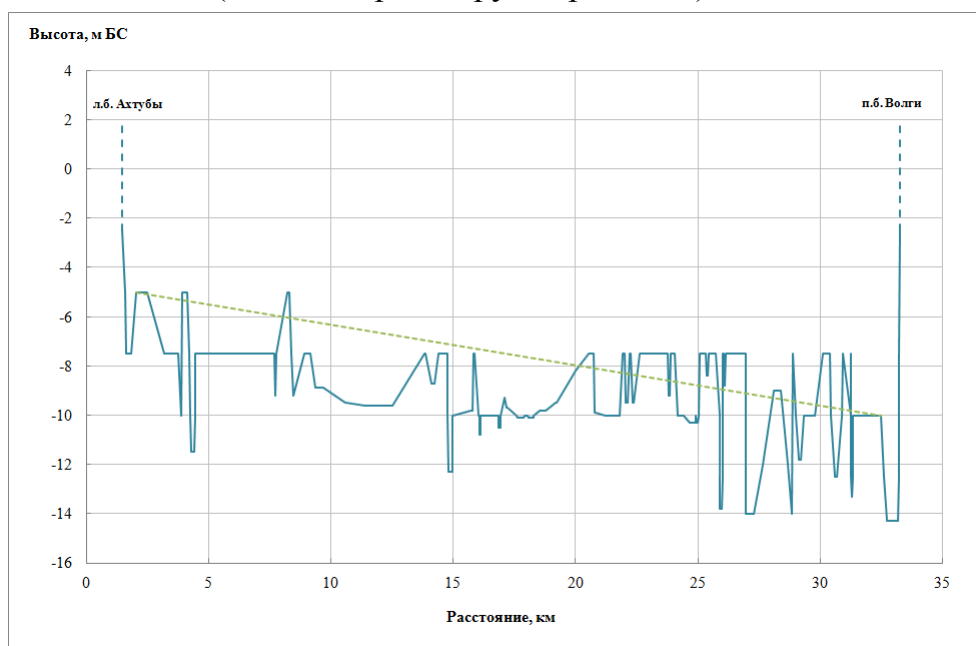


Рис. 1. Поперечный профиль рельефа Волго-Ахтубинской поймы в створе г. Ленинск (по материалам топографических карт М 1:25000 и М 1:10000)

На рис. 2 представлен график изменений расхода воды вдоль рук. Ахтуба на ее верхнем 150-ти км участке в период половодья, построенный по результатам полевых измерений расходов воды в рук. Ахтуба, выполненных авторами на пике половодья 2014 г. Приведенный график наглядно иллюстрирует процесс обводнения верхней части ВАП из рук. Ахтуба. На первых 140 км происходит разгрузка стока из русла Ахтубы через правобережные бровки на территорию ВАП. На этом участке рук. Ахтуба теряет до 90 % стока: с 1900 м³/с – в истоке до 150 м³/с – в 20 км ниже г. Знаменск [4].

Полученные данные подтверждают роль рук. Ахтуба как основного источника питания (обводнения) водных объектов в верхней части ВАП. Поэтому любые изменения водного режима рук. Ахтуба напрямую сказываются на изменении режима обводнения Волго-Ахтубинской поймы на этом участке и, как следствие, на состоянии ее экосистемы.

Проведенный анализ позволил определить основные тенденции изменения водного режима Ахтубы вследствие зарегулирования стока Волги и выявить основные факторы, обусловившие эти изменения.

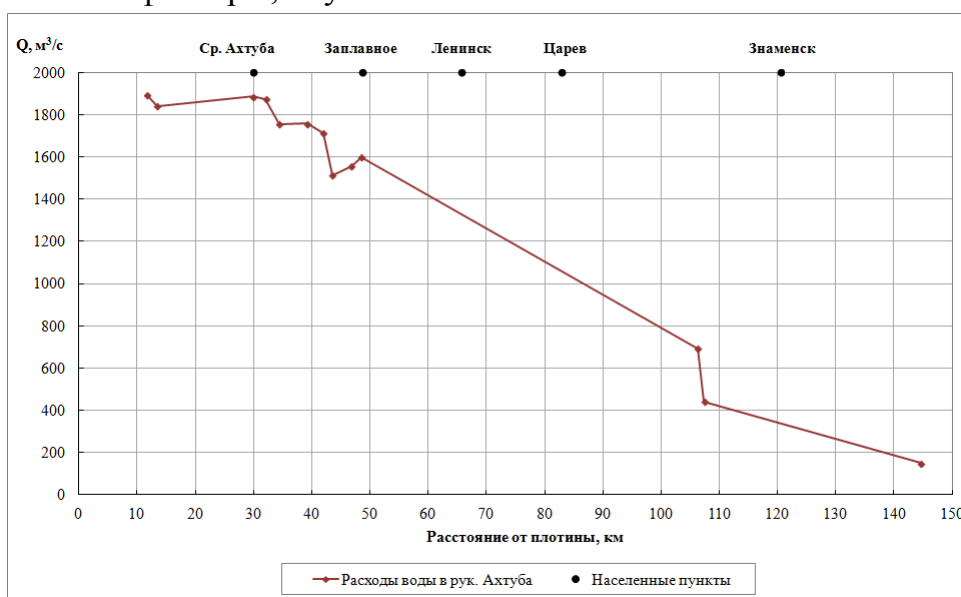


Рис. 2. Изменение расхода воды вдоль рук Ахтуба в верхнем течении (по данным полевых работ ФГБУ «ГОИН» в период половодья 2014 года)

Создание ВКК и зарегулирование стока привело к существенным изменениям внутригодового распределения стока, поступающего в нижний бьеф Волжской ГЭС. При относительно незначительных многолетних изменениях годового объема стока р. Волга, в зарегулированных условиях произошло существенное перераспределение стока между фазами высокой и низкой водности [5, 6]. Доля стока весеннего половодья уменьшилась с 67 % до 49 %, доля меженного стока, наоборот, увеличилась, причем более значительно увеличилась доля зимней межени – с 12 % до 26 % годового стока.

Второй причиной изменения водного режима Ахтубы является существенное снижение уровней воды в нижнем бьефе Волжской ГЭС, связанное с русловыми деформациями в результате размыва [5, 7, 8]. Согласно [9], понижение уровней нижнего бьефа Волжской ГЭС, связанное с общими размывами русла, должно было составить после 50 лет эксплуатации 30 см – при больших расходах и 40 см – при малых расходах.

Фактическое понижение уровней можно оценить по приведенному на рис. 3 графику связи сбросов Волжской ГЭС и уровня воды по гидрологическому посту р. Волга – г. Волгоград для 1961 г. (1 год эксплуатации) и 2017 г. Для максимальных расходов воды разница в уровнях составляет 0,6-0,8 м, для меженных расходов она достигает 1,5 м и более. В этих условиях, даже при поддержании постоянных отметок дна на входе в Волго-Ахтубинский канал (исток рук Ахтуба), доля стока Волги, поступающая в рук Ахтуба, суще-

ственно снижается. Изменение внутригодового распределения стока и про-садки уровня воды в нижнем бьефе Волжской ГЭС вследствие размыва русла стали причиной значительного уменьшения водности и снижения уровня воды рук. Ахтуба.

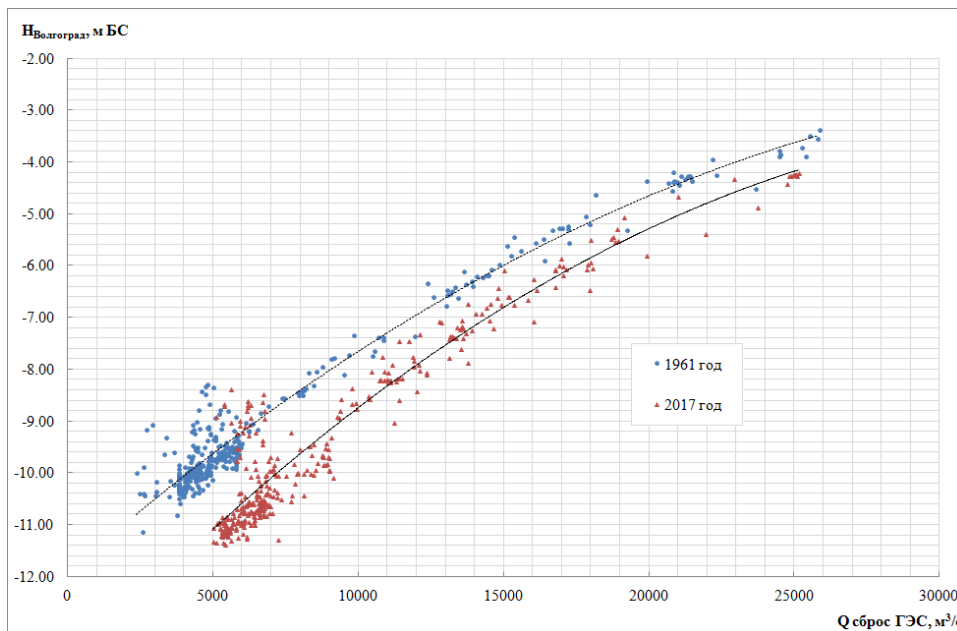


Рис. 3. Зависимость между сбросами Волжской ГЭС и уровнями воды на гидрологическом посту р. Волга – г. Волгоград за 1961г. и 2017 г.

На рис. 4 приведены колебания среднегодового уровня воды по гидрологическому посту рук. Ахтуба – пгт Средняя Ахтуба. Сводные характеристики изменения среднегодового уровня и средних уровней по кварталам года с осреднением за периоды естественного режима и зарегулированного стока приведены в табл. 1.

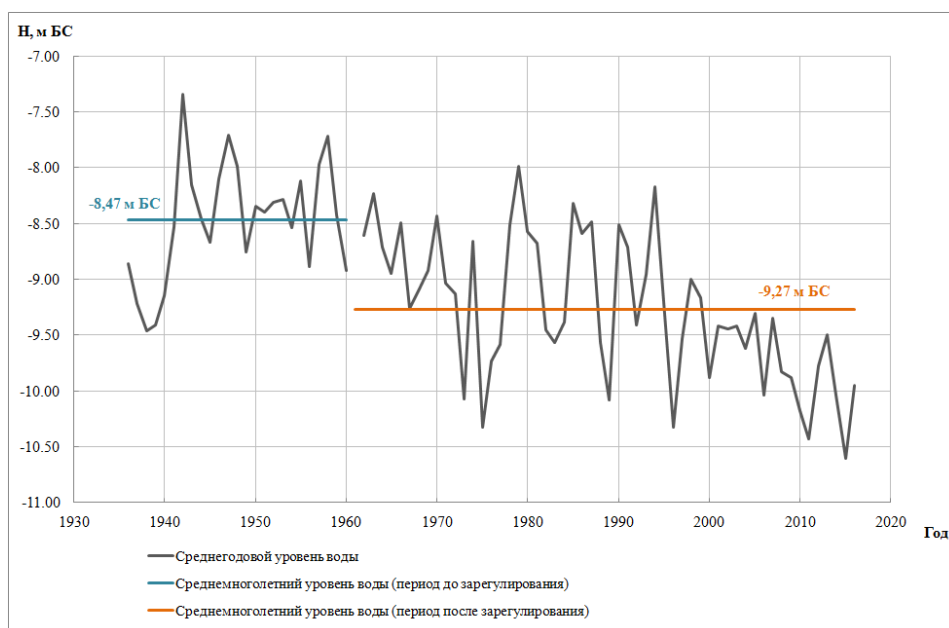


Рис. 4. Колебания среднегодового уровня воды по гидрологическому посту рук. Ахтуба – пгт Средняя Ахтуба за период инструментальных наблюдений (1936-2017 гг.)

Среднегодовое значение уровня воды в створе пгт Средняя Ахтуба в период зарегулированного стока, по сравнению с естественным режимом, снизился на 0,8 м, причем явно прослеживается тенденция его дальнейшего снижения. С 2000 г. все среднегодовые уровни были ниже среднегодового значения за период зарегулированного стока 1961-2017 гг. (рис. 4).

Таблица 1

**Изменения среднегодовых характеристик уровня воды
после зарегулирования стока р. Волга по гидрологическому посту
рук. Ахтуба – пгт Средняя Ахтуба**

Наименование характеристики	Значение, м		Δ, м
	до зарегулирования	после зарегулирования	
Среднегодовой уровень воды	-8.47	-9.27	-0.80
Средний уровень воды за I квартал	-8.84	-9.02	-0.18
Средний уровень воды за II квартал	-6.04	-7.61	-1.57
Средний уровень воды за III квартал	-9.25	-10.18	-0.93
Средний уровень воды за IV квартал	-9.87	-10.27	-0.40

Наиболее значительное снижение уровня воды наблюдается в период половодья (II квартал) – 1,57 м. Это связано как с сокращением поступления стока из русла Волги в исток Ахтубы из-за снижения уровней нижнего бьефа Волжской ГЭС, так и с общим снижением стока половодья вследствие сезонного регулирования ВКК. В летнюю межень (III квартал) снижение уровня также превышает среднегодовые значения (0,93 м). В период осенней и зимней межени (с октября по март) снижение уровней невелико – 0,18 и 0,40 м для I и IV кварталов соответственно (табл. 1).

Проведенный анализ показал, что для рук. Ахтуба наблюдается значительное снижение общей водности, с неравномерным распределением этого снижения внутри года. Максимальное уменьшение водности отмечается в вегетационный период (II и III кварталы). Для экосистемы ВАП эти тенденции определяют ряд негативных последствий.

Уменьшение весеннего стока Ахтубы не позволяет обводнять водные объекты ВАП в достаточной степени. Уменьшается площадь затопления, в гидрографической сети накапливаются меньшие запасы воды, в половодье не происходит заливание значительной части прежде ежегодно заливавшихся пойменных угодий.

В следующую за половодьем летне-осеннюю межень ситуация усугубляется тем, что снижение уровней воды в Ахтубе в летний период затрудняет поступление воды в системы водных трактов ВАП, т.к. отметки дна в истоках основных водоподающих ериков оказываются выше фактических уровней

воды в Ахтубе. В летний период водные объекты ВАП, не получившие достаточного ресурса в период половодья, остаются без дополнительной подпитки из Ахтубы. В то же время, при быстром снижении уровня воды в Ахтубе и Волге из-за смены направления гидравлической связи поймы на отдельных участках начинает терять свои водные запасы, сбрасывая их обратно в Ахтубу и Волгу по руслам пойменных водотоков. Совокупное значительное уменьшение обводнения водных трактов поймы в период весеннего половодья и летней межени приводит к формированию критической ситуации, включающей, среди прочего, нехватку водных ресурсов, истощение и деградацию водных объектов, необратимые изменения видового разнообразия наземной и водной экосистем.

Значимыми последствиями создания Волжско-Камского каскада и зарегулирования стока для уникальной экосистемы Волго-Ахтубинской поймы стали уменьшение площади водоемов на её территории, сокращение нерестовых угодий и ухудшение непосредственных условий воспроизводства рыбных биоресурсов, в том числе гидрохимического, уровня и термического режимов водоемов поймы. Произошла деградация пойменного и речного ихтиоценозов, начался процесс уменьшения их видового разнообразия. В последние десятилетия отмечается также ухудшение состояния наземных растительных сообществ, в том числе существенное сокращение площадей пойменных дубрав, которые играют важнейшую ландшафтообразующую роль.

Список литературы

1. Шеппель П.А. Паводок и пойма. Волгоград: Ниж.-Волж. кн. изд-во, 1986. 240 с.
2. Горяйнов В.В., Филиппов О.В., Плякин А.В., Золотарев Д.В. Волго-Ахтубинская пойма: особенности гидрографии и водного режима. Волгоград: Волгоградское научн. изд-во, 2004. 112 с.
3. Проблемы хозяйственного освоения Волго-Ахтубинской поймы и дельты Волги. / под ред. акад. И.П.Герасимова, акад. Д.И.Щербакова, проф. М.И.Львовича. Изд. АН СССР, М., 1962. 148с.
4. Горелиц О.В., Ермакова Г.С., Сапожникова А.А., Терский П.Н. Водный режим рук. Ахтуба в условиях зарегулированного стока р. Волги. // Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей. VIII Междунар. науч.-практ. конф. (Москва, РУДН, 24-27 ноября 2014 г.). Т. 2. М., 2014. С. 156-165.
5. Горелиц О.В., Землянов И.В. Современный механизм заливания территорий Волго-Ахтубинской поймы в период половодья (в пределах Волгоградской области). // В сб. «Научный потенциал регионов на службу модернизации». Астрахань: ГАОУ АО ВПО «АИСИ», 2013. № 2 (5). Спецвыпуск. С. 9-18.
6. Горелиц О.В., Ермакова Г.С. Терский П.Н. Гидрологический режим Нижней Волги в современных условиях. // Метеорология и гидрология, 2018, № 10, С. 27-39.
7. Мажбиц Г.Л., Буланов Е.П. Изменение положения кривой связи расходов и уровней воды и русловые процессы в нижнем бьефе Волжской ГЭС. // В сб.: Водные ресурсы

- Волги: настоящее, будущее, проблемы управления. Изд-во АГУ. Астрахань. 2008. С. 232-240.
8. Коротаев В.Н., Иванов В.В. Русловые деформации на Нижней Волге. // Вестник МГУ. Сер. 5. География. № 6. 2000.
9. Технический отчет о проектировании и строительстве Волжской ГЭС имени XXII съезда КПСС. Т. 1. Основные сооружения. М.: Энергия. 1965.

© Горелиц О.В., Ермакова Г.С., Землянов И.В., 2019

ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЧЕБОКСАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА НЕПРОЕКТНОЙ ОТМЕТКЕ

Баринов А.Н.

Верхне-Волжское бассейновое водное управление, г. Нижний Новгород
E-mail: vvbvu@kis.ru

Аннотация. Пуск первого гидроагрегата Чебоксарской ГЭС состоялся 31 декабря 1980 г. К 1981 г. водохранилище было наполнено на промежуточную отметку НПУ 63,0 м, что позволило начать временную эксплуатацию гидроузла.

Строительство инженерных сооружений водохранилища велось в 1974-1993 г. для НПУ 68,0 м, но в настоящее время заморожено. В результате Чебоксарский гидроузел не завершен строительством, не принят в постоянную эксплуатацию и более 35 лет эксплуатируется при временной промежуточной отметке водохранилища – 63,0 м в неустойчивом режиме, с резко пониженными параметрами и незавершенной инженерной защитой земель и населенных пунктов.

С 1992 г., когда гребни водосливных пролетов плотины Чебоксарской ГЭС были возведены до проектной отметки 54,0 м, пропуск половодья вероятностью превышения 1 % при отметке 63,0 м стал невозможен.

Необходимо просчитать различные варианты решения данного вопроса, включая строительство водосброса или возможность форсировки водохранилища выше отметки 63,0 м БС, и соответственно, строительство инженерных защит территорий в нижнем бьефе Чебоксарской ГЭС и строительство (обустройство) ложа водохранилища на максимальную отметку форсировки водохранилища (ориентировочно выше 67,0 м БС).

Ключевые слова: Чебоксарское водохранилище, инженерное сооружение, гидроузел, водосливной пролет, промежуточная отметка, форсировка водохранилища.

PROBLEMS OF THE CHEBOKSAR RESERVOIR OPERATION ON UNDESIGNED MARK

Barinov A.N.

Upper Volga basin water administration, Nizhy Novgorod

Abstract. Start of the first hydroelectric unit at the Cheboksar hydroelectric station (HES) took place in December 1980. By 1981 the reservoir was filled on an intermediate mark of normal water level (NWL) 63 m that allowed to begin temporal operation of the hydroelectric unit.

Construction of the reservoir engineering structures was being conducted in 1974-1993 for NWL 68 m, but now it is frozen. As a result, the Cheboksar hydroloscheme is not finished, put into constant operation and has been operating more than 35 years at temporal intermediate reservoir mark 63 m under unsteady regime with the reduced parameters and uncompleted engineering protection of lands and populated areas. Since 1992, when crests of dam weir spans of the Cheboksar hydroelectric station were erected to designed mark 54.0 m, pass of flood with 1 % excess probability at 63 m mark has become impossible.

It is necessary to calculate different variants for solving this problem including spillway construction or possibility of the reservoir forcing higher 63.0 m BS and construction of the engineering protection for territories in the tail bay of the Cheboksar HES as weel as construction of the reservoir bed for the maximum forcing mark of the reservoir (approximately) higher 67 m BS.

Keywords: Cheboksar reservoir, engineering structure, hydroscheme, weir span, intermediate mark, reservoir forcing.

Строительство четвертой ступени Волжского каскада было запланировано еще в 1931 г. Проект «Большая Волга», руководство которым поручено профессору А.В. Чаплыгину, предполагал строительство каскада гидроузлов на Волге и Каме для создания единого глубоководного пути, соединяющего Каспийское, Черное, Балтийское и Белое моря. В процессе доработки проекта менялось количество ГЭС, их мощность, расположение створов, однако во всех вариантах неизменно присутствовал Чебоксарский гидроузел.

50 лет назад, 22 января 1967 г., Совет Министров СССР утвердил проектное задание на строительство Чебоксарской ГЭС. Этот день считается началом сооружения гидростанции. Проектное задание (1968 г.) на строительство Чебоксарской ГЭС предусматривало наполнение водохранилища на отметку 68.0 м.

В соответствии с проектом строительства Чебоксарской ГЭС, целью создания гидроузла было завершение создания сквозной глубоководной транспортной системы европейской части России. Кроме того, решалась задача по регулированию стока Волжского бассейна в интересах водного транспорта, сельского хозяйства, снижения паводковых затоплений в нижнем бьефе, обеспечивалось соединение транспортными магистралями Чувашской Республики с Республикой Марий Эл, Республикой Татарстан, Кировской областью, за счет использования емкости Чебоксарского водохранилища обеспечивалось водоснабжение крупных населенных пунктов.

Пуск первого гидроагрегата Чебоксарской ГЭС состоялся 31 декабря 1980 г. , а после успешных испытаний 15 января 1981 г. на основании Приказа Министерства энергетики и электрификации СССР, Чебоксарская гидроэлектростанция вошла в число действующих предприятий Советского Союза.

К 1981 г. водохранилище было наполнено на промежуточную отметку НПУ 63.0 м, что позволило начать временную эксплуатацию гидроузла. Строительство основных сооружений и монтаж оборудования ГЭС завершены для отметки НПУ 68.0 м.

Министерство мелиорации и водного хозяйства РСФСР приказом от 02.09.1982 г. № 531 утвердило Временные правила использования водных ресурсов Чебоксарского водохранилища на р. Волга (на период начальной эксплуатации), согласно которых пропускная способность ГЭС составляла 30-36 тыс. м³/с. Эта возможность пропуска была обусловлена отметкой гребня водосливной плотины – 47,0 м БС.

С 1992 г., когда гребни водосливных пролетов плотины Чебоксарской ГЭС были возведены до проектной отметки 54.0 м БС, максимальная пропускная способность гидроузла составляет 24,3 тыс. м³/с и пропуск половодья вероятностью превышения 1 % при отметке 63.0 м стал невозможен, так как Временные правила использования водных ресурсов Чебоксарского водохранилища на р. Волге (на период начальной эксплуатации), утвержденные Министерством мелиорации и водного хозяйства РСФСР приказом от 02.09.1982 г. № 531, стали неактуальными в части расчетов пропускной способности плотины. В настоящее время отсутствуют расчеты по пропускной способности, максимальным уровням в верхнем и нижнем бьефах при принятии решения по форсировке уровня воды при прохождении паводков редкой повторяемости.

Распоряжением Правительства Российской Федерации от 12 марта 1992г. № 468-р "Об установлении подпорного уровня водохранилища Чебоксарской ГЭС" принято предложение Президента Марийской ССР и администрации Нижегородской области об установлении нормального подпорного уровня водохранилища Чебоксарской ГЭС на отметке 63,0 м и обеспечить в 1992-1995 гг. выполнение работ, связанных с эксплуатацией водохранилища и сооружений Чебоксарской ГЭС на отметке 63,0 м и в трехмесячный срок уточнить объемы и источники финансирования работ по строительству сооружений инженерной защиты земель и населенных мест, а также объектов судоходства, водоохраных и других мероприятий, необходимых для эксплуатации водохранилища на указанной отметке. Строительство инженерных сооружений водохранилища велось в 1974-1993 гг. для НПУ 68,0 м, но в настоящее время заморожено. В результате Чебоксарский гидроузел не завершен строительством, не принят в постоянную эксплуатацию и более 35 лет эксплуатируется при временной промежуточной отметке водохранилища – 63.0 м в

неустойчивом режиме, с резко пониженными параметрами и незавершенной инженерной защитой земель и населенных пунктов.

Одной из целей Водной Стратегии Российской Федерации на период до 2020 г. в части гарантированного водообеспечения обозначено завершение строительства Чебоксарской ГЭС с отметкой нормального подпорного уровня водохранилища 68.0 м.

Ситуация последних маловодных лет показывает, что ресурс решения задачи устойчивого водообеспечения населения и экономики бассейна р. Волга, поддержания экологического равновесия дельты Волги исключительно путем регулирования современных мощностей Волжско-Камского каскада без увеличения его аккумулирующих мощностей исчерпан.

При достройке Чебоксарского водохранилища на проектную мощность при отметке НПУ водохранилища 68.0 м БС могут быть решены следующие задачи:

1. Создание новых ресурсных (+5.4 км³ воды) условий для более устойчивого обеспечения потребностей в водных ресурсах предприятий жилищно-коммунального хозяйства, объектов промышленности и теплоэнергетики, орошения сельскохозяйственных земель, рыбного хозяйства, внутреннего водного транспорта и гидроэнергетики. Решение этой задачи позволит выйти на каскадный метод регулирования стока и защиту регионов от маловодных периодов.

2. Создание дополнительных противопаводковых аккумулирующих возможностей как на собственно Чебоксарском водохранилище, так и на Волжско-Камском каскаде, в целом, разведению пиков весеннего половодья на рр. Волга, Ока, Сура, Ветлуга. Решение этой задачи лежит в плоскости защиты от негативного воздействия вод при прохождении паводков редкой повторяемости.

В связи с тем, что Чебоксарское водохранилище функционирует на не-проектной отметке на территории зоны деятельности Верхне-Волжского БВУ по-прежнему актуальной остается проблема пропуска паводков редкой повторяемости через Чебоксарский гидроузел.

Гидроузел Чебоксарской ГЭС функционирует, в соответствии с декларацией безопасности, где пропуск паводков редкой повторяемости предусмотрен на отметках верхнего и нижнего бьефов, небезопасных для населения объектов экономики и сооружений жилищно-коммунальной сферы.

13 июля 2015 г. № Пр-1350 было подписано поручение Президента Российской Федерации о разработке и утверждении плана-графика мероприятий по завершению строительства Чебоксарской ГЭС. В целях выполнения

поручения Президента Российской Федерации Минэкономразвития были проведены выездные совещания 7-9 октября 2015 г. и с 11 по 13 октября 2017 г. по объектам, расположенным в зоне влияния Чебоксарского водохранилища по маршруту гг. Чебоксары, Козьмодемьянск и Нижний Новгород. В решении протокола совещания в Минэкономразвития 28 октября 2015 г. обозначена задача обеспечения защиты территорий при прохождении паводков, в том числе редкой (1 %) повторяемости.

Правительством РФ утвержден план-график мероприятий по завершению строительства Чебоксарской ГЭС, 01.04.2016 г. направлено поручение заместителя Председателя Правительства РФ Ю. Трутнева в адрес Минэкономразвития по обеспечению выполнения плана-графика с участием заинтересованных органов исполнительной власти, органов власти субъектов, срок реализации – 2020 г. Разработка технико-экономической оценки варианта завершения строительства Чебоксарской ГЭС на отметку НПУ 63 м в объеме и на глубину, соответствующим ранее действующим требованиям к стадии "Обоснование инвестиций".

Ответственный исполнитель – ПАО "РусГидро". По результатам торгов был определен исполнитель работ – АНО "Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации".

В отчете Аналитического центра обозначено следующее:

– на текущий момент на Чебоксарском гидроузле пропуск половодья с вероятностью превышения 1 % через существующие водосбросные сооружения обеспечивается при уровне воды перед плотиной на отметке 67,5 м;

– при сохранении НПУ Чебоксарского водохранилища на отметке 63 м выполнение нормативного требования по пропуску половодья с вероятностью превышения 1 % потребует строительства регулируемого дополнительного водосброса;

– обеспечение пропусков половодий редкой повторяемости (0,01 % – 1 %) может быть осуществлено только с поднятием уровня верхнего бьефа выше отметки 63,0 м;

– реконструкция инженерных защит зоны Чебоксарского водохранилища должна быть выполнена на выбранную отметку ФПУ.

01 октября 2018 г. в Правительстве Российской Федерации проведено совещание под председательством Заместителя Председателя Правительства РФ Д.Н. Козака (протокол совещания от 01.10.2018 г. № ДК-П9-179-пр) по вопросу целесообразности изменения подпорного уровня водохранилища Чебоксарской ГЭС. Позиция Федерального агентства водных ресурсов была озвучена в части решения проблемы водно-ресурсного потенциала.

Во исполнение п.3 протокола от 25 октября 2018 г. у заместителя Министра природных ресурсов и экологии Российской Федерации С.Н. Ястребова состоялось совещание, где было решено подготовить доклад Заместителю Председателя Правительства РФ Д.Н. Козаку с предложением разработки проектной документации по завершению строительства комплекса гидротехнических сооружений Чебоксарского гидроузла для отметки НПУ 63,0 м.

Проект гидроузла для отметки НПУ 63,0 м необходим для оценки и анализа экономической эффективности капитальных затрат по каждому из вариантов завершения строительства Чебоксарского водохранилища, в соответствии с нормативно-правовыми актами в части проектирования гидроузлов, проектирования, строительства и ввода в эксплуатацию водохранилищ (рис.).

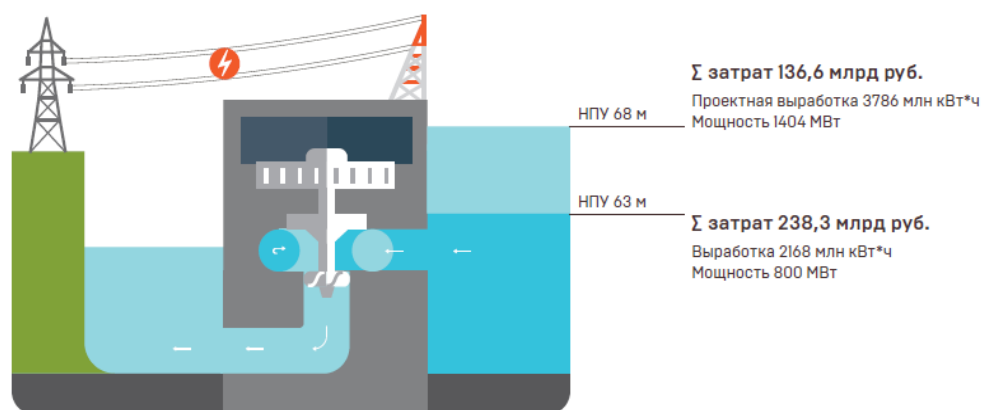


Рис. Сравнительные затраты при остановке на отметке 63,0 м и поднятии на отметку 68,0 м

Необходимо определить Федеральное ведомство, ответственное за комплексное решение проблем и достижения целей завершения достройки и обустройства Волжско-Камского бассейна. При этом в условиях действующего законодательства не проработаны отдельные вопросы, связанные с организацией проектирования, проведения экспертизы, принятия решений о строительстве, назначения заказчиков, организации строительства и приемки в эксплуатацию ложа водохранилища. Решение данных вопросов потребует независимо от принятия решения об отметке Чебоксарского водохранилища.

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ В БАССЕЙНЕ РЕКИ АМУР

Болгов М.В., Филиппова И.А., Осипова Н.В., Трубецкова М.Д., Коробкина Е.А.

Институт водных проблем РАН, г. Москва
E-mail: *bolgovmv@mail.ru*

Аннотация. На примере бассейна р. Амур обсуждаются проблемы развития методической базы инженерной гидрологии. Рассмотрены пути повышения достоверности расчетных гидрологических характеристик в условиях ограниченности данных наблюдений. Предложены подходы, развивающие основные принципы совместного анализа данных применительно к экстремальным осадкам. Рассмотрены особенности формирования паводочного стока в условиях распространения многолетнемерзлых пород. Получены оценки максимально возможных расходов паводочного стока и разработана методика их учета на основе байесовского подхода.

Ключевые слова: гидрологические характеристики, предельный максимум стока, групповой анализ данных, композиция распределений, байесовские оценки, река Амур.

DEVELOPMENT OF METHODS FOR ASSESSING THE HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS FOR EFFECTIVE WATER RESOURCES MANAGEMENT IN THE AMUR RIVER BASIN

Bolgov M.V., Filippova I.A., Osipova N.V., Trubetskova M.D., Korobkina E.A.
Water Problems Institute of RAS, Moscow

Abstract. On the example of the Amur River basin the main problems of developing the methodological base of engineering hydrology are discussed. The ways to increase the reliability of the calculated hydrological characteristics under the conditions of limited observation data are considered. The approaches developing basic principles of joint data analysis in relation to extreme precipitation are proposed. The features of the flood runoff formation under the conditions of permafrost are considered. Estimates of the maximum possible flood flow are obtained, and the methods of their accounting based on the Bayesian approach are developed.

Keywords: hydrological characteristics, extreme maximum flow, group data analysis, composition of distributions, Bayesian estimates, Amur River.

Введение. Методическая база инженерно-гидрологических расчетов, сложившаяся в РФ в настоящее время, не позволяет должным образом оперативно реагировать на возникающие проблемы изменения гидрологического режима, вследствие климатических изменений и антропогенных преобразований на крупных водосборах.

Предлагаемые методы инженерной гидрологии должны обеспечить решение задач, ранее не рассматривавшихся в российской практике водохозяйственного и гидротехнического проектирования. В связи с участвовавшими наводнениями необходимы разработка и приложение теории предельных

максимумов стока к условиям российской территории, модернизация существующих методов расчета гидрологических характеристик на основе новых вероятностных моделей, новых методов оценивания параметров, направленных на увеличение объема независимой информации, новых подходов к долгосрочному прогнозированию изменений гидрологического режима в условиях климатических изменений.

В статье обобщается опыт применения разрабатываемых авторами методов решения некоторых актуальных задач на примере бассейна р. Амур.

Расчет предельно возможных осадков и стока в бассейне р. Амур

Строительные нормы, регламентирующие проектирование особо ответственных гидротехнических сооружений, требуют проверки конструкций на устойчивость при прохождении так называемого предельно возможного паводка (ПВМ) (probable maximum flood – PMF). Оценка PMF предполагает, прежде всего, определение максимально возможных осадков (МВО) (probable maximum precipitation – PMP), под которым понимают наибольший слой осадков заданной продолжительности и площади распространения, физически возможный для расчетного водосбора или для зоны ливней в конкретном месте, в определенное время года, без учета долгосрочных климатических тенденций [1].

Есть два принципиально разных подхода к расчету PMP, в соответствии с рекомендациями Всемирной метеорологической организации (ВМО) [1]. Первый – статистический – базируется на применении статистических методов к рядам наблюдений за осадками [2]. В основу второго подхода, так называемого гидрометеорологического, положена интерпретация данных наблюдений за метеорологическими характеристиками атмосферы, поэтому можно считать, что он физически более обоснован.

Расчет PMP гидрометеорологическим методом, согласно методике ВМО, основан на определении предельного количества влаги в столбе атмосферы и на предположении, что вся эта влага выпадает в виде осадков. Метод нуждается в большом количестве метеорологических данных (температура воздуха, точка росы, скорость ветра и т.д.) в точке наблюдения.

Рассчитываемые по методике ВМО максимально возможные осадки в бассейне р. Амур используются для расчета предельных величин стока в бассейне р. Зея с помощью моделирующей системы НЕС-NMS. Система позволяет воспроизводить форму гидрографа и максимальные значения стока дождевого паводка в условиях распространения многолетнемерзлых пород. Для выяснения и учета особенностей формирования паводочного стока при выпадении экстремальных дождевых осадков в условиях криолитозоны и верифи-

кации модели использованы уникальные данные результатов наблюдений на Колымской и Бомнакской водобалансовых станциях [3].

Для расчета экстремальных значений максимально возможного паводочного стока на основе максимальных осадков авторами предложен специальный алгоритм конструирования гистограммы дождя, соответствующей максимально возможным осадкам. Алгоритм позволяет учесть статистические характеристики дождей за различные периоды суммирования осадков. Определенный, в соответствии с этими разработками, максимально возможный расход притока к Зейскому водохранилищу составил 55000 м³/с.

Обобщенный статистический метод оценки характеристик дождевых осадков на территории бассейна р. Амур

Расчетные значения осадков малой обеспеченности, получаемые путем стандартных методов обработки, не всегда надежны, поскольку качество и объем наблюдений за характеристиками дождевых осадков не всегда удовлетворительны. Для вычисления осадков редкой повторяемости при отсутствии данных наблюдений предложена методика, опирающаяся на гипотезу обобщения данных по группе станций. Реализация методов предполагает:

1. Выделение районов, статистически однородных, с точки зрения условий формирования дождевых осадков [4].

2. Агрегирование данных об осадках в пределах однородных районов на основе РОТ-метода (Peaks Over Thresholds), предназначенного для явлений, повторяющихся несколько раз в году. Объединение данных осуществляется путем включения в одну выборку двух-трех наибольших в году значений осадков из всей совокупности наблюдаемых значений (по всем метеостанциям однородного района).

3. Назначение пороговых значений максимальных осадков и формирование выборок из величин, лежащих выше пороговых значений. Расчет статистических параметров (C_v, C_s) методом L-моментов, а также параметров обобщенного распределения экстремумов (GEV-распределения) для полученных совокупностей.

4. Выбор порогового значения, для которого наблюдается наилучшее согласие эмпирических и теоретических распределений, и получение квантилей заданной вероятности превышения, которые используются в качестве входных данных при расчетах максимальных расходов воды (например, в программе НЕС-HMS).

Исследование и расчет статистических характеристик осадков обобщенным методом, а также сравнение результатов с существующими оценками СНиП 2.01.14-83, выполнено на примере бассейна р. Амур. Рассчитанные

предложенным методом суточные максимумы осадков $P=1\%$ изменяются по статистически однородным районам от 100 до 170 мм.

Методика учета смены гидрологического режима на основе байесовского подхода активно разрабатывается и используется коллективом лаборатории поверхностных вод ИВП РАН в течение последнего десятилетия и достаточно подробно изложена в ряде публикаций [5-8]. В основу подхода к описанию динамики многолетних колебаний стока положена гипотеза смены условно стационарных периодов, характеризующихся относительно стационарными условиями формирования речного стока в ряде регионов РФ. Не является исключением и р. Амур. Очевидная нестационарность ряда максимальных уровней воды (с учетом значения 2013 г.) вынуждает для определения расчетных уровней воды р. Амур у г. Хабаровск использовать процедуру деления ряда на две части – до 1980 г. и после - и последующее определение расчетных уровней с учетом кривых распределения уровней для каждого периода. Нарушение стационарности ряда уровней в данном случае является следствием антропогенного влияния – дата нарушения соответствует началу активных мероприятий по изменению пропускной способности русла Амура путем строительства защитных сооружений на китайской территории. Получение расчетных характеристик по второй части ряда позволяет избежать ошибок, возникающих в результате антропогенно обусловленной смены гидрологического режима. Задача учета возможных климатических изменений стоковых характеристик в гидрологических расчетах существенно сложнее. Возможность метода байесовского прогнозирования максимальных расходов р. Амур, с учетом предполагаемых климатических изменений, показана на гипотетическом примере [9]. Предполагается, что в результате моделируемых на ближайшие 30 лет климатических изменений, произойдет увеличение нормы (среднего значения) максимального стока реки на некоторую условную величину 10 %. Формула байесовского прогнозирования дает возможность получить в этом случае расчетную кривую обеспеченности максимальных расходов воды с учетом прогнозируемых климатических изменений. Максимальный расход с обеспеченностью $P=1\%$ может в этом случае достигать $47000 \text{ м}^3/\text{с}$.

Метод композиции распределений для оценки максимальных расходов воды р. Амур с учетом эффекта регулирования стока

На примере узла слияния р. Зея и Амур решена неординарная задача определения расчетных характеристик максимального стока. Методом композиции распределений, основанным на имитационном моделировании притоков с незарегулированных участков рек и учете регулирующего воздействия водохранилища на основе диспетчерских правил управления, а также

трансформации притока по русловым системам, получены распределения вероятностей максимальных расходов р. р. Зея и Амур [10].

Основной проблемой в этом случае является моделирование многомерных случайных величин с учетом имеющихся межрядных и внутрирядных связей при суточном интервале дискретности. Моделирование рядов притока осуществляется путем разложения случайного поля по совокупности естественных ортогональных функций (ЕОФ). Исходная последовательность полей стока представляется в виде совокупностей собственных векторов и временных рядов коэффициентов разложения по ним, представляющих собой попарно некоррелированные случайные процессы.

Для учета трансформации паводочных волн бассейн реки разбивается на последовательно расположенные участки, на каждом из которых проводится расчет методом Калинина-Милюкова, причем в качестве входных данных для участка, располагающегося ниже по течению, принимаются рассчитанные значения замыкающего створа вышележащего участка.

С помощью предложенной схемы расчета оценено влияние работы Зейского водохранилища на сток р. Амур во время прохождения паводка 2013 г. Фактический максимальный расход в створе р. Амур – п. Гродеково составил $25200 \text{ м}^3/\text{с}$, тогда как смоделированный расход, который мог бы сформироваться при таких же условиях, но при незарегулированном стоке, оценен в $29600 \text{ м}^3/\text{с}$. Функционирование Зейского водохранилища привело к сокращению максимального расхода на $4000 \text{ м}^3/\text{с}$.

Заключение

Решение практических гидрологических задач в бассейне р. Амур потребовало разработки новых методов решения современных задач инженерной гидрологии, позволяющих получать количественные оценки речного стока в нестационарных условиях, возникающих в связи с происходящими изменениями климата и вызываемых причинами антропогенного характера. В основе методов лежат новые вероятностные модели и способы оценивания, основанные на байесовской идеологии, групповом анализе данных, композиции разнородных распределений.

Работа выполнена в рамках темы № 0147-2019-0003 государственного задания ИВП РАН (№ государственной регистрации АААА-А18-118022090105-5).

Список литературы

1. Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation (PMP). World Meteorological Organization, 2009. WMO. No. 1045. 257 p.
2. Hershfield, D.M. Estimating the Probable Maximum Precipitation // Journal of Hydraulics Division. 1961. 87(HY5). Pp. 99-106.

3. Болгов М.В., Бояринцев Е.Л., Филимонова М.К. Моделирование паводочного стока при выпадении сильных дождей в зоне распространения многолетнемерзлых пород // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление, 2018. № 1. С. 6-17.
4. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления речным стоком. М., Наука, 1981. 270с.
5. Bolgov M. V., Filippova I. A., Korobkina E. A., Trubetszkova M. D. On the Forecast of Long-Term Changes in the Hydrological Regime of Rivers Using the Results of Climate Modeling //Water Resources, 2018. Vol. 45, Suppl. 2. Pp. S17–S21.
6. Болгов М.В., Филиппова И.А., Коробкина Е.А., Осипова Н.В. О методе вероятностного прогнозирования экстремальных гидрологических событий в условиях изменений климата // Проблемы мониторинга и моделирования экосистем, 2018. Т. XXIX. № 2. С. 19-31.
7. Болгов М.В., Коробкина Е.А., Филиппова И.А. Байесовский прогноз минимального стока в нестационарных условиях с учетом возможных изменений климата //Метеорология и гидрология, 2016. № 7. С. 72 -81.
8. Болгов М.В., Сенцова Н.И. Байесовские оценки расчетных характеристик минимального стока рек в нестационарных условиях // Метеорология и гидрология, 2010. № 11. С.70-80.
9. Болгов М.В. Задача оценки вероятности редких гидрологических событий в условиях неопределенности прогнозов климатических изменений. В кн.: Экстремальные паводки в бассейне р. Амур: причины, прогнозы, рекомендации (сб. докл.). М: Росгидромет, 2014. С.148-172.
10. Болгов М.В., Попова Н.О., Филимонова М.К. Метод композиции распределений для оценки максимальных расходов воды р. Амур с учетом эффекта регулирования стока // Водные ресурсы, 2016. Т. 43. № 3. С. 265-276.

© Болгов М.В., Филиппова И.А., Осипова Н.В.,
Трубецкова М.Д., Коробкина Е.А., 2019

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ КОМПЛЕКСА «ОЗ. БАЙКАЛ – ИРКУТСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ» НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Бубер А.Л., Бубер В.Б.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники
и мелиорации имени А.Н. Костякова», г. Москва,
E-mail: buber49@yandex.ru

Аннотация. Рассматривается метод, алгоритм решения задачи определения режимов работы водохранилищ и реализация соответствующих расчетов на примере водохозяйственного комплекса «озеро Байкал – Иркутское водохранилище». Алгоритм построен на поэтапной оптимизации серии подзадач основной оптимизационной задачи для многолетнего гидрологического ряда. Вычислительная технология поэтапной оптимизации реализована в среде VBA на базе таблицы водохозяйственных расчетов (ВХР) для комплекса «озеро Байкал – Иркутское водохранилище», содержащей систему из 2736 уравнений для 114-летнего гидрологического ряда. Показано, что предложенный метод позволяет осуществлять поиск оптимального решения для многолетнего гидрологического ряда без использования диспетчерского графика с целевой функцией, заданной иерархией приоритетов требований водопользователей.

Ключевые слова: водохозяйственный расчет, правила управления, диспетчерский график, режим работы водохранилища, методы оптимизации.

OPTIMAL CONTROL OF THE COMPLEX "BAIKAL LAKE – THE IRKUTSK RESERVOIR" OPERATION MODES BASED ON MULTICRITERIA ANALYSIS METHODS

Buber A.L., Buber V.B.

Federal State Budgetary Scientific Institution "Russian research Institute of hydraulic engineering and land reclamation named after A.N. Kostyakov", Moscow

E-mail: buber.vniigim@yandex.ru

Abstract. The method, solving algorithm of the problem of determining the reservoirs operation modes and the implementation of the relevant calculations on the example of the water complex "Baikal Lake – Irkutsk reservoir" are considered. The algorithm is based on step-by-step optimization of a series of subtasks of the main optimization problem for a long-term hydrological series. The computational technology of step-by-step optimization is implemented in the VBA environment on the basis of the water management calculations table (WMCT) for the complex "Baikal Lake – Irkutsk reservoir" containing a system of 2736 equations for 114-year hydrological series. It is shown that the proposed method makes it possible to search for the optimal solution for a long-term hydrological series without using the dispatching schedule with the target function specified by the hierarchy of priorities of water users' requirements.

Keywords: water management calculation, rules for the control, operations schedule, mode of reservoir operation, optimization techniques.

Описание проблемы, цели и задачи. В бассейнах крупных рек с большим количеством русловых гидроэнергетических водохранилищ необходимо, с одной стороны, принимать оперативные решения по взаимоувязанному пропуску через гидроузлы паводковой и паводковых вод, с другой стороны, обеспечивать гарантированную водоподачу всем потребителям и пользователям в период межени. Характерным примером объекта, требующего решения подобной задачи является Ангарский каскад водохранилищ. При этом с учетом прогнозируемой и реальной приточности к водохранилищам каскада, необходимо выдержать следующие требования участников водохозяйственной системы (ВХС) к расходам и уровням воды в бьефах гидроузлов:

- не допускать форсированные уровни в водохранилищах;
- выдерживать предельные уровни наполнения воды в водохранилищах;
- не допускать сброса в нижние бьефы гидроузлов расходов воды, приводящих к ущербу от затопления освоенных пойменных земель;
- обеспечивать энергетический попуск;
- обеспечивать требования водопользователей с заданной надежностью;
- выдерживать рыбохозяйственные попуски в период нереста;
- обеспечивать наполнение всех русловых водохранилищ до НПУ.

Во многих случаях как в маловодные, так и в высокие половодья однозначного плана регулирования нет и необходимо принимать решение из нескольких компромиссных вариантов, в каждом из которых нарушаются требования тех или иных участников ВХС.

В современной эксплуатационной практике такие решения, как правило, принимаются на основе компромиссных диспетчерских графиков (ДГ) управления, разработанных на основе многолетних гидрологических рядов и опыта управления водными ресурсами бассейна в прошлые годы [1, 2]. Однако, как показывает практика, в период высоких половодий решение, принимаемое на основе ДГ, не всегда эффективно. Как правило, в таких ситуациях управление выполняется на основе опыта эксплуатирующей организации и группы экспертов Межведомственной рабочей группы (МРГ).

Целью данного исследования являлась разработка математического и программного обеспечения, позволяющего выполнять управление режимами работы водохранилищ без использования ДГ, опираясь только на исходный многолетний гидрологический ряд и иерархию приоритетов требований водопользователей. В основе такого управления лежат оптимизационные методы и алгоритмы поиска наилучшего решения при заданных приоритетах с использованием модифицированного многолетнего гидрологического ряда.

В данной статье рассматривается программная реализация математической модели и алгоритма, изложенного в статье [3]. Аналогичные подходы изложены в [4-6]. Разработанная компьютерная программа позволила выполнить обосновывающие расчеты для оптимального управления режимами работы водохозяйственного комплекса «оз. Байкал – Иркутское водохранилище». В качестве исходных данных при оптимизации были использованы режимы работы комплекса, полученные на основе ДГ различной конфигурации (в том числе, оптимальной относительно заданных приоритетов).

Выполненные расчеты показали, что вычисления, использующие разработанный оптимизационный алгоритм, позволяют получить параметры управления, значительно улучшающие функционал, оценивающий качество управления, по сравнению с полученным по ДГ (по количеству и глубине перебоев). Данный подход применим практически для любого водохранилища или каскада водохранилищ.

Рассмотрим систему уравнений водного баланса для комплекса «озеро Байкал – Иркутское водохранилище» на многолетнем гидрологическом ряде, содержащем $2 \cdot N = 2 \cdot L \cdot T$ интервалов (где T – длительность гидрологического ряда в годах, $2 \cdot L$ – количество интервалов в году) [3].

$$W_1 + P_1 - R_1 = W_2$$

$$\begin{aligned}
 W_2 + P_2 - R_2 &= W_3 \\
 \dots\dots\dots \\
 W_i + P_i - R_i &= W_{i+1} \\
 \dots\dots\dots \\
 W_{2N-1} + P_{2N-1} - R_{2N-1} &= W_{2N} \\
 W_{2N} + P_{2N} - R_{2N} &= W_{2N+1} \\
 W_1 &= W_{2N+1},
 \end{aligned} \tag{1}$$

где i – номер интервала многолетнего гидрологического ряда;

W_i и W_{i+1} – начальный и конечный объемы воды в водохранилище для i -го интервала;

P_i – приток к водохранилищу в i -м интервале (задан для всех интервалов i);

R_i – сбросной расход в i -м интервале многолетнего гидрологического ряда.

Последнее уравнение системы (1) означает, что конечный объем последнего интервала W_{2N+1} должен совпадать с начальным объемом первого интервала W_1 .

Требуется найти оптимальные значения сбросных расходов R_i при заданных величинах приточностей P_i , при которых будут максимально возможно удовлетворены требования всех водопользователей.

Для учета в процессе регулирования требований водопользователей на каждом интервале гидрологического ряда определяется величина $\Delta^2_{ik}(W_i, R_i, W_{i+1})$ – квадрат отклонения реального значения k -го параметра на i -м интервале, полученного в результате регулирования, от требуемой величины. В соответствии со значимостью каждого требования, вводится штрафной множитель C_k – весовой коэффициент, определяющий место данного требования в иерархии приоритетов, назначаемых одним требованиям по отношению к другим.

Качество регулирования оценивается с помощью целевой функции $F(\mathbf{W}, \mathbf{R})$ – величины, определяемой суммой квадратов отклонений $\Delta^2_{ik}(W_i, R_i, W_{i+1})$ всех интервалов и требований водопользователей с учетом штрафных коэффициентов

$$F(\mathbf{W}, \mathbf{R}) = \sum_{k=1}^K C_k \times \sum_{i=1}^{2N} \Delta^2_{ik}(W_i, R_i, W_{i+1}). \tag{2}$$

Оптимизационную задачу можно сформулировать следующим образом – минимизировать функционал (2) при ограничениях (1) и условиях неотрицательности всех переменных W_i и R_i .

$$\mathbf{W} \geq 0, \mathbf{R} \geq 0. \tag{3}$$

Решение оптимизационной задачи (1)-(3) может быть построено следующим образом. На первом этапе для комплекса «озеро Байкал – Иркутское

водохранилище» выполняются водохозяйственные расчеты (ВХР) для много-летнего ряда с использованием принципа диспетчеризации, основанного на диспетчерских графиках (ДГ), определяющих величину попуска, в зависимости от уровней верхнего бьефа и времени года. Полученные в результате этих расчетов значения сбросных расходов используются в нулевом приближении

$$\mathbf{R}^{(0)} = \{R^{(0)}_1 \dots R^{(0)}_{2N}\}, \mathbf{W}^{(0)} = \{W^{(0)}_1 \dots W^{(0)}_{2N+1}\}$$

решения задачи регулирования для последующей его оптимизации. Целевая функция (ЦФ) при этом имеет некоторое значение $F^{(0)}(\mathbf{W}^{(0)}, \mathbf{R}^{(0)})$.

На следующем этапе в начальном решении фиксируются, например, величины $W^{(0)}_2 \dots W^{(0)}_{2i} \dots W^{(0)}_{2N}$ (все четные – четный проход). Тогда оптимизационная задача (1)-(3) может быть разбита на N независимых локальных подзадач вида

$$\begin{aligned} W^{(0)}_{2j} + P_{2j} - R_{2j} &= W_{2j+1} \\ W_{2j+1} + P_{2j+1} - R_{2j+1} &= W^{(0)}_{2j+2}, \end{aligned} \quad (4)$$

каждая из которых содержит пару уравнений для двух последовательных периодов $2j$ и $2j+1$, содержащих три переменных R_{2j} , W_{2j+1} и R_{2j+1} . Из (4) легко получить

$$R_{2j+1} = W^{(0)}_{2j} + P_{2j} - R_{2j} + P_{2j+1} - W^{(0)}_{2j+2}. \quad (5)$$

Целевая функция (2) для локальной подзадачи (4) принимает вид

$$F_{2j,2j+1}(\mathbf{W}, \mathbf{R}) = \sum_k C_k \times [\Delta_{2j,k}^2(W^{(0)}_{2j}, R_{2j}, W_{2j+1}) + \Delta_{2j+1,k}^2(W_{2j+1}, R_{2j+1}, W^{(0)}_{2j+2})]. \quad (6)$$

При этом также должно выполняться

$$R_{2j} \geq 0, W_{2j+1} \geq 0, R_{2j+1} \geq 0. \quad (7)$$

Таким образом, исходная $2N$ -мерная оптимизационная задача (1)-(3) распадается на N решаемых последовательно и независимо одномерных задач вида (5)–(7) по минимизации целевой функции (6) при ограничениях (5) и (7). Пусть $R^{(1)}_{2j}$, $W^{(1)}_{2j+1}$ и $R^{(1)}_{2j+1}$ – значения переменных, доставляющих минимум целевой функции (6), при этом ее значение в точке минимума не ухудшится, по сравнению со значением для переменных нулевого приближения $R^{(0)}_{2j}$, $W^{(0)}_{2j+1}$, $R^{(0)}_{2j+1}$. Отсюда следует, что после последовательного решения всех N локальных подзадач вида (5)-(7), значение $F^{(1)}(\mathbf{W}, \mathbf{R})$ целевой функции (2) для найденных векторов

$$\mathbf{W}^{(1)} = \{W^{(1)}_1 \dots W^{(1)}_{2N+1}\} \text{ и } \mathbf{R}^{(1)} = \{R^{(1)}_1 \dots R^{(1)}_{2N}\},$$

по крайней мере, не ухудшится, по сравнению с ее значением $F^{(0)}(\mathbf{W}^{(0)}, \mathbf{R}^{(0)})$ для исходного нулевого приближения.

На следующем шаге решения описанные процедуры повторяются, но с фиксацией величин $W^{(1)}_1, W^{(1)}_3, \dots, W^{(1)}_{2j-1}, W^{(1)}_{2j+1} \dots W^{(1)}_{2N+1}$ (нечетных) в полученном на предыдущем шаге векторе первого приближения $\mathbf{W}^{(1)} = \{W^{(1)}_1 \dots W^{(1)}_{2N+1}\}$. Вновь производится декомпозиция исходной много-

мерной задачи на N одномерных локальных подзадач. При этом все пары локальных уравнений начинаются с нечетного уравнения исходной системы (1). Соответственно, формулируются и решаются локальные оптимизационные задачи, аналогичные (5)-(7), формирующие нечетный проход. Результатом их последовательного решения является второе приближение векторов-решений: $\mathbf{W}^{(2)} = \{W^{(2)}_1 \dots W^{(2)}_{2N+1}\}$, $\mathbf{R}^{(2)} = \{R^{(2)}_1 \dots R^{(2)}_{2N}\}$, доставляющих минимум функционалу (2), причем

$$F^{(2)}(\mathbf{W}, \mathbf{R}) \leq F^{(1)}(\mathbf{W}, \mathbf{R}).$$

Чередуясь, четный и нечетный проходы циклически повторяются до тех пор, пока после очередного прохода уменьшение целевой функции (2) не станет меньше заданного числа $\varepsilon > 0$.

Процедура, осуществляющая описанный выше алгоритм декомпозиции многомерной задачи в набор одномерных и последующего решения соответствующего ряда локальных задач, реализована в среде VBA. Процедура использует таблицу Excel, с системой (1) уравнений водного баланса.

Ниже приведены результаты многопроходных расчетов для комплекса «оз. Байкал – Иркутское водохранилище» с помощью описанной вычислительной технологии для трех вариантов исходных данных:

- режимы работы комплекса, полученные на основе ДГ 1988 г. для комплекса «оз. Байкал – Иркутское водохранилище»;
- режимы работы комплекса, полученные на основе оптимизированного ДГ 1988 г.;
- режимы работы комплекса, полученные на основе оптимизированного ДГ 1988 г. без фиксации перебойной линии на отметке НПУ.

На рис. 1 приведены графики изменения ЦФ по интервалам 114-летнего гидрологического ряда в процессе двух проходов одного (первого) цикла для исходных режимов работы, полученных на основе ДГ 1988 г.

Графики демонстрируют, что оптимизация (в смысле уменьшения значений ЦФ) происходит неравномерно по номеру интервала гидрологического ряда (времени года). Участки плавного снижения значения ЦФ чередуются с их скачкообразным изменением. По существу, это является отражением того факта, что на общую эффективность регулирования более сильное влияние оказывают периоды половодий, нежели меженные периоды.

На рис. 2 приведены данные по изменению целевой функции в процессе парных проходов (чет-нечет) в пятидесяти циклах для всех трех упомянутых выше вариантов исходных данных. В каждом из перечисленных вариантов вычисления с использованием описанного алгоритма приводят в процессе оп-

тимизации к существенному уменьшению значений ЦФ – на 69 %, 65 % и 57 %, соответственно.

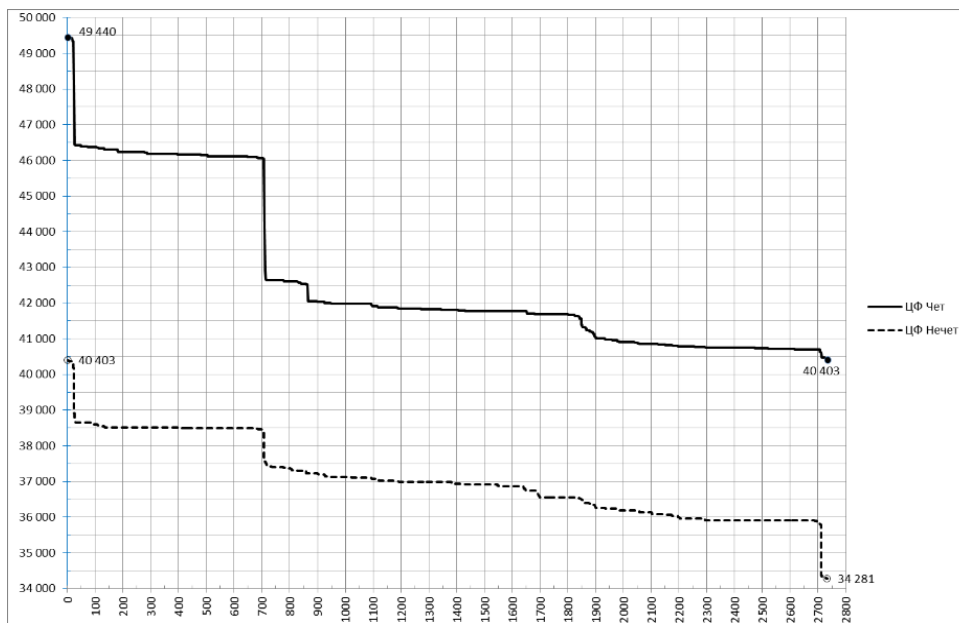


Рис. 1. Динамика изменения ЦФ в процессе первых двух (четный-нечетный) проходов

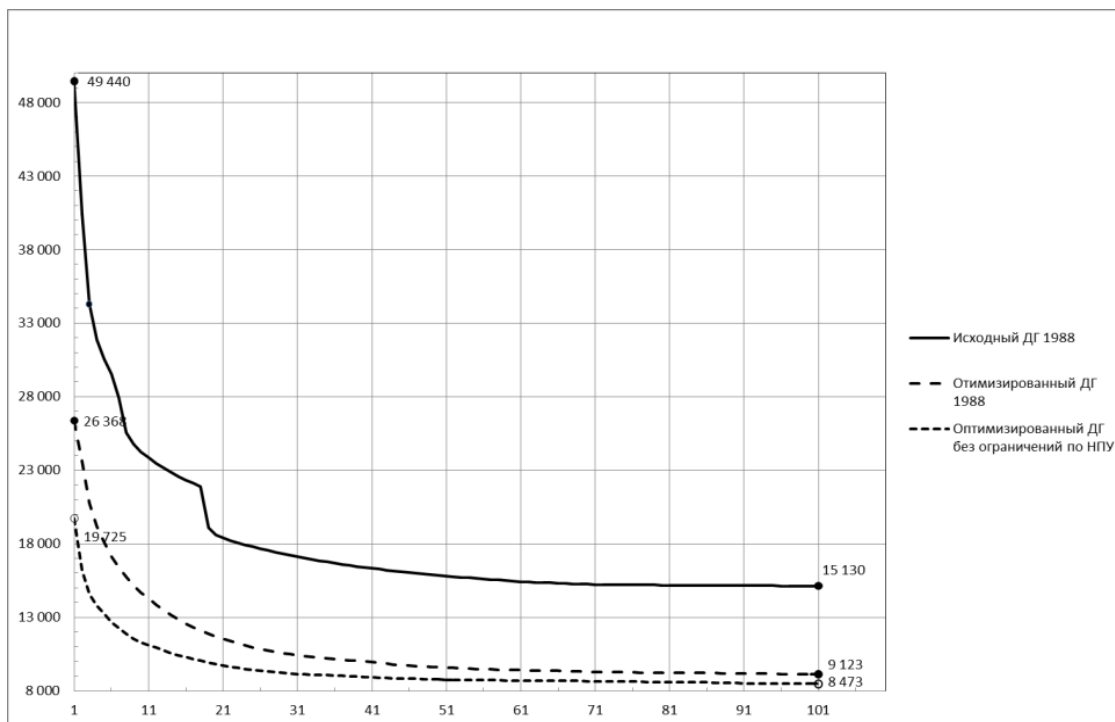


Рис. 2. Динамика изменения ЦФ в 50 циклах парных проходов

Полученные результаты показывают, что предложенный алгоритм оптимизации можно рассматривать как приемлемый для управления режимами работы водохранилищ без использования ДГ, опираясь только на исходный многолетний гидрологический ряд и иерархию приоритетов требований водопользователей.

Список литературы

1. Методические указания по разработке правил использования водохранилищ (приказ МПР РФ от 26 января 2011 г. N 17).
2. Основные правила использования водных ресурсов водохранилищ Ангарского каскада ГЭС (Иркутского, Братского и Усть-Илимского), 1988.
3. Бубер А.Л., Бубер В.Б. Регулирование режимов работы водохранилищ при водохозяйственных расчетах на основе методов многокритериального анализа и теории компромиссов (на примере водохозяйственного комплекса «оз. Байкал – Иркутское водохранилище»)//Водные ресурсы России: современное состояние и управление: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф., г. Сочи, 08-14 октября 2018 г.: в 2-х т. Т. I, с. 120-127. Новочеркасск: Лик, 2018.
4. Бубер А.Л., Раткович Л.Д., Рябиков А.И. Имитационное моделирование водохозяйственных систем в режиме оптимизации диспетчерских правил управления на примере уникального природно-технического комплекса «оз. Байкал – Иркутское водохранилище». Природообустройство, 2018. № 3. С. 31-39.
5. Loucks D.P, van Beek E. Water resources systems planning and management. An introduction to methods, models and applications. Paris: UNESCO, 2005. 680 pp.
6. Лотов А.В., Рябиков А.И., Бубер А.Л. Многокритериальная процедура выбора решения с наследуемым множеством точек старта локальной оптимизации свертки критериев. Искусственный интеллект и принятие решений. 2018. № 3. С. 58–69.

© Бубер А.Л., Бубер В.Б., 2019

РЕЖИМ РАБОТЫ ВОДОХРАНИЛИЩ АНГАРО-ЕНИСЕЙСКОГО КАСКАДА ГЭС В 2018 ГОДУ

Капустин С.В., Короткова Л.А., Озерова Г.С.

Енисейское бассейновое водное управление, г. Красноярск

E-mail: enbvuv-ovh@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены проблемы регулирования режимов работы Ангаро-Енисейского каскада ГЭС в условиях асинхронного притока в бассейне озера Байкал и рек Ангара и Енисей в 2018 году.

Ключевые слова: Ангаро-Енисейский каскад, режим работы, ГЭС.

THE OPERATION MODE OF WATER RESERVOIRS OF THE ANGARA-YENISEI CASCADE OF HYDROPOWER STATIONS IN 2018

Kapustin S.V., Korotkova L.A., Ozerova G.S.

Yenisei basin water management, Krasnoyarsk

Angara-Yenisei cascade of hydroelectric power stations, water reservoir regulation

Abstract. Problems of regulation of operation modes of the Angara-Yenisei cascade of hydropower stations under conditions of asynchronous inflow in the basin of lake Baikal and the Angara and Yenisei rivers in 2018.

Keywords: Angara-Yenisei cascade of hydroelectric power stations, water reservoir regulation.

Сибирь характеризуется высокой долей гидрогенерации перед тепловой. Здесь находятся крупнейшие ГЭС Ангаро-Енисейского каскада, работающие в составе объединенной энергосистемы Сибири, а также Хантайская и Курейская ГЭС – в изолированной Норильской энергосистеме.

Ангаро-Енисейский каскад ГЭС включает: Иркутскую, Братскую, Усть-Илимскую и Богучанскую (наполнение водохранилища до НПУ в 2015 году) на Ангаре; Красноярскую (Дивногорск), Майнскую (пос. Майна) и Саяно-Шушенскую (Саяногорск) на Енисее.

Водохранилища расположены в разных климатических зонах: для Енисейской части каскада и Богучанского, и Усть-Илимского водохранилищ характерен Сибирский гидрограф реки (высокое половодье и невысокие дождевые паводки); для оз. Байкал и Братского водохранилища – дальневосточный гидрограф, с невысоким половодьем и многими дождевыми пиками. Соответственно климатическим зонам, наблюдается высокая асинхронность притока – не только между ветвями каскада, но зачастую и между бассейном оз. Байкал и бассейном Ангары.

В условиях асинхронного притока большое значение приобретает комплексный подход при установлении режимов работы, максимально возможная компенсация нагрузки на гидроузлы.

Погодные условия в 2018 г. сложились следующие:

Енисейский бассейн – год характеризуется рядом температурных аномалий и большими колебаниями осадков. Особенное влияние имел теплый сухой апрель, что привело к потере воды при таянии снега. В основной стокообразующий период – июнь-август – наблюдался дефицит осадков при повышенных температурах воздуха. Приток к водохранилищам был ниже или около нормы.

Интенсивные осадки в июле прошли в Тыве, в сентябре-октябре осадки распространились на всю южную часть региона – Хакасию, Тыву, южные районы Красноярского края, благодаря чему приток к водохранилищам превысил норму.

Всего за год приток к водохранилищам превысил среднемноголетнюю норму на 7,5 км³ (обеспеченность около 40 %).

Таким образом, по Енисейской ветви каскада решались задачи:

– энергообеспечение региона и создание стратегического запаса водных ресурсов для прохождения осенне-зимнего периода;

– обеспечение водоснабжения (гг. Саяногорск и Красноярск);

– обеспечение судоходства на участке от Дивногорска до устья р. Ангара, компенсация сниженных сбросов Богучанской ГЭС сентябрь-октябре для обеспечения судоходных уровней на Средней Ангаре;

– обеспечение безопасности населения в нижнем бьефе в период ледостава – ограничение попусков Красноярской ГЭС в январе-феврале и конце декабря; снижение попусков СШ ГЭС в январе и 1 декаде февраля;

– обеспечение безопасности гидротехнических сооружений гидроузлов – постоянно.

В Ангарском бассейне погода была аналогичной – теплый и сухой апрель, раннее таяние снега, большие потери воды. Дефицит осадков в летний период, ливневые дожди в южной части бассейна – Республике Бурятия, Монголии и отдельных районах Иркутской области в сентябре и октябре. Теплый ноябрь с повышенным стоком.

Приток к оз. Байкал в течение 2018 г. стабильно повышался, в основной стокообразующий период, составляя около нормы – 91-96 %, в осенний дождевой паводок он вырос до 167 % от нормы.

Нижележащие водохранилища остались в зоне маловодья: на Братском приток в июле падал до 76 %, с несущественным повышением в августе до нормы; на Усть-Илимском – до 22 %, Богучанском – до 0 (сентябрь).

В целом по каскаду, дефицит притока составил 5,79 км³.

Учитывая положительный запас на Енисейской ветви, в системе энергоснабжения возможно перераспределение нагрузки; судоходство на Енисее ниже впадения Ангары возможно за счет водохранилища Красноярской ГЭС.

Однако в условиях ограниченного запаса водных ресурсов в Братском водохранилище (а это основной регулятор Ангарской ветви), в осенний период остро встал вопрос с обеспечением судоходства на Нижней Ангаре: Байкальский приток ушел на восстановление использованного в осенне-зимний период дополнительного объема ниже 456 отметки, а на Братском водохранилище ограничителем сработки является крупный водозабор в г. Черемхово (крит.393,5 м БС), посаженный выше УМО (392 м БС). Следует отметить, что Братское водохранилище с 2015 г. работает в режиме экономии.

В маловодье потребители ранжируются: 1 очередь – водоснабжение; 2 – судоходство на водохранилищах и в нижних бьефах; 3 – экологические требования и сохранение рыбных запасов; 4 – безопасность населения; 5 – энергообеспечение.

На основе расчетов была определена минимальная зимняя загрузка каскада из расчета сохранения в Братском водохранилище уровня не ниже 394 отметки (50 см – запас на ледостав).

С 15 сентября, согласно ПИВР, расходы Братской ГЭС снижены до 2000-2300 м³/сек. Уменьшение расходов привело к ограничению навигации по Нижней Ангаре.

Одним из проблемных вопросов регулирования режима каскада стал переход водности оз. Байкал от низкой к норме: поскольку действующие правила не соответствуют постановлению Правительства РФ № 234, а постановление Правительства РФ № 1667 действует временно, остро встал вопрос о критериях перехода Иркутской ГЭС с минимальных расходов на работу по Диспетчерскому графику.

Многовариантные расчеты по аналогам лет высокой и низкой водности, позволили поэтапно перейти на повышенные расходы.

Данная ситуация подтверждает, что озеро Байкал невозможно уложить в рамки ни одного Постановления, сейчас мы имеем «мину замедленного действия», потому что регулирующий объем 31,5 км³ при максимуме стока 102 км³ катастрофически недостаточен.

© Капустин С.В., Короткова Л.А., Озерова Г.С., 2019

УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ ВОДОХРАНИЛИЩ АНГАРСКОГО КАСКАДА НА ОСНОВЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Бубер А.А., Головинов Е.Э., Талызов А.А.
ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва
E-mail: buberalina@gmail.com

Аннотация. В статье сформулированы основные цели и задачи исследований на основании действующих Правил использования водных ресурсов водохранилищ (ПИВР) и проектов Правил 2013 г., сформированы гидравлические требования водопользователей Ангарского каскада с учетом иерархии приоритетов. Собрана, обработана и оценена исходная информация, необходимая для разработки компьютерной гидродинамической модели (ГДМ) с использованием модуля «Управляемые сооружения», выполнения калибровки и тестирования модели. На основе картографических материалов, средств космического зондирования и лоцманских карт разработана Цифровая модель рельефа бассейна р. Ангара. Разработаны сценарные исследования по моделированию и методам оптимизации водообеспечения водопользователей. В качестве критериев, характеризующих качество принимаемых решений, приняты показатели надежности в виде обеспеченностей по числу перебойных лет или расчетных интервалов, являющиеся действующими требованиями водопользователей Ангарского каскада водохранилищ.

Разработана ГДМ функционирования водохозяйственной системы Ангарского каскада водохранилищ, реализующая принципы управления гидроузлами по

требованиям водопользователей. Приведена вычислительная технология оптимального управления водными ресурсами бассейна р. Ангара, использующая метод поиска компромиссных решений, оптимальных в многокритериальном смысле (по Парето) на множестве недоминируемых гидродинамических решений.

Ключевые слова: гидравлика, гидроузел, речной сток, моделирование, управление, оптимизация.

WATER RESOURCES MANAGEMENT OF ANGARA CASCADE WATER RESERVOIRS BASED ON HYDRODYNAMIC MODELING

Buber A.A., Golovinov E.E., Talizov A.A.

VNIIGiM named after A.N. Kostyakova, Moscow

E-mail: buberalina@gmail.com

Abstract. The article formulates the main goals and objectives of the research, based on the existing Rules for the use of reservoirs water resources and draft Rules for 2013, the hydraulic requirements of water users of the Angarsk cascade, taking into account the priority hierarchy are formed. The initial information necessary for development of a computer-based hydrodynamic model using the “Controlled Structures” module, calibration and model testing is collected, processed and evaluated. On the of cartographic materials, means of space sensing and pilotage maps, a digital model of the Angara river basin is developed. Scenario studies on modeling and optimization methods of water supply to water users have been developed. As criteria that characterize the quality of the decisions made, reliability indicators in the form of provisions by a number of intermittent years or calculated intervals are taken, which are the current requirements of water users of the Angarsk reservoir cascade.

A hydrodynamic model of functioning the water management system of the Angarsk reservoir cascade has been developed, which implements the principles of the headworks management according to the water users requirements. The computational technology of water resources optimal management in the river basin which uses the method of finding compromise solutions that are optimal in a multicriteria sense (Pareto) on a set of non-dominated hydrodynamic solutions is given.

Keywords: hydraulics, headworks, river flow, modeling, control, optimization.

Введение. В рамках Проекта РФФИ (Грант № 17-29-05108) на тему: «Развитие оптимизационных подходов к управлению водными ресурсами водохранилищ Ангарского каскада гидроузлов и обоснование диапазона колебаний уровня» была сформирована научная основа технологий и компьютерного инструментария по реализации методов оптимального управления водными ресурсами Ангарского каскада водохранилищ для обеспечения водопользователей.

Водные ресурсы оз. Байкал составляют 20 % доступной питьевой воды в мире. Речная сеть Иркутской области представлена бассейнами крупных рек, таких как Ангара и Лена, водный режим которых определяет оз. Байкал. Прослеживаемая в последние десятилетия тенденция катастрофических маловодий существенно усложняет гидрологическую обстановку в регионе. Уменьшение объемов приточности к водохранилищам может привести к сбо-

ям в работе гидроэнергетики, прохождении транспорта, а также представляет угрозу животному и растительному миру: из-за низкого уровня весеннего половодья и отсутствия разливов оказываются сухими привычные места нереста рыб, расположенные в поймах рек.

Устойчивое функционирование и сохранение уникальной экосистемы оз. Байкал, являющегося самым крупным пресным водоемом в мире, находится под угрозой в связи с катастрофическим маловодьем водосборной территории. Эта ситуация существенным образом обостряет социально-экономические негативные последствия в регионе, при существующей необходимости обеспечения эффективного управления водными ресурсами.

Регулирование Ангарского каскада водохранилищ происходит для нужд энергетики, водного транспорта, рыбного хозяйства, коммунально-бытового обеспечения населения и производства. Угрозу представляет затопление и подтопление территории нижнего бьефа Иркутского водохранилища при прохождении половодий редкой повторяемости. В условиях изменяющегося климата и увеличения потребностей населения в водных ресурсах, необходимо быстро и точно принимать компромиссные решения по назначению режимов работы водохранилищ Ангарского каскада [3-5]. В статье обсуждается подход к решению проблемы на основе применения гидродинамического моделирования и многокритериального анализа.

Программа исследований. В регионах, испытывающих дефицит водных ресурсов, необходимо формировать режимы работы водохранилищ и гидротехнических сооружений, в зависимости от гидрологического прогноза, расположения водопользователей в бассейне реки и планируемого водопотребления. Требования задаются временными рядами для верхних и нижних бьефов водохранилищ, мест водозаборов и водосбросов и т.д.

На основе данных Гидрометцентра формируется суточная гидрологическая приточность, для которой и требований водопользователей выполняется гидродинамическое моделирование, определяющее режимы работы всех гидроузлов, водозаборов и водосбросов Ангарского каскада водохранилищ.

Таким образом, формируется гидравлически «оптимальный» режим управления на гидроузлах для выбранной иерархии приоритетов требований водопользователей. Каждый элемент этого набора гидравлических решений оценивается вектором значений функционалов, которые определяют как сработку водохранилищ в пределах НПУ и УМО, так и нарушение требований водопользователей по поддержанию номинальных уровней и расходов воды в контролируемых точках.

Сформированное множество векторов значений оценивается Методом достижимых целей (инструмент многокритериального анализа). Это позволяет Лицу, принимающему решения, в процессе переговоров с экспертами и водопользователями выбирать компромиссный вариант управления, основанный на визуализации границ Парето.

Объект, цели и задачи исследований. Объектом исследования является водохозяйственная система, расположенная на водоемах речного бассейна и предназначенная для обеспечения водопользователей необходимыми для нормальной работы объемами воды. Водохозяйственная система включает речную сеть с каскадом водохранилищ и гидротехнических сооружений, расположенных в бассейне реки Ангара, и водопользователей.

Целью исследования является разработка математических методов и создание вычислительной компьютерной технологии для определения оптимальных режимов гидроузлов в целях обеспечения водопользователей. Для разработки вычислительной технологии были использованы две современные платформы (русская и зарубежная), которые позволяют: выполнять гидродинамическое моделирование речной сети, управлять установленными гидротехническими сооружениями; проводить многокритериальный анализ и вести поиск компромиссных решений.

В качестве вычислительной платформы для гидродинамического моделирования использовался программный комплекс MIKE 11 Датского гидравлического института [6]. Многокритериальный анализ проводился на основе методики и инструментария, разработанных в вычислительном центре им. А.А. Дороницына (автор Лотов А.В). Визуализация границ Эджворта-Парето и поиск компромиссных решений на основе метода достижимых целей, реализованы в среде программного комплекса PFViewer. Ниже приводится алгоритм выполнения предлагаемой вычислительной технологии [7]:

1. Определяем посуточную прогнозную приточность к водохранилищам.
2. Формируем требования водопользователей.
3. Определяем множество всевозможных вариантов приоритетов водопользователей.
4. Для каждого варианта выбранной иерархии приоритетов формируем исходные данные и выполняем гидродинамическое моделирование в среде MIKE 11 с применением модуля «Управляемые сооружения».
5. Для каждого варианта t выбранной иерархии приоритетов на основе моделирования определяем вектор значений дефицита для водопользователей и водохранилищ.

$$\{ D_1^t, D_2^t, \dots, D_k^t, E_1^t, E_2^t, \dots, E_N^t \} \quad (1)$$

6. Из всех полученных векторов строим спектр решений и методом достижимых целей строим набор границ Парето (недоминируемых решений) для построенной матрицы.

7. На основе обсуждения с водопользователями результатов, полученных при построении пространства решений, выбираем «оптимальное» в смысле Парето решение, определяющее режимы работы всех водохранилищ.

Требования водопользователей. Управление водными ресурсами Ангарского каскада ГЭС регламентируют следующие документы: Основные правила использования водных ресурсов водохранилищ Ангарского каскада ГЭС (Иркутского, Братского и Усть-Илимского) от 1988 г.; Правила использования водных ресурсов Богучанского водохранилища от 2015 г.; временное Постановление Правительства № 234 и Проекты Правил использования водных ресурсов Иркутского, Братского и Усть-Илимского водохранилищ от 2013 г. На основе этих нормативных документов разработаны критерии водопользователей для Иркутского, Братского, Усть-Илимского и Богучанского водохранилищ, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Требования водопользователей Ангарского каскада водохранилищ

Иркутское водохранилище	
Временное Постановление № 234, м	457.5 -455.54
Максимальный сброс зимой, м ³ /с	2500
Гарантированный санитарно-транспортный попуск с мая по октябрь, м ³ /с	1500
Водоснабжение, сниженный транспортный попуск с мая по октябрь, санитарный попуск зимой, м ³ /с	1250-1300
Противопаводковый попуск, м ³ /с	3200
Гарантированная мощность ГЭС зимой, МВт	347
Нормальная работа водозаборов ВБ, м	454
Напор на плотине, м	26
Предполоводная сработка к 1 апреля, м	456-456.15
Рыбный попуск [456.9,457.1] в сентябре, м	456.9
Братское водохранилище	
Минимальный для работы водозаборов, м	392
Нормальный для работы водозаборов, м	394
Минимальный навигационный уровень (лесосплав), м	394.73
Нормальный навигационный уровень, м	395.5
Навигационный попуск сокращенный, м ³ /с	1800
Санитарный попуск, м ³ /с	1000
Гарантированная мощность ГЭС, Мвт	2010
НПУ, м	401.73

Продолжение таблицы 1

Братское водохранилище	
Нормальный для работы водозаборов, м	293
Минимальный навигационный уровень (лесосплав), м	294.5
Нормальный навигационный уровень, м	295.5
НПУ, м	296
Санитарный попуск, м ³ /с	1000
Сброс СВ ЛПК, м ³ /с	2000
Минимальный энергетический сброс зимой, м ³ /с	2000
Гарантированная мощность ГЭС зимой, Мвт	1940
Навигационный попуск сокращенный (5-10 месяцы), м ³ /с	2800
Нормальный навигационный попуск (5-10 месяцы), м ³ /с	2900
Богучанское водохранилище	
Гарантированная мощность ГЭС зимой, Мвт	4282
Навигационный попуск сокращенный (5-10 месяцы), м ³ /с	3100
Нормальный навигационный попуск (5-10 месяцы), м ³ /с	3600

Гидродинамическая модель. Разработанная имитационная гидродинамическая модель водохозяйственного комплекса Ангарского каскада водохранилищ в среде программного комплекса MIKE 11 включает в себя участок р. Ангара от оз. Байкал, до нижнего бьефа Богучанского водохранилища, имеет 117 поперечных сечений (трасса речной сети с нанесенными поперечными сечениями показана на рис. 1). В модель входят также Иркутское, Братское, Усть-Илимское и Богучанское водохранилища.

Набор поперечных сечений сформирован по цифровой модели рельефа (ЦМР) русловой и пойменной частей р. Ангара. Для пойменной части использовались отметки высот, полученные по данным дистанционного зондирования земли – NASA SRTM. Для формирования рельефа русловой части были использованы сведения о глубинах с листов атласа р. Ангара.

Коэффициенты шероховатости для уравнений Сен-Венана (Маннинга) назначались на основе калибровки модели по имеющимся значениям Q/h , указанным в проекте ПИВР 2013 г., для нижнего бьефа – «гипотетическими» значениями уровней воды.

Для калибровки модели весь расчетный участок был разбит на подучастки с одинаковой шероховатостью, которые включали «гипотетические» пункты наблюдений. В результате калибровки получены коэффициенты шероховатости n от 0.028 до 0.06. При этом максимальная ошибка по абсолютной величине не превосходит 20 см. На рис. 2 представлен фрагмент калибровки участка р. Ангара от оз. Байкал до нижнего бьефа Иркутской ГЭС в среде MIKE 11.

В начальном поперечном сечении была задана батиграфическая функция зависимости площади зеркала от уровня воды $F(h)$ оз. Байкал, сброс с Иркутской ГЭС был задан с использованием модуля «Управляемые сооружения».

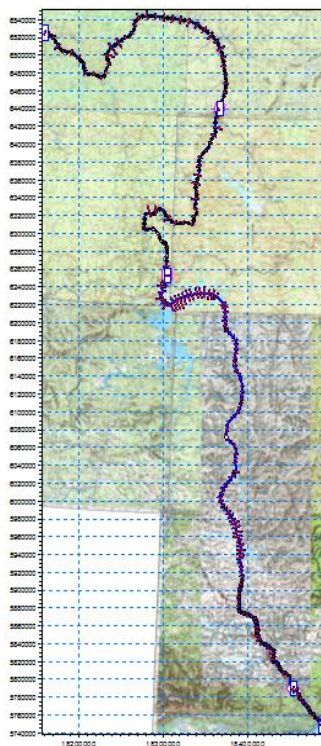


Рис. 1. Гидродинамическая модель Ангарского каскада водохранилищ в среде MIKE 11

Модуль «Управляемые сооружения» позволяет по приоритетам удовлетворять требования водопользователей к расходам и уровням за расчетный временной период в любом месте локализации водозаборов и сбросов на речной сети. Модуль использует PID алгоритм для поиска оптимальных решений и позволяет найти гидродинамическое решение, удовлетворяющее требованиям водопользователей с учетом их приоритетов. Если гидродинамического решения не существует, то возникает конфликт интересов, который разрешается методами многокритериального анализа.

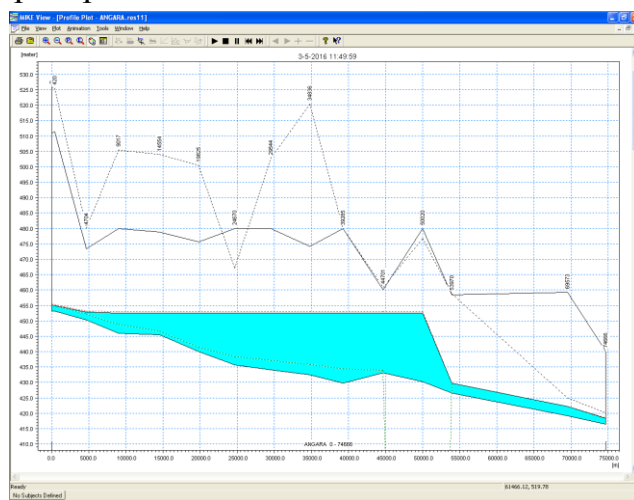


Рис. 2. Фрагмент калибровки участка р. Ангара от оз. Байкал до НБ Иркутской ГЭС в среде программного комплекса MIKE 11

Заключение. В статье сформулированы основные цели и задачи исследований, приведены используемые исходные данные, сформирован набор требований водопользователей к водохозяйственной системе бассейна р. Ангара, описаны параметры разработанной гидродинамической модели Ангарского каскада водохранилищ, приведен алгоритм вычислительной технологии, включающий методы многокритериального анализа для поиска компромиссного решения при поиске оптимальных режимов работы каскада.

Разработанный алгоритм решения оптимизационной задачи и гидродинамическая компьютерная модель водохранилищ Ангарского каскада гидроузлов позволят сформулировать научное обоснование вычислительной технологии и компьютерный инструментарий по реализации методов оптимального управления водными ресурсами бассейна р. Ангара. Данная технология может быть применена на других бассейнах крупных рек, испытывающих как дефицит водных ресурсов в маловодные годы, так и подверженных затоплениям и подтоплениям в половодья и паводки редкой повторяемости.

Список литературы

1. Основные правила использования водных ресурсов водохранилищ Ангарского каскада ГЭС (Иркутского, Братского и Усть-Илимского), 1988.
2. Правила использования водных ресурсов Богучанского водохранилища, 2015.
3. Болгов М.В., Коробкина Е.А., Филиппова И.А. Особенности временной изменчивости притока к озеру Байкал и водохранилищам Ангарского каскада ГЭС/ Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2018. № 4. С. 6-19.
4. Никитин В.М., Савельев В.А., Бережных Т.В., Абасов Н.В. Гидроэнергетические проблемы озера Байкал: прошлое и настоящее/ Регион: Экономика и Социология. 2015. № 3 (87). С. 273-295.
5. Бубер А.А., Головинов Е.Э., Талызов А.А. Разработка гидродинамической модели р. Ангара для оптимального управления водными ресурсами Ангарского каскада ГЭС / Водные ресурсы России: современное состояние и управление, сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. В 2 Т. 2018. С. 128-137.
6. Компьютерное моделирование речных потоков. Теоретические основы. М.: Научная консалтинговая фирма «Волга», 2013. С. 7-79.
7. Бубер А.Л. Оперативное управление водными ресурсами водохранилищ Ангаро-Енисейского каскада ГЭС: безопасность, поддержка принятия решений, оптимальное управление / Роль мелиорации в обеспечении продовольственной и экологической безопасности России : материалы Междунар. науч.-практ. конф. М. 2009. С. 26-32.

АНАЛИЗ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ ВОДОХРАНИЛИЩ ЗОНЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВЕРХНЕ-ВОЛЖСКОГО БВУ

Махова Л.А., Дементьева Е.А.

Верхне-Волжское бассейновое водное управление, г. Нижний Новгород

E-mail: vodhoz@vrbvu.kis.ru

Аннотация. В статье подробно описано использование водохранилищ в зоне деятельности Верхне-Волжского БВУ, которое осуществляется в соответствии с Правилами использования водных ресурсов водохранилищ, перечень которых утверждается Правительством Российской Федерации. Использование водохранилищ, не включенных в перечень, осуществляется в соответствии с типовыми правилами их использования.

Правила эксплуатации гидротехнических сооружений (ГТС) согласовывает Ростехнадзор. Разработаны рекомендации как по содержанию этих правил, так и по порядку составления паспорта ГТС.

Возникающие при эксплуатации водохранилищ вопросы по управлению их режимами, в том числе, по сработке, содержанию и использованию поступают в бассейновые управления, так как, согласно Водному Кодексу, установление режимов пускания паводков, специальных пусков, наполнения и сработки водохранилищ осуществляется с федеральным органом исполнительной власти, уполномоченным Правительством Российской Федерации.

Ключевые слова: водохранилище, гидротехническое сооружение, паспорт ГТС, зона деятельности, бассейновое водное управление (БВУ), Водный Кодекс.

ANALYSIS OF RESERVOIR REGIME MANAGEMENT IN THE ZONE OF THE UPPER VOLGA BASIN WATER ADMINISTRATION ACTIVITY

Makhova L.A., Dementyeva E.A.

Upper Volga basin water administration, Nizhny Novgorod

Abstract. In the article, utilization of reservoirs in the activity area of the Upper Volga basin water administration is described in detail. It is realized according to the Regulations on water resources utilization of reservoirs the list of which is approved by the RF government. Utilization of reservoirs that are not included into the list is realized according to the typical regulations of their use. Hydraulic structure operating rules are in agreement with Rostekhnadzor. Recommendations are developed on both content of these rules and order for drawing up a certificate of a hydraulic structure.

If during use of reservoirs there arise problems on management of their regimes, including drawdown, maintenance and utilization, they are sent to basin administrations because according to the Water Code regimes of flood drawdown, special flashes, filling and drawdown of reservoirs are established by federal executive bodies empowered by the RF government.

Keywords: reservoir, hydraulic structure, certificate of hydraulic structure, activity area, basin water administration (BWA), Water Code.

Водным кодексом (ст. 45) определено, что использование водохранилищ осуществляется в соответствии с правилами их использования, включающими

в себя правила использования водных ресурсов водохранилищ и правила их технической эксплуатации и благоустройства.

Правилами использования водных ресурсов водохранилищ определяется режим их использования, в том числе режим наполнения и сработки водохранилищ. Правилами технической эксплуатации и благоустройства водохранилищ определяется порядок использования их дна и берегов. Установление режимов пропуска паводков, специальных попусков, наполнения и сработки водохранилищ осуществляется уполномоченным Правительством Российской Федерации федеральным органом исполнительной власти.

Перечень водохранилищ (в том числе водохранилищ с емкостью более 10 млн. м³), в отношении которых разработка правил их использования осуществляется для каждого водохранилища (нескольких водохранилищ, каскада водохранилищ или водохозяйственной системы в случае, если режимы их использования исключают раздельное функционирование), устанавливается Правительством Российской Федерации.

Использование водохранилищ, не указанных в перечне, установленном Правительством Российской Федерации, осуществляется в соответствии с типовыми правилами использования водохранилищ, утвержденными уполномоченным Правительством Российской Федерации федеральным органом исполнительной власти

Согласно Федеральному закону от 03 июня 2006г. № 73-ФЗ, до утверждения в соответствии со ст. 45 Водного кодекса правил использования водохранилищ, в том числе типовых правил, допускается применять разработанные и утвержденные до введения в действие настоящего Водного кодекса правила эксплуатации водохранилищ.

В соответствии с Приказом Минприроды России от 26 января 2011 г. N 17 "Об утверждении Методических указаний по разработке правил использования водохранилищ", регулирование режимов наполнения и сработки водохранилища в порядке, устанавливаемом Правилами использования, осуществляется организациями, ответственными за эксплуатацию гидроузла, образующего водохранилище, и организацией, осуществляющей оперативно-диспетчерское управление гидроэлектростанцией, в соответствии с указаниями Федерального агентства водных ресурсов.

Регулирование режимов использования водных ресурсов водохранилищ Верхней Волги осуществляется в соответствии с Правилами использования водохранилищ и рекомендациями Межведомственной рабочей группы по регулированию режимов работы водохранилищ Волжско – Камского каскада (далее МРГ) в целях обеспечения комплексного использования водных ресурсов

водохранилищ Волжско-Камского каскада и максимально возможного удовлетворения потребностей в водных ресурсах всех отраслей экономики с учетом складывающейся водохозяйственной и гидрометеорологической обстановки.

Приказом Росводресурсов от 03 марта 2014 г. № 55 создана Межведомственная рабочая группа по регулированию режимов работы Пензенского водохранилища, входящего в зону деятельности Верхне-Волжского БВУ.

По остальным водохранилищам, включенным в перечень, утвержденный распоряжением Правительства Российской Федерации от 14.02.2009 г. № 197-р, расположенным на территории зоны ответственности Верхне – Волжского БВУ (9 водохранилищ: Вадинское, Велетьминское, Верхне-Выксунское, Нижне-Выксунское, Запасное, Вильское, Вурнарское, Шемуршинское, Уводьское) Верхне-Волжским БВУ 02.04.2015 г. было проведено совещание с эксплуатирующими организациями этих водохранилищ и принято решение, отраженное в Протоколе по вопросам регулирования режимов работы водохранилищ на основании действующих правил использования водных ресурсов и деклараций безопасности. Верхне-Волжским БВУ направляются письма об установлении режима работы водохранилища. Режимы корректируются в зависимости от складывающихся гидрометеорологических условий и водохозяйственной обстановки.

Федеральным агентством водных ресурсов введена в эксплуатацию автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов Российской Федерации, форма "Режим водохранилищ". В программу ежедневно вносится информация по уровням воды и другим показателям режима водохранилищ для регулирования их режимов наполнения и сработки.

Ежедневно до 9.00 мск в Верхне-Волжское бассейновое водное управление направляется информация по уровням воды и другим наблюдаемым показателям режима водохранилищ по формам, представленным на совещании по вопросам регулирования работы водохранилищ с участием представителей эксплуатирующих организаций.

И если по водохранилищам, включенным в перечне, утвержденном распоряжением Правительства Российской Федерации от 14.02.2009 № 197-р, конкретно обозначены указания по разработке, согласованию и утверждению правил использования водохранилищ, то разработка, согласование и утверждение типовых правил использования водохранилищ осуществляются в порядке, установленном Правительством Российской Федерации, но в имеющемся нормативно-правовом поле нет ссылки на порядок утверждения именно типовых правил.

Использование водохранилищ, не включенных в перечень, осуществляется в соответствии с типовыми правилами использования водохранилищ, утверждаемыми Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации.

Приказом Минприроды России от 24 августа 2010 г. N 330"Об утверждении типовых правил использования водохранилищ" обозначено, что типовые правила предназначены для использования:

– уполномоченными органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации при осуществлении ими отдельных полномочий Российской Федерации в области водных отношений, реализация которых передана органам государственной власти субъектов Российской Федерации;

– собственниками гидротехнических сооружений, образующих водохранилища, и (или) эксплуатирующими такие гидротехнические сооружения организациями;

– водопользователями при использовании водных объектов в соответствии с заключенными договорами водопользования и решениями о предоставлении водохранилищ в пользование.

Поэтому целесообразно утверждать типовые правила собственниками гидротехнических сооружений, образующих водохранилища, и (или) эксплуатирующими такие гидротехнические сооружения организациями по согласованию с уполномоченными органами исполнительной власти субъектов РФ при осуществлении ими отдельных полномочий Российской Федерации в области водных отношений и территориальными органами Ростехнадзора.

Собственники гидротехнических сооружений, образующих водохранилища, и (или) эксплуатирующие такие гидротехнические сооружения организации выполняют требования настоящих типовых правил в процессе эксплуатации таких гидротехнических сооружений (далее – ГТС) в соответствии с требованиями законодательства о безопасности гидротехнических сооружений.

Использование водохранилищ, образованных в рыбохозяйственных целях и являющихся водными объектами рыбохозяйственного значения для товарного рыбоводства, организации спортивного и любительского рыболовства, воспроизводства водных биологических ресурсов осуществляется в соответствии с водным законодательством, законодательством о рыболовстве и охране водных биологических ресурсов, законодательством о животном мире.

Собственник гидротехнического сооружения или эксплуатирующая организация обеспечивает наличие документов, содержащих сведения о водохранилище, гидроузле и мерах по его обеспечению.

Приложением 1к типовым правилам использования водохранилищ, утвержденным приказом Минприроды России от 24 августа 2010 г. N 330, обозначен Примерный перечень документации по гидротехническим сооружениям, построенным по рабочим проектам, в котором отражена практически информация, которая должна входить в правила использования водохранилищ.

Собственник гидротехнического сооружения и (или) эксплуатирующая организация несут ответственность за его безопасность. О регулировании режимов водохранилища речь не идет (несмотря на то, что ГТС и водохранилище – это единый водохозяйственный комплекс).

Только Постановлением Правительства РФ от 27 февраля 1999 г. N 237 "Об утверждении Положения об эксплуатации гидротехнического сооружения и обеспечении безопасности гидротехнического сооружения, разрешение на строительство и эксплуатацию которого аннулировано (в том числе, гидротехнического сооружения, находящегося в аварийном состоянии), гидротехнического сооружения, которое не имеет собственника, или собственник которого неизвестен, либо от права собственности, на которое собственник отказался" в Положение об эксплуатации гидротехнического сооружения и обеспечении его безопасности собственник гидротехнического сооружения и (или) эксплуатирующая организация обязаны не только отвечать за его безопасность, но и обеспечивать режим наполнения и сработки водохранилищ, соблюдая приоритет питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, а также потребности рыбного хозяйства на участках рек и водохранилищ, имеющих важное значение для сохранения и воспроизводства рыбных ресурсов.

По водохранилищам, включенным в перечень, утвержденный распоряжением Правительства Российской Федерации от 14.02.2009 г. № 197-р, расположенным на территории зоны ответственности Верхне – Волжского БВУ, и по которым в настоящее время имеются действующие правила использования водных ресурсов, утвержденные до вступления в силу Водного кодекса РФ, разработаны новые проекты Правил.

Действующие:

– по Волге: Правила использования водных ресурсов водохранилищ: Угличское, Рыбинское, Горьковское и Чебоксарское (временные правила), утверждены Министерством мелиорации и водного хозяйства РСФСР.

– по другим водохранилищам действуют иные разноименные документы и соответственно согласованные с разными структурами, например:

«Правила эксплуатации водохранилища на р. Вад Вадинского района Пензенской области», утверждены Управлением федеральной службы по

надзору в сфере природопользования по Пензенской области 15 октября 2005 г.

– «Основные правила использования водных ресурсов Выксунских водохранилищ в бассейне р. Железница», утверждены Министерством мелиорации и водного хозяйства РФ приказом от 26 октября 1984 г. № 605;

– «Правила эксплуатации Уводьского водохранилища», разработанные в 2008 г. ООО «Ивгипроводхоз», утверждены директором ОАО «Водоканал» г. Иваново в 2009 г.

– «Основные положения правил использования водных ресурсов Пензенского водохранилища на р. Суре», утверждены приказом Министерства мелиорации и водного хозяйства РСФСР от 28 декабря 1978 г. № 737;

– «Правила эксплуатации гидротехнических сооружений водохранилища на р. Велетьма Кулебакского района Нижегородской области», согласованы с Управлением Росприроднадзора по Нижегородской области в октябре 2005 г.

Надзор по эксплуатации ГТС входит в полномочия Ростехнадзора, который предоставляет государственную услугу по согласованию правил эксплуатации гидротехнических сооружений (за исключением судоходных и портовых гидротехнических сооружений) (приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 3 ноября 2015 г. N 447). Приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 27 сентября 2012 г. N 546 утверждены Рекомендации к содержанию правил эксплуатации гидротехнических сооружений (за исключением судоходных гидротехнических сооружений).

Федеральным горным и промышленным надзором России 2 июня 1998 г. утверждены «Рекомендации о содержании и порядке составления паспорта гидротехнического сооружения». Действие рекомендаций распространяется на предприятия и организации всех форм собственности, эксплуатирующие поднадзорные Госгортехнадзору России гидротехнические сооружения (далее – ГТС), в том числе водохранилища. Рекомендации определяют порядок составления и содержания паспорта гидротехнического сооружения. Паспорт ГТС утверждает технический руководитель эксплуатирующей организации.

Все перечисленные документы: Паспорт гидротехнического сооружения, Правила эксплуатации гидротехнических сооружений не предусматривают рекомендации по управлению режимами водохранилищ. В территориальные органы Росводресурсов поступают обращения от собственников и эксплуатирующих организаций по согласованию или разрешению сработки водохранилища в паводковый период, либо на период ремонтных работ. Как правило, они имеют только либо паспорта ГТС, либо Правила эксплуатации ГТС.

Необходимо законодательно закрепить за собственниками или эксплуатирующей организацией разработку типовых правил использования водохранилищ и обозначить порядок утверждения типовых правил.

Предложение по утверждению типовых правил использования водохранилищ следующее: Возложить разработку и утверждение типовых правил использования водохранилищ на собственников гидротехнических сооружений, образующих водохранилища, и (или) эксплуатирующих такие гидротехнические сооружения организации по согласованию с уполномоченными органами исполнительной власти субъектов РФ при осуществлении ими отдельных полномочий Российской Федерации в области водных отношений и территориальными органами Ростехнадзора, для чего внести дополнение в законодательные акты.

© Махова Л.А., Дементьева Е.А., 2019

ОБ УЧЕТЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ФАКТОРА ПРИ УПРАВЛЕНИИ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ ВОДОХРАНИЛИЩ

Дубинина В.Г.¹, Никитина О.И.²

¹Центральное Управление по рыбохозяйственной экспертизе и нормативам по сохранению, воспроизводству водных биологических ресурсов и акклиматизации ФГБУ «ЦУРЭН», г. Москва

²Всемирный фонд дикой природы (WWF России), г. Москва
E-mail: vgdu@mail.ru

Аннотация. Возведение плотин привело к трансформации гидрологического режима многих рек России и деградации их водных экосистем. В статье приведены примеры негативного влияния плотин и описаны меры по восстановлению водных экосистем.

Ключевые слова: гидроузел, водохранилище, ущерб, экосистема, природоохранные меры.

CONSIDERING ENVIRONMENTAL FACTOR IN WATER RESOURCES MANAGEMENT OF RESERVOIRS

Dubinina V.G.¹, Nikitina O.I.²

¹Central Directorate for Fisheries Expertise and Standards for the Conservation, Reproduction of Aquatic Biological Resources and Acclimatization, Moscow

²World Wild Fund for Nature (WWF-Russia), Moscow
E-mail: vgdu@mail.ru

Abstract. Dam construction led to the transformation of the hydrological regime of many Russian rivers and the degradation of their freshwater ecosystems. The article provides examples of the negative impact of dams and describes measures to restore freshwater ecosystems.

Keywords: dam, reservoir, damage, ecosystem, conservation measures.

Биологическая продуктивность и биоразнообразие водных экосистем, и гидроузлы

Водные экосистемы подвержены нарастающему количеству угроз: индекс живой планеты 2018 г. показывает, что численность популяций пресноводных видов с 1970 г. сократилась на 83 %, а уровень вымирания пресноводных рыб в XX веке был самым высоким в мире среди позвоночных [1]. Усиливающееся антропогенное воздействие приводит к деградации популяций гидробионтов, утрате их генофонда и способности к естественному воспроизводству.

Сохранение и восстановление водных экосистем должно быть ключевой составляющей при управлении водными ресурсами, а биологическая продуктивность – индикатором состояния водных экосистем. Речной сток – фактор, определяющий состояние водной экосистемы и её биологическую продуктивность. Гидробионты эволюционно приспособлены к естественной динамике водного режима, нарушение которого приводит к сбоям жизненных циклов гидробионтов. В мире построено более 50 000 крупных плотин. В России функционируют 185 гидроэлектростанций, в том числе 15 ГЭС мощностью свыше 1000 МВт [2]. Возведение плотин привело к изменению режима стока многих рек и деградации их водного биоразнообразия.

За счет возобновляемости водного ресурса гидроэлектростанции производят дешевую энергию и покрывают пиковые нагрузки. К преимуществам гидроэнергетики относят ее свойство безуглеродного источника энергии в условиях глобального потепления климата [3]. Возобновляемые источники энергии – важные компоненты в удовлетворении растущих потребностей в энергии. Сравнение трех видов генерации возобновляемой энергии – солнечной, ветровой и водной – показывает, что энергия ветра оказывает наименьшее воздействие; солнечная энергия сравнительно безвредна, а гидроэнергетика несет наибольшие риски для экосистем [4]. Поэтому гидроэнергетику нельзя отнести к «зеленым» источникам энергии.

Негативное влияние плотин на водные экосистемы

В советский период развития энергетики особый упор делался на важную роль единого народнохозяйственного плана электрификации страны – ГОЭЛРО, утвержденный в 1920 г. В 1940–1950-х гг. в России гидроэнергетика быстро развивалась на больших равнинных реках. При освоении гидропотенциала во главу угла не была поставлена задача сохранения водных экосистем. Эксплуатация плотин привела к потере нерестилищ рыб (см. табл. 1), трансформации стока, изменению гидрохимического и гидробиологического режимов рек. Безвозвратное изъятие вод и их загрязнение, эксплуатация во-

дозаборов без эффективных средств рыбозащиты, проведение гидромелиоративных работ, браконьерский вылов рыбы послужили дополнительными факторами резкого снижения биопродукционного потенциала водных объектов.

Таблица 1

Площадь нерестилищ, отсеченных плотинами, в бассейнах рек (в %)

Ихтиофауна	Реки			
	Волга	Дон	Кубань	Обь
Белуга	100	100	100	
Осетр	80	80		40
Севрюга	60	50	100	
Нельма	-	-	-	70

Сохранение рыбопродуктивности предполагалось за счет искусственного выращивания молоди ценных рыб. Кроме того, планировалось, что в созданных водохранилищах можно будет получить большие запасы промысловых видов рыб и тем самым компенсировать значительные потери рыбного хозяйства. Однако масштабы искусственного выращивания молоди рыб не смогли заменить естественных условий: фактические уловы промысловых рыб в водохранилищах оказались в 5 раз ниже запланированных. При этом искусственное воспроизводство рыб, а также аквакультура не могут обходиться без сохранения естественных запасов рыб: для его существования необходимы дикие производители рыб, сохранение многовозрастной структуры стад и генетическое разнообразие.

Плотины, наряду с другими антропогенными факторами приводят к обеднению и смене видового состава, делая водные экосистемы неустойчивыми к воздействию природных и антропогенных факторов. Так, в бассейне Азовского моря потеряли промысловое значение или переходят в категорию редких и исчезающих форм такие виды рыб, как азовская шемая, сазан, донская сельдь и другие. Ряд видов рыб включены в Красную Книгу Ростовской области и Российской Федерации. В дельтовых лиманах р. Кубань с начала 60-х гг. количество видов рыб уменьшилось с 62 до 42 [5]. В бассейне р. Дон более 65 % видов рыб всей ихтиофауны бассейна относится к категории исчезающих и редких [5]. В результате гидростроительства такие рыбы бассейна Каспийского моря как каспийская минога, шип, волжская сельдь, каспийский лосось и др. находятся на грани исчезновения [6]. После строительства Зейской и Бурейской ГЭС состав ихтиофауны сократился с 38 до 26 видов и с 46 до 22 видов, соответственно. В бассейнах Енисея и Ангары по частоте встречаемости, численности и биомассе стали доминировать малоценные виды – плотва и окунь [7].

Эксплуатация плотин и другие виды антропогенного влияния привели к резкому сокращению уловов промысловых видов рыб. В частности, в 1930–40-е гг. уловы проходных, полупроходных и речных видов рыб в Каспийском море, в основном достигали 400–500 тыс. т. [8]; здесь было сосредоточено до 90 % мировых запасов осетровых. В последние годы среднегодовой улов полупроходных и речных рыб составляет лишь 40 тыс. т. Уловы рыб в Азово-Донском и Азово-Кубанском районах, в среднем, составляли 76 тыс. т в год, достигая 167 тыс. т; в современный период уловы проходных рыб в Азовско-Донском районе снизились в 260 раз, полупроходных – в 1700 раз. Сохранение популяций осетровых поставлено под угрозу, а вылов осетровых в бассейнах южных морей разрешен только для искусственного воспроизводства и научных целей.

Регулирование стока плотинами, его внутригодовое перераспределение приводит к уменьшению площади и периода затопления пойменных территорий в нижнем бьефе гидроузла. За 66 лет после сооружения Цимлянской ГЭС только в 12 случаях (18 %) отмечалось затопление Нижнедонской поймы, и только четыре раза режим обводнения пойменных территорий отвечал экологическим требованиям проходных и полупроходных рыб. За 60 лет было всего 19 лет (30 %) относительно благоприятных по объемам и срокам затоплений нерестилищ Нижней Волги. В долине Буреи в Хинганском заповеднике уменьшение обводнения пойменных озер ведет к сокращению мест обитания журавлей и аистов, занесенных в Красную книгу России [9]. Редкие обводнения пойм обуславливают изменение их геоботанического облика, освоение хозяйственными объектами и отмирание гидрографической сети. В результате нерегулярного затопления пойм их земельный фонд подвергся массовому освоению и застройке.

Ориентировочные расчеты С. В. Жуковой по оценке размера вреда, причиненного рыбному хозяйству Азово-Донского бассейна от отсутствия периодического обводнения нерестилищ, показали, что потери составили 51,3 млрд руб. (в ценах 2016 г.), а ущерб рыбному хозяйству от безвозвратных изъятий стока р. Дон за период 1952–2016 гг. оценивается в 9,5 трлн. руб. [10].

Меры по восстановлению водных экосистем

Исследования показывают, что изменения водных экосистем являются обратимыми, и экосистемы сохраняют биотический и кормовой потенциалы, достаточные для восстановления [11]. Ключевым элементом восстановления нарушенных водных экосистем должно стать поддержание гидрологического режима, обеспечивающего благоприятные условия для воспроизводства водных биоресурсов.

Ключевая мера восстановления водных экосистем в бассейнах зарегулированных рек – реализация экологических и рыбохозяйственных попусков. Экологический попуск – объем воды, подаваемый из водохранилища, обеспечивающий условия устойчивого функционирования водных экосистем на участке реки ниже гидроузла. Результаты исследований Цимлянского водохранилища показали, что при установлении экологического попуска за основу может быть принят рыбохозяйственный попуск, обеспечивающий условия естественного размножения ценных видов рыб. Таким образом, экологические и рыбохозяйственные попуски идентичны [12]. Экологический сток (попуск) становится важным принципом водопользования в таких странах как Мексика, Китай, Южная Африка, Австралия, США, Пакистан [13].

В России, при реализации гидроэнергетических проектов в XX в., рыбохозяйственные попуски не предусматривались, что привело к снижению биологической продуктивности водных и пойменных экосистем. Впервые гидрографы рыбохозяйственных попусков были научно обоснованы в 1970-х гг. на примере Цимлянского водохранилища [14]. Впоследствии этот подход был использован для разработки требований к водным ресурсам Кубани [15] и Нижней Волги [16].

Основным документом, определяющим управление водным режимом водохранилища, являются Правила использования водных ресурсов водохранилищ (ПИВР). В соответствии с Методическими указаниями по разработке ПИВР, водные ресурсы водохранилища должны использоваться, в том числе для экологических попусков [17]. Однако действующие Правила в большинстве случаев не учитывают эколого-рыбохозяйственные требования. В настоящее время разрабатывается новая редакция Правил. Принципиальное значение имеет учет требований рыбохозяйственного комплекса в составе их диспетчерских графиков. Поскольку отраслевые институты не включили своевременно в планы работ темы по разработке эколого-рыбохозяйственных требований, в настоящее время при согласовании Правил эти требования разрабатываются в форсированном порядке, от чего страдает качество предложений. Следует учитывать, что из-за массовой и зачастую незаконной застройки пойм выполнение в полном объеме эколого-рыбохозяйственных попусков затруднено.

Помимо реализации эколого-рыбохозяйственных попусков, для сохранения водных экосистем важно регламентировать экологически допустимое изъятие водных и биологических ресурсов, создавать сеть особо охраняемых водных экосистем, в том числе рыбохозяйственные заповедные зоны, а также научно-производственные центры по сохранению генетического материала биоты [18]. С целью сохранения генофонда естественных популяций рыб и

других гидробионтов и повышения эффективности индустриального воспроизводства проводятся работы по созданию криотехнологий для генетического материала гидробионтов, создаются генетические низкотемпературные банки [19].

Важно проанализировать целесообразность существования целого ряда водохранилищ, в основном небольших, часто бесхозных. Многие из этих водохранилищ утратили свои функции, а образующие их гидротехнические сооружения находятся в неудовлетворительном состоянии, в связи с чем необходимо рассмотреть целесообразность их ликвидации. В России решению этой проблемы не уделяется должное внимание [20]. В мировой практике такие процессы происходят, в частности, демонтаж устаревших плотин в США, Франции, Финляндии, Швеции и др.

В целях упорядочения использования пойменных земель следует внести изменения в Водный кодекс Российской Федерации, предусмотрев статью о запрете застройки затопляемых территорий пойм. Администрациям субъектов РФ следует разработать систему мер по упорядочению существующего режима хозяйствования в пойме, установить законность осуществленного строительства объектов в поймах рек. Необходимо ликвидировать опасные объекты, провести мелиорацию естественных нерестилищ и рекультивацию земель, входящих в нерестовый фонд, а также придать нерестилищам статус рыбохозяйственных заповедных зон.

В Водный кодекс РФ необходимо внести понятия «объем допустимого безвозвратного изъятия стока поверхностных вод», «экологический сток», «экологический попуск».

При проектировании новых гидроузлов крайне важно учитывать неудачный опыт проектирования и эксплуатации уже существующих гидроузлов и проводить оценку альтернатив. Восстановление и сохранение водных экосистем должно стать приоритетом управления водными ресурсами.

Список литературы

1. Living Planet Report–2018: Aiming Higher. World Wildlife Foundation (WWF). WWF, 2018.
2. <http://www.hydropower.ru/news/otraslevye-novosti/156/>
3. Hydropower Sector Climate Resilience Guide. International Hydropower Association. United Kingdom, London, 2019. 63 p.
4. Gibson, L., Wilman, E. N., Laurance, W. F. How Green is “Green” Energy? Trends in Ecology & Evolution. 32 (12). 2017. P 922–935. (<https://doi.org/10.1016/j.tree.2017.09.007>)
5. Воловик С.П., Чихачев А.С. Антропогенное преобразование ихтиофауны Азовского бассейна// Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна. Сб. науч. тр. (1996–1997 гг.). Ростов-на-Дону. 1998. С. 7–22.

6. Редкие и исчезающие животные. Рыбы. / ред. Павлов Д.С., Савваитова К.А., Соколов Л.И., Алексеев С.С. М.: Высш. шк. 1994. 334 с.
7. Кириллов В.В., Коцюк Д.В., Визер А.М., Попов П.А. Оценка влияния на водные и биологические ресурсы и среду их обитания построенных ГЭС в Сибири и на Дальнем Востоке. Рыбохозяйственные проблемы строительства и эксплуатации плотин и пути их решения. Материалы зас. темат. сообщ-ва по пробл. больших плотин и науч. конс. совета Межведом. Ихтиол. комиссии. М., WWF России, 2010. С. 19–32.
8. Иванов В.П., Мажник А.Ю. Рыбное хозяйство Каспийского бассейна (Белая книга). М.: ТОО журн. «Рыбное хоз-во». 1997. 40 с.
9. Подольский С. А., Симонов Е. А., Дарман Ю. А. Куда течет Амур? / под ред. канд. геогр. наук. С. А. Подольского. М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF). 2006. 72 с.
10. Дубинина В.Г., Жукова С.В. Оценка возможных последствий строительства Багаевского гидроузла для экосистемы Нижнего Дона // Рыбное хозяйство. 2016. № 4. С. 20-30.
11. Volovik S.P., Dubinina V.G., Semenov A.D. Hydrobiology and dynamics of fisheries in the Azov Sea // General Fisheries Council for the Mediterranean. Studies and Reviews. Rome: FAO. 1993. N 64. P. 1–58.
12. Дубинина В.Г., Косолапов А.Е., Коронкевич Н.К., Чебанов М.С., Скачедуб Е.А. Методические подходы к экологическому нормированию безвозвратного изъятия речного стока и установлению экологического стока (попуска) // Водное хоз-во России. 2009. № 3 С. 26–61.
13. Harwood, A., Johnson, S., Richter, B., Locke, A., Yu, X., Tickner, D. Listen to the river: Lessons from a global review of environmental flow success stories. WWF-UK. 2017.
14. Дубинина В.Г. Гидрологический режим поймы Нижнего Дона и проблемы рыбохозяйственного использования водных ресурсов реки: Автореф... дис. канд. геогр. наук. - Ростов-н/Д: Гос. ун-т. 1969. 31 с.
15. Гаргопа Ю.М. Гидрологические основы рыбохозяйственного исследования водных ресурсов Кубани и рек Восточного Приазовья: Автореф. дис... канд. геогр. наук. – Одесса. 1979. 24 с.
16. Павлов Д.С., Катунин Д.Н., Алехина Р.П., Власенко А.Д., Дубинина В.Г., Сидорова М.А. Требования рыбного хозяйства к объему весенних попусков в дельту Волги // Рыбное хозяйство. 1989. № 9. С. 29–32.
17. Об утверждении Методических указаний по разработке правил использования водохранилищ: приказ Минприроды РФ от 26.01.2011 г. № 17, п. 17. - URL: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-minprirody-rf-ot-26012011-n-17/> (дата обращения 26.06.2019).
18. Дубинина В.Г., Семенов А.Д., Никоноров И.В. Эколога-рыбохозяйственные проблемы и концепция охраны и восстановления водных экосистем // Изв. РГО. 1993. Т.125. Вып. 3. СПб. С. 23-29.
19. Ананьев В.И., Манохина М.С. КРИО-2018: проблемы разработки и использования криотехнологий для аквакультуры и сохранения биоразнообразия гидробионтов // Рыбное хозяйство. 2019. № 2. С. 15–20.
20. Жукова С.В. К вопросу об изменении политики управления водными ресурсами отдельных водохранилищ в бассейне р. Дон // Научное обеспечение реализации «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 г.»: сб. науч. тр. Т. 2. Петрозаводск: Карельский науч. центр РАН, 2015. С. 94–98.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТАМБОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА ВОДНЫЙ РЕЖИМ И СОСТОЯНИЕ ВОДНЫХ И ОКОЛОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ РЕКИ ЛЕСНОЙ ТАМБОВ

Тихомиров А.Н.¹, Дорожкин Е.В.¹, Буковский М.Е.², Валяева А.М.²

¹Донское бассейновое водное управление Федерального агентства водных ресурсов,
Тамбов, Ростов-на-Дону

²Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина

E-mail: tambovtikhomirov@yandex.ru

Аннотация. В статье анализируются уровни воды в Тамбовском водохранилище на р. Лесной Тамбов, и р. Цна у г. Котовск Тамбовской области, уровни грунтовых вод и количество атмосферных осадков на прилегающих территориях. Предпринимается попытка установить влияние водохранилища на уровень грунтовых вод в г. Котовск.

Ключевые слова: водохранилище, гидрологический режим, гидроузел, грунтовые воды, уровень воды.

ASSESSMENT OF THE TAMBOV RESERVOIR IMPACT ON THE WATER REGIME AND CONDITION OF WATER AND NEAR-WATER AQUATIC ECOSYSTEMS OF THE LESNOY TAMBOV RIVER

Tikhomirov A.N.¹, Dorozhkin E.V.¹, Bukovskiy M.E.², Valyaeva A.M.²

¹Don Water Basin Management, Tambov, Rostov-on-don

²Tambov State University named after G. R. Derzhavin

E-mail: tambovtikhomirov@yandex.ru

Abstract. In the article water levels in the Tambov reservoir on the Lesnoy Tambov River and in Tsna River near Kotovsk, Tambov Region, those of groundwater and precipitation quantity on the adjacent territory are analyzing. The attempts to determine the influence of the reservoir on the groundwater level in Kotovsk are making.

Keywords: reservoir, hydrological regime, hydro scheme, groundwater, water level.

Вопрос о влиянии различных инженерных объектов на подземные воды весьма актуален. Изучению этой проблемы посвящено большое число работ [1]. Отдельным направлением в изучении этого вопроса следует признать изучение влияния водохранилищ на режим подземных вод и окружающую инфраструктуру. Этот вопрос в отечественной науке также достаточно хорошо изучен. Имеются многочисленные работы о влиянии каскада Волжских водохранилищ на окружающую территорию [2], опубликованы многочисленные работы по Цимлянскому водохранилищу [3].

Водоохранилище на р. Лесной Тамбов, по сравнению с упомянутыми выше, достаточно молодое. Гидроузел и образованное им Тамбовское водохранилище расположены, в основном, в Рассказовском районе Тамбовской области, в 3 км юго-восточнее г. Котовск; небольшая часть водохранилища расположена на территории Тамбовского и Знаменского районов. Акватория

водохранилища распространяется от плотины гидроузла по р. Лесной Тамбов в северо-западном направлении. Выше водохранилища, в устье р. Арженка, находится г. Рассказово; ниже гидроузла, на р. Цна – гг. Котовск, Тамбов. Водосборная площадь водохранилища целиком располагается на территории Тамбовской области.

Створ плотины гидроузла расположен на 9 км от устья р. Лесной Тамбов, которая является правым притоком р. Цна и впадает в нее на 365-м км от устья. Основная часть Тамбовского водохранилища расположена на пойме р. Лесной Тамбов.

В эксплуатацию гидроузла Тамбовского водохранилища принят в 1999 г. по акту приемки в эксплуатацию Государственной приемочной комиссией законченного строительством пускового комплекса № 1 на строительстве Тамбовского гидроузла на р. Лесной Тамбов от 27.04.1999 г.

Согласно «Основных правил использования водных ресурсов Тамбовского водохранилища», разработанных «Союзводоканалпроектом» Госстроя СССР в 1989 г., водохранилище на р. Лесной Тамбов должно осуществлять многолетнее регулирование и работать в компенсационном режиме. Водохранилище должно обеспечивать обводнение р. Цна в маловодные годы путем неравномерных компенсационных попусков в нижний бьеф для обеспечения водоснабжения и улучшения санитарного состояния р. Цна в районе гг. Котовск и Тамбов, а также орошения земель. На сегодняшний день Тамбовское водохранилище осуществляет сезонное регулирование стока и работает в компенсационном режиме.

В настоящее время активно поднимается вопрос о влиянии Тамбовского водохранилища на подземные воды, в частности, на уровень грунтовых вод на территории расположенного в 2,5 км к западу от водохранилища г. Котовск.

Работ, описывающих влияние Тамбовского водохранилища на уровень грунтовых вод в г. Котовск, практически нет. В 2012 г. сотрудниками Российского научно-исследовательского института проблем мелиорации (г. Новочеркасск) было выполнено моделирование этого влияния, затем опубликовано две статьи [4, 5]. Согласно опубликованным данным, по сравнению с 1990-1991 гг., уровень грунтовых вод на территории г. Котовск изменился на 20-30 см в сторону повышения в южном районе города и на 50-75 см – в северном районе.

Отметим, что замеры проводились однократно с 12 по 15 ноября 2012 г. Также отметим, что октябрь 2012 г. выдался одним из самых дождливых за период наблюдений с 30-х гг. XX века. В октябре 2012 г. выпало более 2-х месячных

норм осадков, что не могло не повлиять на подъём уровня грунтовых вод. В первой декаде ноября 2012 г. также отмечались осадки.

Целью настоящей работы стало определение влияния Тамбовского водохранилища на уровень грунтовых вод на территории г. Котовск.

В основу работы положены данные Отдела водных ресурсов по Тамбовской области Донского бассейнового водного управления, Тамбовского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Территориального центра государственного мониторинга геологической среды и водных объектов Тамбовской области «Тамбовгеомониторинг».

Для анализа были использованы следующие данные:

- об уровне грунтовых вод в 4-х скважинах, пробуренных между г. Котовском и Тамбовским водохранилищем;
- об уровне воды в верхнем бьефе Тамбовского водохранилища;
- об уровне воды в р. Цна по гидропосту Кузьмино-Гать;
- о количестве осадков по метеостанции «Тамбов»;
- об уровне грунтовых вод в скважине № 681100182 государственной сети мониторинга, расположенной на юго-западной окраине г. Котовск, высотная отметка 119,9 м б.с.).

Все данные, кроме уровня воды в скважине № 681100182, взяты с декадным разрешением за период с 2013 по 2018 г. Данные по скважине № 681100182 взяты за период с 1973 по 2013 гг. Гидропост «Кузьмино-Гать» расположен на р. Цна, в 500 м ниже по течению от впадения р. Лесной Тамбов и в 5 км выше по течению от г. Котовск. На участке от гидропоста до города нет значимых притоков или гидротехнических сооружений, что позволяет использовать данные гидропоста для оценки колебаний уровня воды в р. Цна у г. Котовск.

Скважины для наблюдения за уровнем грунтовых вод расположены линейно от Тамбовского водохранилища (скв. 1) до г. Котовск (скв. 4) и имеют высотные отметки 130,6 м б.с.; 168 м б.с.; 156 м б.с.; 137 м б.с., соответственно. В связи с тем, что вода в скважинах 2 и 3, расположенных выше, появляется только эпизодически после сильных продолжительных дождей, для анализа они не использовались.

Результаты проведённого анализа представлены на рисунках 1-4. Для лучшего понимания динамики представленных на рис. 1-3 параметров кратко охарактеризуем половодье, водность и количество осадков (табл. 1). В статье приведены сводные графики за 2013 (многоводный), 2014 (маловодный) и 2016 (год нормальной водности) гг., как наиболее интересные, с точки зрения анализа.

Таблица 1

Краткая характеристика половодья, водности года и количества осадков

Год	Годовая сумма осадков (процент от многолетней)	Высота половодья (процент от многолетнего)	Водность года (процент от многолетнего)
2013	91	1,38	1,36
2014	75	0,89	0,67
2016	1,36	0,62	1,02

На рис. 1-3 мы видим отчётливые сезонные колебания уровней воды в верхнем бьефе Тамбовского водохранилища и в р. Цна. Сезонный рост уровней воды связан с весенним половодьем.

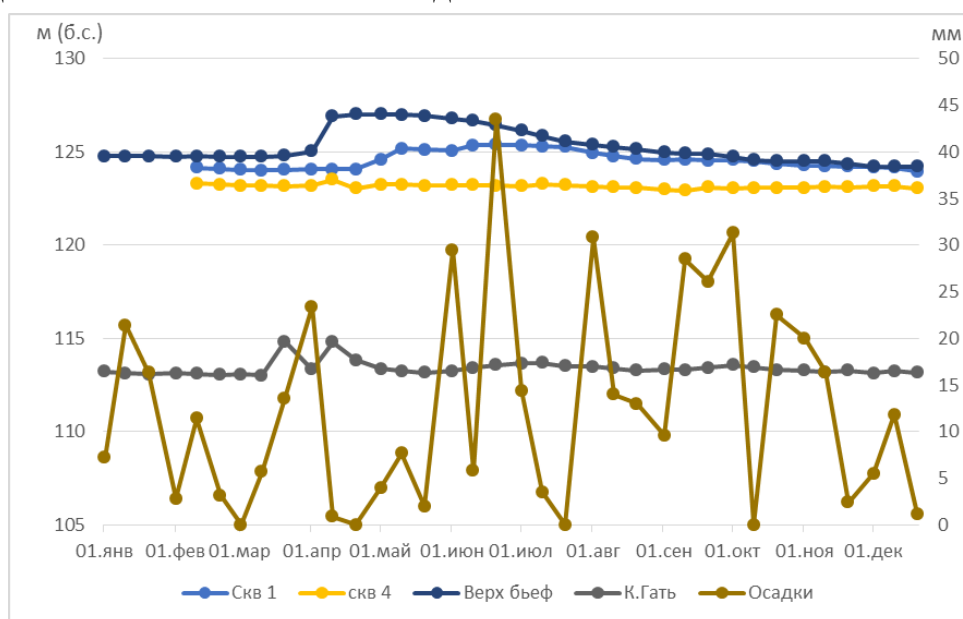


Рис. 1. Динамика колебаний уровней поверхностных и грунтовых вод у г. Котовск в 2013 г.

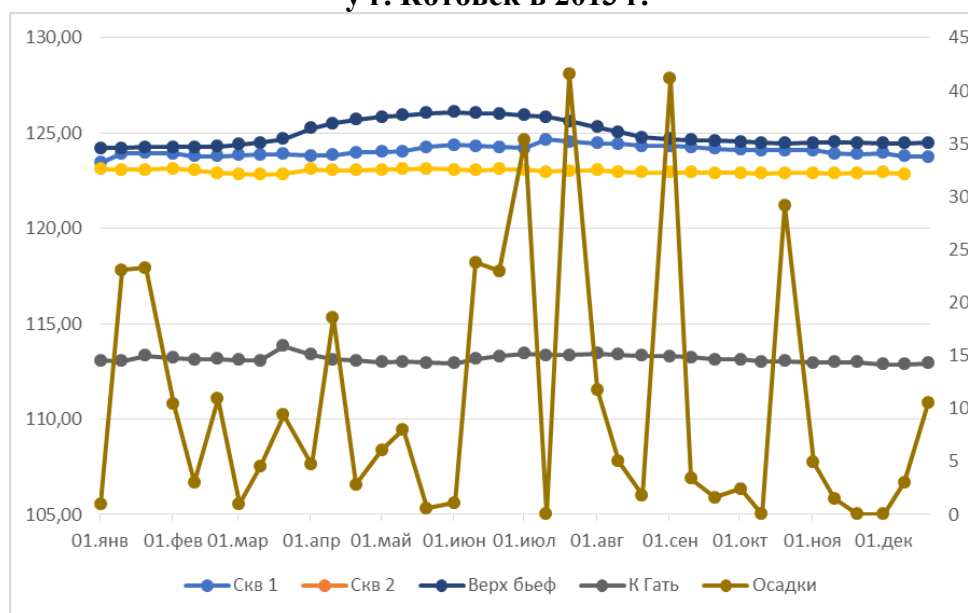


Рис. 2. Динамика колебаний уровней поверхностных и грунтовых вод у г. Котовск в 2014 г.

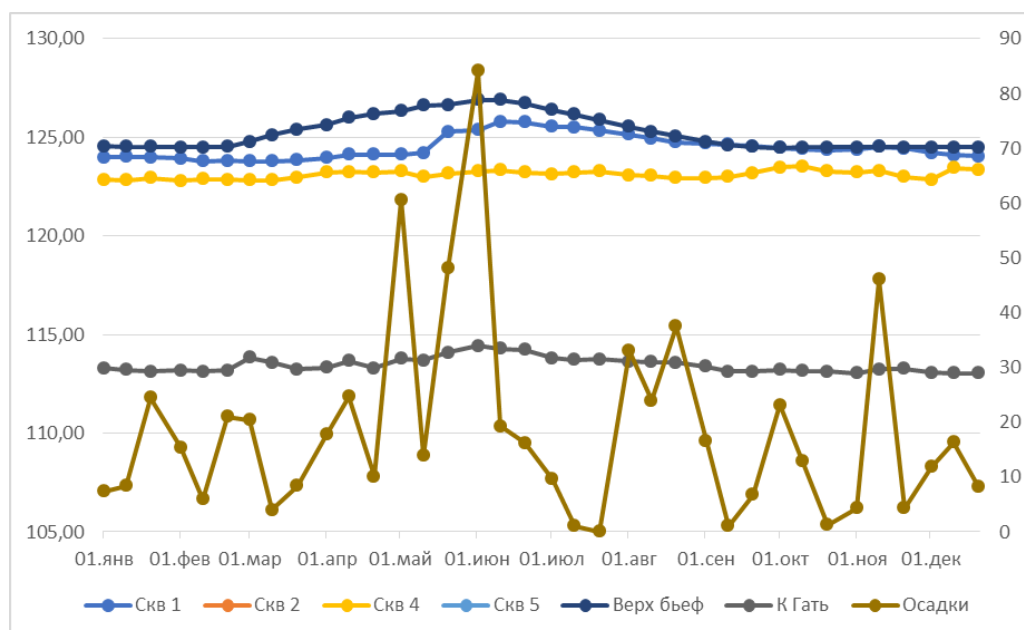


Рис. 3. Динамика колебаний уровней поверхностных и грунтовых вод у г. Котовск за 2016 г.

Уровень воды в наблюдательной скважине № 1 отчётливо гидравлически связан с уровнем воды в верхнем бьефе Тамбовского водохранилища. С запазданием в 20-25 дней в наблюдательной скважине № 1 также наблюдается подъём уровня воды. В последующий период также, как и в водохранилище, наблюдается снижение уровня воды вплоть до конца года. Уровень воды в наблюдательной скважине № 4 испытывает в течение года небольшие колебания.

В показанные на рис. 1-3 годы выпадало разное количество осадков: в 2013 г. – 449 мм, в 2014 г. – 321 мм, что ниже нормы, а в 2016 г. – 628 мм, что выше нормы. В течение одной декады выпадало от 0 до 84 мм осадков. Наибольшее количество осадков в течение года выпадает в летние месяцы.

На рис. 4 представлены данные многолетних наблюдений (1973-2013 гг.) за уровнем грунтовых в г. Котовске по скважине № 681100182 государственной сети мониторинга.

Из рисунка 4 видно, что, в целом, уровень грунтовых вод на юго-западной окраине г. Котовск по данным многолетних наблюдений, не смотря на значительные межгодовые колебания, остаётся неизменным. Более того, наиболее заметен тренд на снижение максимального за год уровня грунтовых вод. Однако, следует отметить, что по показателю R^2 ни один из показанных на рисунке трендов не является достоверным, т.е. уровень грунтовых вод статистически стабилен.

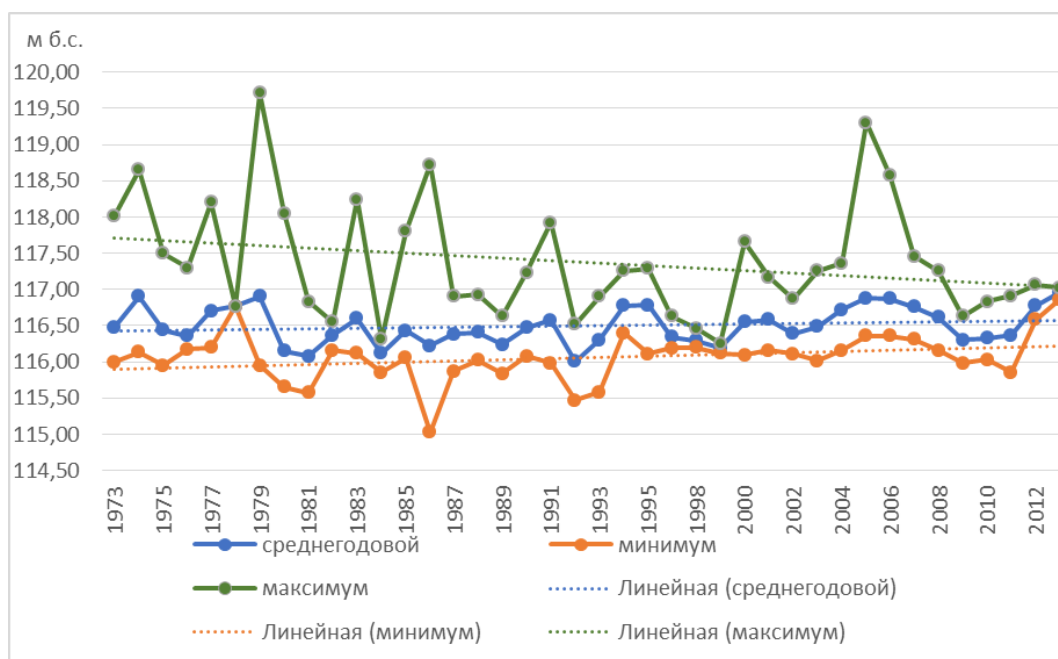


Рис. 4. Среднегодовые, максимальные за год и минимальные за год уровни воды в наблюдательной скважине № 681100182

По результатам анализа полученных данных мы можем сделать следующие выводы:

Уровень воды в верхнем бьефе Тамбовского водохранилища колеблется в интервале от 124,5 до 127 м в балтийской системе высот. Подъем происходит в период весеннего половодья, затем наблюдается плавное падение и к концу августа-сентября уровень воды выходит на меженный уровень, корректируемый в зависимости от гидрологических условий года. В р. Цна у г. Котовск колебания уровня воды соответствуют фазам гидрологического режима р. Цна.

Колебания уровня грунтовых вод в наблюдательной скважине № 1 с запаздыванием в 2-4 декады, в целом, повторяют колебания воды в верхнем бьефе водохранилища с меньшей амплитудой, не превышающей 125 см. Колебания уровня воды в течение года в наблюдательной скважине № 4 существенно меньше и не превышают 60 см. При этом связи колебаний уровня воды в скважине № 4 с колебаниями воды в Тамбовском водохранилище не установлено.

По данным многолетних наблюдений за уровнем грунтовых вод на юго-западной окраине г. Котовск наблюдаются межгодовые колебания уровня грунтовых вод. При этом статистически уровень остаётся стабильным. Каких-либо достоверных восходящих или нисходящих трендов не выявлено.

Таким образом, достоверного влияния Тамбовского водохранилища на уровень грунтовых вод в г. Котовск не подтверждено.

Список литературы

1. Исследование изменения уровня грунтовых вод в зоне влияния водохранилища / Ф.К. Абдразаков, О.В. Михеева, Т.А. Панкова, С.С. Орлова, Е.Н. Миркина // Аграрный науч. журн. 2018. № 9. С. 50-55.
2. Баранова М.Н., Мальцев А.В., Васильева Д.И. Влияние крупных водохранилищ на геотехническое состояние лёссовых грунтов // Градостроительство и архитектура. 2017. Т.7. № 2 (27). С. 9-14.
3. Назаренко О.Г., Новикова Н.М., Рыльчиков А.Ю. Сравнительная характеристика морфологических свойств почв подтопленных территорий Цимлянского водохранилища // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2008. № 12 (48). С. 34-40.
4. Ищенко А.В. Исследование влияния фильтрации из водохранилищ на подтопление населённых пунктов // Науч. жур. Рос. НИИ проблем мелиорации. 2013. № 3(11). С. 97-106.
5. Расчёт подпора грунтовых вод междуречного массива при неустановившейся фильтрации из водохранилища / Ю.М. Косиченко, Д.В. Бакланова, О.А. Баев, М.Ю. Косиченко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2014. № 3(15). С. 120-138.

© Тихомиров А.Н., Дорожкин Е.В., Буковский М.Е., Валяева А.М., 2019

КРУПНЫЙ ОПОЛЗЕНЬ В ГОРНОЙ ЧАСТИ БУРЕЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И ЕГО НЕГАТИВНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

Махинов А.Н.¹, Ким В.И.¹, Остроухов А.В.¹, Лю Шугуан²,
Махинова А.Ф.¹, Матвеев Д.В.¹

¹Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск, Россия

²Университет Тунцзи, Шанхай, Китай

E-mail: amakhinov@mail.ru

Аннотация. Приводятся первые результаты экспедиционного обследования крупного оползня и вызванного им цунами в водохранилище Бурейской ГЭС, произошедшего 11 декабря 2018 года в Хабаровском крае. Дается характеристика основных параметров оползня. Рассматриваются особенности вызванной оползнем волны цунами на различных участках водохранилища. Дается обзор мероприятий по минимизации негативных последствий оползневого процесса.

Ключевые слова: Бурейское водохранилище, оползень, волна цунами, последствия.

LARGE LANDSLIDE IN THE MOUNTAIN PART OF THE BUREYA RESERVOIR AND ITS NEGATIVE CONSEQUENCES

Makhinov A.N.¹, Kim V.I.¹, Ostroukhov A.V.¹, Liu Shuguang²,
Makhinova A.F.¹, Matveenko D.V.¹

¹Institute of Water and Ecological Problems of the FEB RAS, Khabarovsk, Russia

²Tongji University, Shanghai, China

Abstract. The first results of the expedition survey of a large landslide and the tsunami caused by it in the Bureyskaya HPP reservoir that took place in December 11, 2018 in the

Khabarovsk territory are presented. The characteristic of the main parameters of the landslide is given. The features of the landslide tsunami wave in various parts of the reservoir are considered. An overview of measures to minimize the negative effects of the landslide process is given.

Keywords: Bureya reservoir, landslide, tsunami wave, consequences.

Оползни на берегах водохранилищ случаются довольно часто, представляя угрозу для береговой инфраструктуры, затрудняя хозяйственное использование берегов, нередко приводят к человеческим жертвам. Их прогнозирование затруднительно, поскольку требует весьма тщательного инженерно-геологического обследования, прежде всего, крутых берегов вдоль всей береговой линии водохранилищ, что сделать довольно сложно и затратно. Поэтому нередко оползни происходят неожиданно.

Оползневые явления на Дальнем Востоке распространены довольно широко. Обычно они случаются в долинах крупных рек, на крутых склонах, сложенных рыхлыми отложениями, и на морских побережьях [1, 2]. Один из крупнейших на территории России за последние несколько десятилетий оползней произошел в Верхнебуреинском районе Хабаровского края 11 декабря 2018 г. в 14 час. 48 мин. местного времени. Он сошел с крутого левого склона долины р. Бурея, в 20 км выше впадения в нее левого притока – р. Тырма, в точке с координатами $50^{\circ}34'$ северной широты и $131^{\circ}29'$ восточной долготы [3]. Оползень обрушился в водохранилище Бурейской ГЭС, полностью перекрыв его высокой плотиной (рис. 1).

Бурейское водохранилище в своей горной части представляет собой затопленные долины р. Бурея и ее притоков в своих нижних течениях. Ширина водохранилища в районе оползня составляет 500-550 м при глубине 60-80 м. Устьевые участки притоков образуют узкие и глубокие заливы протяженностью 1,5-3,0 км. Колебания уровней воды в водохранилище между максимальными отметками в начале осени и минимальными уровнями весной составляют 20 м.

На участке сошедшего оползня поперечный профиль долины Буреи асимметричный – левый берег высокий и крутой, а на правом находится пологая слабонаклонная террасовидная поверхность шириной более 1 км и высотой в своей тыловой части до 50 м над современным уровнем воды в водохранилище.

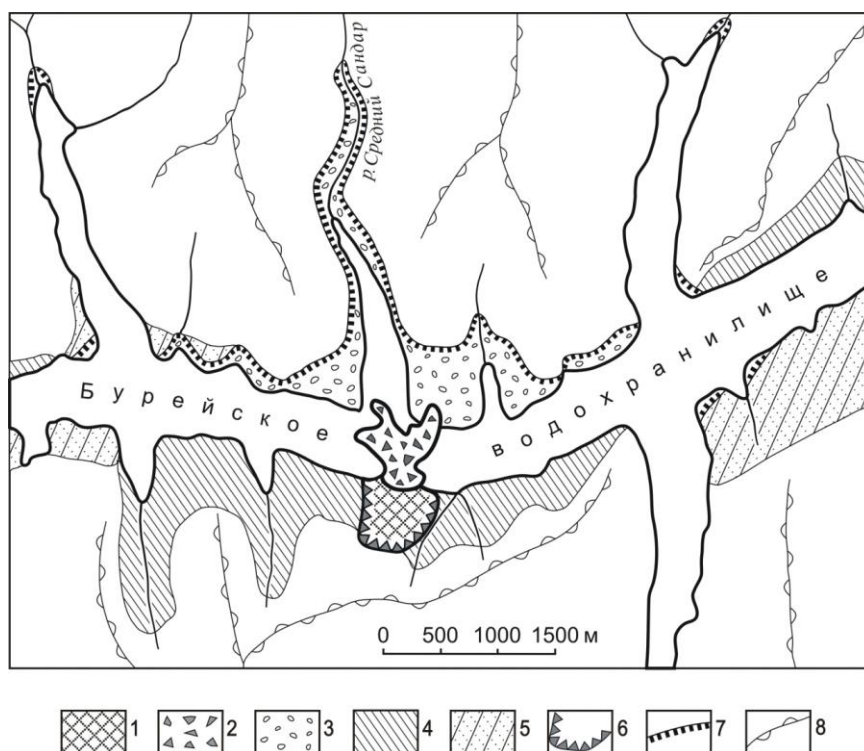


Рис. 1. Положение оползня в долине р. Бурей и границы волны цунами:
1 – поверхность скольжения оползня, 2 – оползневое тело, 3 – ареал уничтоженного леса, 4 – крутые склоны, 5 – пологие склоны, 6 – стенка срыва, 7 – граница заплеска волны цунами, 8 – гребни водоразделов

Оползень произошел в скальной толще, представленной протерозойскими метаморфизованными магматическими породами, пронизанными молодыми дайками. Крутой склон здесь пересекает зона тектонических нарушений, в пределах которой породы характеризуются сильной трещиноватостью и поэтому неустойчивы к процессам денудации. Значительную роль в создании условий для срыва грунта сыграло заполнение водохранилища. Вода по многочисленным трещинам проникла под основание склона, увеличив обводненность трещиноватых пород в его нижней части и снизив устойчивость вышележащих толщ. Не исключено, что некоторую роль в подготовке смещения огромного блока горных пород могли сыграть многолетнемерзлые породы, оттаявшие в основании склона под влиянием отепляющих вод водохранилища.

Размеры оползня весьма значительны (табл. 1). Огромная масса горных пород, быстро сместившаяся в глубокий водоем, вытеснила большой объем воды. В результате сформировалась высокая волна, по механизму образования представляющая собой цунами. Она обрушилась на противоположный пологий склон долины р. Бурей и вошла в устьевую часть долины р. Средний Сандар. Берега этих водотоков покрыты густым лиственнично-березовым лесом.

Таблица 1

Основные параметры оползня

Размеры стенки срыва на склоне	600 x 500 м
Длина оползневого тела	800 м
Ширина оползневого тела максимальная/минимальная	620 м/150 м
Площадь оползневого тела надводная	270 000 кв. м
Объем оползневого тела	24,5 млн. куб. м
Высота над водой максимальная/минимальная	47 м/ 8,5 м
Глубина водохранилища	65 – 70 м
Максимальная высота заплеска цунами	56 м
Площадь полностью уничтоженного леса	300 га

Волна взломала лед, толщина которого в это время составила 20 см. Водный поток вместе с обломками льда вел себя по-разному в различных частях водохранилища. По своим высотным отметкам заплеска, характеру воздействия на берега и динамике движения водных масс выделяется несколько разновидностей волны.

Волна на правом склоне долины напротив оползня. Волна, выплеснувшаяся на противоположный берег р. Бурья, наибольших размеров и мощности достигла по обе стороны долины нижнего течения реки Средний Сандар. Она продвинулась вверх по пологому склону правого берега р. Бурья на 1,0 км, достигнув высоты около 56 м над урезом воды в водохранилище. В результате гидродинамического удара водного потока ломались стволы деревьев, многие из которых достигали в диаметре 40 см. Лес на этом участке был полностью уничтожен на площади около 2.5 км². На его месте остались лишь раздробленные пни высотой до 1 м, а вдоль границы с сохранившимся древостоем образовались хаотические скопления принесенных водой, преимущественно целых, деревьев в виде вала высотой до 3,0 м (рис. 2). Однако значительная часть уничтоженных деревьев обратным потоком воды была снесена в водохранилище, где они впоследствии вмерзли в лед. В этом случае, в результате многократных соударений, деревья были разбиты на небольшие фрагменты.



Рис. 2. Уничтоженный волной лес на правом склоне долины р. Бурей (фото слева) и древесный вал на границе заплеска волны на этом же участке (фото справа)

Прямой гидродинамический удар водного потока на обращенные к нему склоны привел к разрушению почвенного слоя на значительной площади, особенно на уступе правого берега напротив сместившегося оползня. Здесь верхний слой грунта толщиной 0,6-0,7 м местами на площади в несколько сотен м² был полностью разрушен и удален, обнажив коренные породы. На других участках долины Буреи выше и ниже по течению до 1,5 км, и по долине р. Средний Сандар почва была сорвана и смыта частично, а вдоль уклонов поверхности образовались вытянутые овальные понижения в виде многочисленных разрозненных выемок.

Эрозионное воздействие обратного потока воды на поверхность склонов, вследствие того, что верхние слои грунтов в этот период времени находились в мерзлом состоянии, было незначительным. Лишь местами водный поток выработал слабоизвилистые узкие ложбины. В отдельных случаях, при концентрации потока в неровностях рельефа, эрозионные рывтины протягиваются в длину до 30 м и достигают ширины 8 м при глубине до 1,5 м.

Волна на берегах водохранилища в долине р. Бурей. Волна от оползня распространилась также вверх и вниз по долине р. Бурей, заполненной водами водохранилища. Она, вероятно, в основном шла подо льдом, но в прибрежной части ломала лед и выбрасывала его на склон долины. Постепенно снижаясь, волна прошла вверх по долине Буреи на 12 км и вниз на 8 км, действуя на берега. Она двигалась под углом к склонам долины, и высота ее изменялась, в зависимости от особенностей рельефа. При набегании на обращенный к ее фронту склон волна высоко поднималась, ломала и переносила деревья к верхней точке заплеска и в небольшом количестве переносила их назад в водоем. При этом в тени, за выступами рельефа, высота подъема волны заметно снижалась, а многие деревья, лишившись от удара волны только ветвей в нижних частях стволов, сохранились стоящими на корню.

В акватории водохранилища повсюду встречались обломки битого льда размером обычно не более 0,5 м в поперечнике, хаотически разбросанные на поверхности льда на удалении до 10 км от оползня. При движении подо льдом волна ломала его, образуя многочисленные трещины, сдвигала с мест ледяные поля. Местами лед крошился на небольшие обломки, которые при взаимодействии более крупных ледяных фрагментов выталкивались на поверхность льда. Крупные трещины во льду отмечались на 3-4 км дальше распространения ледяных обломков.

Волна в долине р. Средний Сандар. Существенное воздействие волны на берега происходило в долине р. Средний Сандар. Этот приток Буреи расположен напротив сошедшего оползня, и его долина постепенно сужается вверх по течению. Нижний отрезок долины представляет собой глубокий залив Бурейского водохранилища протяженностью 1800 м. Своим устьем он широко открыт к склону, на котором произошел оползень. Возникшая волна прошла через весь залив и затем поднялась вверх по долине еще на 1900 м, достигнув высоты 56,5 м над уровнем воды в водохранилище. При этом высота волны над дном долины на последнем километре резко понижалась с 30 м до ее полного выклинивания. В своей верхней точке волна оставила принесенные и сломанные на месте деревья в виде невысокого древесного вала, в котором встречаются небольшие обломки льда.

Обратный поток воды из долины р. Средний Сандар вынес практически весь уничтоженный на склонах лес в залив водохранилища, вся поверхность которого заполнена обломками раздробленных деревьев. Обратная волна вернулась к левому склону долины Буреи, пройдя через пониженную часть оползневого тела в его западной части. Затем она поднялась к подножью оползневого амфитеатра в виде заплеска на высоту 21 м, о чем свидетельствуют небольшие обломки лежащего здесь льда. Волна в заливах других притоков, удаленных от оползня, достигала высотных отметок в 3-8 м.

В понижениях поверхности на берегах заливов, вблизи оползня и на склонах долины р. Бурея, образовались небольшие наледи площадью в несколько десятков метров. Так, в небольшом заливе у правого берега, расположенном в 0,5 км от оползня на склонах выявлено четыре небольших наледи. Такие же по размерам наледи отмечаются на берегах на расстоянии до 5 км от оползня, и они, вероятно, обязаны своим возникновением просачиванию воды в толщу рыхлых отложений и ее дальнейшему выдавливанию к поверхности при промерзании грунтов.

Несмотря на то, что оползень произошел в безлюдной местности, его негативные последствия могли бы существенно затронуть интересы жителей

региона. Возникла угроза, что в зимний период произошло бы уменьшение притока воды в основную часть водохранилища, а это могло повлиять на сокращение выработки электроэнергии на Бурейской ГЭС. Кроме того, во время весеннего половодья, при снежной зиме и быстром таянии снега и, особенно, во время высоких летних паводков, был бы возможен значительный подъем воды в верхней части водохранилища (выше каменной плотины), что угрожало бы подтоплением пос. Чекунда и прилегающим к нему территориям, в том числе в зоне БАМ.

Поэтому было принято решение восстановить сток между обеими частями водохранилища на максимально низком уровне. В январе-феврале 2019 г. специалисты Министерства обороны России оперативно организовали и успешно провели взрывные работы по частичному разрушению возникшей в результате оползня плотины и восстановлению свободного перетока воды из верхней части водохранилища в его нижнюю часть. Это было вызвано необходимостью обеспечить нормальную работу Бурейской ГЭС и не допустить затопление населенных пунктов. В результате был создан глубокий проран, по которому вода стала свободно проходить через плотину.

Обследования прорана, проведенные в марте и начале апреля, показали, что ширина водного потока в его истоке составила 54 м, скорость течения – 3,0 м/с, средняя глубина – 1,5 м, расход воды – около 220 м³/с. Размыв берегов продолжался, однако его интенсивность была небольшой. Была также определена наименьшая высотная отметка дна на самом верхнем участке прорана, где находится порог, лимитирующий его глубину. Она была существенно выше уровня мертвого объема водохранилища – минимального уровня при его максимальной работе. Это создавало опасность высокого подъема уровней воды в верхней части водохранилища с возможностью затопления с. Чекунда и прилегающей инфраструктуры.

Однако в начале мая 2019 г., при подъеме уровней воды в верхней части водохранилища, в период весеннего половодья произошел прорыв тела дамбы, в результате которого проран существенно расширился и углубился. Уровни воды выше и ниже оползневой дамбы выровнялись, что снизило остроту проблем, связанных с эксплуатацией водохранилища. Вместе с тем, актуальными остаются вопросы оценки экологических последствий оползня и смыва в его акваторию значительного объема древесины и грунтов со склонов.

Оползни и обвалы на склонах водохранилищ, особенно созданных на реках в горных районах, часто сходят без всякой связи с землетрясениями. Они неоднократно происходили на склонах водохранилища крупнейшей в мире ГЭС "Три ущелья" в Китае. В 2015 г. небольшой оползень в районе города

Вушань вызвал волну цунами высотой 11 м, повредившей небольшие суда у причалов. Одно из наиболее катастрофических на водохранилищах событий произошло в 1963 г. в северной Италии. Оползень объемом 270 млн. м³ сошел в глубокое водохранилище в ущелье Вайонт, образовав волну с максимальным заплеском на противоположном берегу высотой 250 м. Волна, перехлестнув плотину, прошла по узкому ущелью со скоростью около 80 км/час, в результате которой погибло 1910 человек.

Работа выполнена при поддержке Дальневосточного отделения РАН (проект № 18-5-019).

Список литературы

1. Махинов А.Н., Поздняков А.В., Гусев М.Н., Помигуев Ю.В. Крупный оползень в долине р. Зеи // География и природные ресурсы, 1993. № 1. С. 175-177.
2. Пинегина Т.К., Делемень И.В., Дроздин В.А., Калачева Е.Г., Чирков С.А., Мелекесцев И.В., Двигало В.Н., Леонов В.Л., Селиверстов Н.И. Камчатская Долина гейзеров после катастрофы 3 июня 2007 г. // Вестник ДВО РАН, 2008. № 1. С. 33-44.
3. Крамарева Л.С., Лупян Е.А., Амельченко Ю.А., Бурцев М.А., Крашенинникова Ю.С., Суханова В.В., Шамилова Ю.А. Наблюдение зоны обрушения сопки в районе реки Бурей 11 декабря 2018 года // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 7. С. 266–271.

© Махинов А.Н., Ким В.И., Остроухов А.В., Лю Шугуан, Махинова А.Ф., Матвеев Д.В., 2019

ОПОЛЗНЕВЫЕ ЯВЛЕНИЯ В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ БУРЕЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ

Махинова А.Ф.¹, Махинов А.Н.¹

¹ Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск, Россия
E-mail: mahinova@iver.as.khb.ru

Аннотация. Рассматриваются оползневые явления в береговой зоне Бурейского водохранилища. Приводятся результаты экспедиционного обследования их влияния на почвенный покров. Показано, что крутые склоны вдоль водохранилища потенциально опасны в связи с интенсификацией экзогенных процессов. Установлено, что ледяное цунами, вызванное оползнем в декабре 2018 г. в водохранилище Бурейской ГЭС, уничтожило почвенный покров на противоположном берегу и обратной волной вынесло продукты разрушения в водоем. Рассматриваются механизмы воздействия ледяной волны на почвенный покров на различных участках побережья. Предлагаются мероприятия по минимизации негативных последствий оползневых процессов.

Ключевые слова: Бурейское водохранилище, оползень, ледяная волна цунами, почвы, льдистость.

LANDSLIDE PHENOMENA IN THE COASTAL AREA OF THE BUREYA RESERVOIR AND THEIR EFFECT ON THE SOIL COVER

Makhinova A.F.¹, Makhinov A.N.¹

¹ Institute of Water and Environmental Problems of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia
E-mail: mahinova@ivep.as.khb.ru

Abstract. Landslide phenomena in the coastal zone of the Bureya reservoir are considered. The results of the expedition survey of soil cover are given. It is shown that steep slopes along the reservoir are potentially dangerous. There is an intensification of exogenous processes. It was established that the ice tsunami caused by the landslide-2018 in the reservoir of the Bureiskaya HPP cut off the soil cover on the opposite shore and carried it backward into the gulf of the reservoir. The mechanisms of the effect of the ice tsunami wave at different sites of the soil cover are considered. The measures to minimize the negative effects of landslide processes are proposed.

Key words: Bureya reservoir, landslide, ice tsunami wave, soil, ice cover.

Активизация экзогенных процессов в береговой зоне Бурейской ГЭС. Горный характер рельефа является основным условием развития экзогенных процессов. В береговой зоне Бурейской ГЭС склоны имеют крутизну 20-35°, некоторые из них подвержены оползневым явлениям. Причиной образования оползней является нарушение равновесия между сдвигающей силой тяжести и удерживающими силами сцепления грунтов [1, 2]. Водоохранилище оказывает большое влияние на прилегающие к нему сверху и снизу по течению участки р. Бурей и устье р. Ср. Сандар. Склоны подвержены абразионному размыву в подошвенной части. Большие колебания подъема уровня воды в водохранилище способствуют повышенному увлажнению нижней части склонов и оказывают влияние на выветривание скальных пород.

Основной причиной развития оползневого процесса в декабре 2018 г. явилось интенсивное обводнение нижней части склона за счет подъема подземных вод, вызвавшее снижение его устойчивости [3]. Развитие оползневого процесса обусловлено также наличием зоны тектонического дробления горных пород, пересекающей склон водохранилища напротив устья р. Ср. Сандар. Изменения очертаний береговой зоны и наблюдаемый размыв берегов, разрушение почвенного покрова на крутых склонах выше уреза водохранилища свидетельствуют об активности экзогенных процессов.

Почвенный покров в береговой зоне Бурейской ГЭС. Почвенный покров береговой зоны Бурейской ГЭС формируется на делювии горных пород под воздействием процессов таежного почвообразования и отепляющего влияния водохранилища. Большое влияние на экологическое состояние почвенного пространства оказывает также длительно-сезонная мерзлота.

В составе почвенного покрова преобладают дерново-таежные почвы и на мезоповышениях фрагментарно отмечаются подбуры. Профиль почв имеет небольшую мощность (60-80 см) и высокую щебнистость. На поверхности формируется дерновый горизонт (AD до 10 см), в подбурах верхний горизонт – дерново-органогенный или слабо оторфованный (ADt). Минеральная толща дерново-таежных почв слабо дифференцирована на генетические горизонты, однако в верхней части профиля, непосредственно под горизонтом AD мощностью 3-5 см в микропонижениях наблюдается повышенное содержание тонкодисперсного глинистого материала, который постепенной убывает вниз по профилю и на глубине 50-65 см замещается крупнощебнисто-глыбовым делювием. В подбурах, под органогенным (оторфованным) горизонтом (ADt), располагается недифференцированная щебнистая толща, которая на глубине 60-70 см подстилается обломками горной породы.

Физические свойства мерзлых почв. Экспедиционные исследования показали, что профиль всех почв имеет льдистый характер. Большое количество льда содержится в дерновых (торфянисто-органогенных) горизонтах, масса его местами во много раз превосходит массу органической части горизонта. Наличие и расположение ледяных включений в виде линзочек и прослоек, ориентированных в одном направлении (от вершины к береговой линии), определяют слоистую текстуру мерзлых горизонтов и условия для их скольжения вниз по склону.

Минеральные частицы и агрегаты в почвенных горизонтах раздвинуты льдом, вследствие чего объемный вес горизонтов уменьшен относительно талых почв. Верхняя часть дерново-органогенных и минеральных мерзлых горизонтов почв непосредственно под дерниной слабо увлажнена. Количество незамерзшей воды может составлять около 0,5-2 % от веса сухого горизонта. В дерново-таежных почвах, формирующихся в береговой зоне выше уреза воды и имеющих более мощный профиль, промерзание горизонтов идет медленнее относительно подбуров и поэтому нередко здесь на стенках щебня присутствует вода в жидкой фазе. При отрицательной температуре в начале декабря водохранилище, в пределах береговой зоны, еще оказывает обогревающее воздействие на почвенный покров. В этом случае в дерново-органогенных горизонтах и под ними, непосредственно в верхней части минеральных горизонтов в почве присутствует переохлажденная вода.

Высокая льдистость и наличие воды в жидкой фазе определяют физические свойства мерзлого почвенного пространства. Содержание незамерзшей воды обуславливает особое состояние мерзлых почв при температуре, близкой к 0°. Почвы, обладающие высокой льдистостью и наличием в грунте во-

ды в жидкой фазе, характеризуются высокой пористостью, повышенной пластичностью и способностью к быстрому скольжению по твердым скальным породам, в отличие от твердомерзлых грунтов с низкой температурой.

Для анализа льдонасыщенности дерново-таежных почв и подбуров, как наиболее важной и доступной для расчетного определения характеристики, использовали формулу [4]:

$$G = (W_c - W_n) / W_c$$

где G – льдонасыщенность (относительная льдистость); W_c – суммарная влажность горизонта; W_n – количество незамерзшей воды.

В мерзлых образцах почв проанализировали массу воды в жидкой фазе (W_n) и суммарную влажность образцов, для чего образцы массой 500 г разрушали на ватных дисках, которые после увлажнения взвешивали и рассчитывали долю впитавшейся воды от суммарной влажности. Суммарную влажность определяли при растаивании ненарушенного образца. Полученные результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1

Относительная льдистость почв в береговой зоне Бурейского водохранилища

Почвы	(N _{ср}) мощн. профиля, м	S от уреза воды, м	К-во разрезов	В долях единицы(ср.зн)		
				W _c	W _n	G
Дерново-таежные	0,75-0,80	50-100	9	0,2-0,26	>0,015	0,88-1,05
Подбуры	0,55-0,70	450-800	5	0,2-0,21	>0,011	0,74-0,92
Классификация горизонтов почв по степени льдистости						
Значения G	Степень льдистости		Степень плотности горизонтов			
$0 \leq G \leq 0,33$	Слабольшедистые		Плотные горизонты			
$0,33 \leq G \leq 0,67$	Льдистые		Средняя плотность			
$0,67 \leq G \leq 1,0$	Сильно льдистые		Рыхлые, при сдавливании крошатся			
при $G > 1,0$	Распученные		Очень рыхлые горизонты			

Мерзлые горизонты почв по степени льдистости близки. По содержанию льда и, согласно классификации льдистости, почвы относятся к сильно льдистым или распученным, их профиль имеет рыхлое или очень рыхлое сложение и при надавливании рассыпается. Механизмы криопроецессов не оказывают цементирующего воздействия на горизонты. В момент времени, когда полное промерзание профиля отсутствует, и в горизонтах присутствует вода в жидкой фазе, почвы приобретают высокую пластичность и при определенном условиях (повышенное увлажнение, большой уклон, др.) обладают повышенной способностью к смещению.

Влияние волны ледяного цунами на почвенный покров в береговой зоне Возникшая после схода оползня волна ледяного цунами устремилась в

устье и долину р. Ср. Сандар, которая поднялась по ней вверх более чем на 2 км, полностью уничтожив лес и частично почвенный покров на обоих ее склонах. На удалении 1,2 км от устья волна имела высоту более 55 м над уровнем воды в водохранилище. Максимальная высота заплеска в долине р. Ср. Сандар, измеренная на удалении в 2,3 км от ее устья, составила около 60 м. В этой точке максимального проникновения волна оставила вырванные с корнями или сломанные у основания деревья в виде невысокого вала, среди которых встречаются небольшие обломки льда. Почвенный покров оказался «срезанным» до выступов горной породы, обратной волной продукты разрушения почв смыло в водохранилище (рис. 1).

Описанные выше физические свойства почв способствовали быстрому разрушению целостного почвенного покрова и местами полному его уничтожению. Высокая скорость прохождения ледяной волны и турбулентность потока обеспечивали быстрое перемешивание мерзлой почвенной массы. Удары скатывающейся и встречной волны способствовали быстрому размыву почвенного покрова, а вихревая турбулентность образовывала высокую мутность обратного потока. Скорость обратной волн была значительной, о чем свидетельствует большая масса и крупность переносимых волной обломков горных пород, а также стволов крупных деревьев, выброшенных на противоположном берегу от устья р. Сандар (рис. 1).

Почвенный покров смыт полностью до скальных пород, высокий древесный вал образовался на границе заплеска, а более мелкие фрагменты деревьев были снесены волной в акваторию водохранилища. Наибольшая площадь уничтоженного полностью почвенного покрова установлена на правом берегу р. Буряя напротив оползня и в долине р. Ср. Сантар (рис. 2).



Рис. 1. Уничтоженный волной почвенный покров на правом склоне долины р. Буряя и древесный вал на границе заплеска на этом же участке

В понижениях поверхности на берегах заливов, вблизи оползня и на склонах долины р. Бурей, имеются наледи площадью в несколько десятков метров. Самые крупные из них расположены на склонах правобережья на расстоянии до в 2,5 км от оползня. Вероятно, их образование связано с водой, содержащейся в жидкой фазе в почвах и поступившей в грунт при движении волны вверх, а затем вниз по склону долины. В дальнейшем она просочилась в грунт и выдавилась на поверхность при быстром промерзании почв.

Учитывая, что водохранилище Бурейской ГЭС создано в горном районе и активно эксплуатируется, оползни и обвалы на склонах будут активизироваться. По своим физическим свойствам почвенный покров на крутых склонах обладает крайне низкой устойчивостью к смещению [5]. Высокая активность экзогенных процессов, в том числе оползневых явлений, будет способствовать дальнейшему размыву почв в береговой зоне водохранилища и загрязнению его вод.

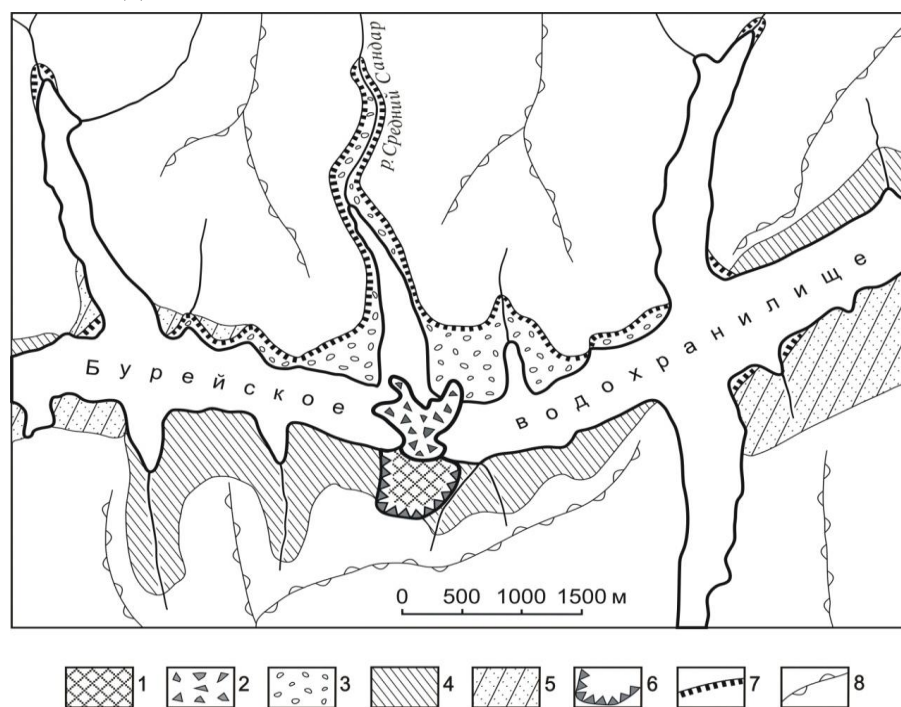


Рис. 2. Границы волны ледяного цунами и ареал смытых почв в долине р. Бурей:
1 – поверхность скольжения оползня; 2 – оползневое тело; 3 – ареал полностью и частично уничтоженного почвенного покрова; 4 – крутые склоны; 5 – пологие склоны; 6 – стенка срыва; 7 – граница заплеска волны цунами; 8 – гребни водоразделов

Работа выполнена при поддержке Дальневосточного отделения РАН (проект № 18-5-019).

Список литературы

1. Емельянова Е.П. Основные закономерности оползневых процессов. М.: Недра, 1972. 310 с.

2. Махинов А.Н., Поздняков А.В., Гусев М.Н., Помигуев Ю.В. Крупный оползень в долине р. Зеи // География и природные ресурсы, 1993, № 1. С. 175-177.
3. Махинов А.Н., Ким В.И., Остроухов А.В., Матвеев Д.В. Крупный оползень в долине реки Бурей и цунами в водохранилище Бурейской ГЭС // Вестник ДВО РАН, 2019, № 2. С. 35-44.
4. Пчелинцев А.М. Строение и физико-механические свойства мерзлых грунтов. М.: Наука. 1964. С. 259
5. Тихвинский И.О. Оценка и прогноз устойчивости оползневых склонов. М.: Наука, 1988. 144 с.

© Махинова А.Ф., Махинов А.Н., 2019

ОПОЛЗЕНЬ НА БУРЕЙСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ: ПОСЛЕДСТВИЯ, ПРОБЛЕМЫ, РЕШЕНИЯ

Макаров А.В.¹, Неров И.О.²

¹Амурское бассейновое водное управления, г.Хабаровск

²Дальневосточный филиал ФГБУ РосНИИВХ, г. Владивосток

E-mail: makarov@bvu.kht.ru

Аннотация. Представлена информация о принятых мерах по предупреждению чрезвычайной ситуации, вызванной сошедшим в декабре 2018 года в Бурейское водохранилище оползнем. Даны оценка возможного затопления населённых пунктов и объектов экономики в случае непринятия мер по разрушению тела оползня и не будет сделан анализ наибольших уровней воды в водохранилище при прохождении расчетных паводков в условиях созданного в феврале 2019 года прорана. Представлен план информационно-аналитического сопровождения управления режимами работы водохранилища в сложившихся условиях, обеспечивающий принятие оптимальных и оперативных управленческих решений при изменении параметров прорана и в случаях схода новых оползней.

Ключевые слова: Бурейское водохранилище, оползень, чрезвычайная ситуация, регулирование стока.

LANDSLIDE AT THE BUREYA RESERVOIR: CONSEQUENCES, PROBLEMS, SOLUTIONS

Makarov A.V.¹, Nerov I.O.²

¹Amur water basin Administration of The Federal Water Resources Agency, Khabarovsk

²RosNIIVKh Far Eastern Branch, Vladivostok

Abstract: Information on the measures taken to prevent the situation of emergency caused by the landslide descent into the Bureya reservoir in December 2018 is given. Assessment of possible flooding settlements and economy objects if the measures to destroy the landslide body are not be taken and analysis of the largest water levels in the reservoir when passing the design floods under the conditions of the closure channel formed in 2019 is not carried out, are given in the article. The plan for information and analytic accompanies of managing the reservoir operation modes under the conditions formed is presented. The plan

secures making optimal and efficient decisions when changing parameters of the closure channel and in cases of new landslide descents.

Keywords: Bureya reservoir, landslide, emergency situation, flow regulation.

Бурейское водохранилище, с полезным объемом 10,697 км³ и объемом форсировки 6,235 км³, имеет комплексное назначение, его водные ресурсы используются для целей энергетики, водного транспорта, водоснабжения населенных пунктов, рекреации. Бурейская ГЭС входит в десятку крупнейших гидроэлектростанций России. Кроме этого, Бурейское водохранилище решает важную для Дальневосточного региона социально-экономическую задачу – борьбу с наводнениями в долинах рр. Бурей и Амур. Регулирование режимов работы водохранилища осуществляется на основании утвержденных Правил использования водных ресурсов Бурейского водохранилища на р. Бурей (далее – ПИВР) [1].

11 декабря 2018 г. в 20 км выше впадения р. Тырма, на крутом левом берегу р. Бурей, в водохранилище сошел крупный оползень, перекрывший его на всю ширину завалом из скального грунта, водохранилище оказалось разделенным на две части (рис. 1).



Рис. 1. Завал в Бурейском водохранилище, после схода оползня: а) вид с правого берега водохранилища (устье р. Средний Сандар); б) вид с верхнего бьефа завала

Оползень в долине р. Бурей – редкое природное явление, прежде всего, вследствие его значительных размеров и смещения в зимнее время. На территории России он является крупнейшим за последние несколько десятков лет.

В ходе проведенных в декабре 2018 г. – январе 2019 г. специалистами ФГБУ «Управление эксплуатации Бурейского водохранилища», ФГБУН «Институт водных и экологических проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук», ФГБУН «Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина Дальневосточного отделения Российской академии наук», ФГБУ «Дальневосточное УГМС» и ООО «Инженерные изыскания ДВ» экспедиционных исследований района схода оползня выполнена геодезическая съёмка, измерены глубины, уровни и скорости потока воды, а также установлены параметры завала. Установлено, что тело оползня состоит из обломков

различного размера – от глинистых и песчаных частиц до монолитных блоков до 12 м в поперечнике. Общий надводный объем горной массы составил 2,974 млн. м³, подводный – 31,017 млн. м³ при площади 27,6 тыс. м². Протяженность завала по гребню 740 метров, при ширине от 180 до 500 метров. Отметка самой низкой точки завала по гребню составила 261,48 м, наибольшей – 300.21 м БС77, и высотой над уровнем воды верхнего бьефа завала на 28 декабря 2018 г. 8,08 и 46,81 м, соответственно. По результатам проведенных гидрологических измерений, фильтрации воды через тело оползня выявлено не было [2].

По состоянию на 20 января 2019 г. снегозапасы в бассейне Бурейского водохранилища составляли 70-105 % от нормы. Приток воды в водохранилище ожидался около нормы [2]. На основе консультаций ФГБУ «Дальневосточное УГМС», Дальневосточным филиалом ФГБУ РосНИИВХ, по заданию Амурского БВУ, были выполнены прогнозные расчеты уровненного режима Бурейского водохранилища на период январь – май 2019 г. Расчеты, выполненные без учета возможного естественного размыва завала, показали (рис. 2), что в случае непринятия мер по разрушению тела оползня и работе Бурейской ГЭС с 11 января со сниженным сбросом 550 м³/с [2], к концу первой декады февраля вода подойдет к с. Чекунда, а к началу июля село будет затоплено полностью. В третьей декаде июня будут затоплены служебные помещения, метеоплощадки, репер геодезической сети озерного поста Г-1 Чекунда. В первой декаде июля начнется затопление автомобильных дорог, оснований опор ЛЭП у с. Эльга, а во второй декаде июля будет затоплено с. Эльга. Возможный размыв тела оползня при напоре более 25 м создаст угрозу безопасности гидротехническим сооружениям Бурейской ГЭС. Отметка уровня мертвого объема Бурейского водохранилища (УМО – 236 м) будет достигнута к началу второй декады апреля (рис. 2), что приведет к нарушению энергообеспечения Объединённой энергетической системы Востока (ОЭС Востока).

Сложившаяся чрезвычайная ситуация требовала разрешения до начала половодья 2019 г. По указанию Президента Российской Федерации с 11 января 2019 г., армейские подразделения Министерства обороны Российской Федерации начали подготовку, а с 22 января проведение взрывных работ по разрушению тела оползня в районе наименьших отметок у левого обрушенного склона.

В условиях неопределенных сроков ликвидации завала, морфометрических и гидравлических параметров будущего прорана, в целях предупреждения истощения водных ресурсов водохранилища и перебоев в энергосистеме

ОЭС Востока, обеспечения требований безопасности сооружений Бурейской ГЭС по предполоводной сработке водохранилища до отметки 236,0 м к третьей декаде апреля, соблюдения сроков ввода в эксплуатацию и наполнения Нижне-Бурейского водохранилища до отметки нормального подпорного уровня, Амурским бассейновым водным управлением, по рекомендации Межведомственной рабочей группы по регулированию режимов работы Бурейского, Нижне-Бурейского и Зейского водохранилищ, с 29 декабря 2018 г. был установлен пониженный сбросной расход Бурейской ГЭС – 600 м³/с, а с 11 января 2019 г. – 550 м³/с.

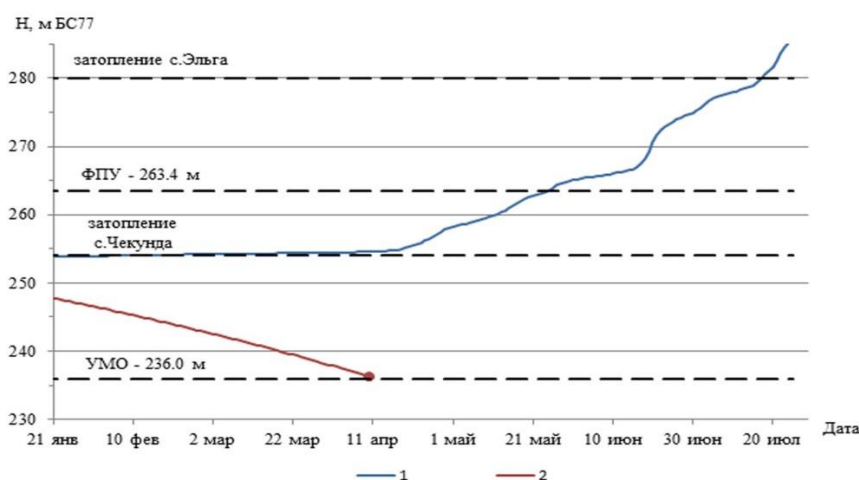


Рис. 2. Ожидаемые в 2019 г. уровни воды верхней (1) и нижней (2) частей разделенного оползнем Бурейского водохранилища, в случае непринятия мер по разрушению тела оползня

1 февраля в запруде был создан проран и восстановлена гидравлическая связь с нижним участком Бурейского водохранилища. К 7 февраля работы по созданию прорана были завершены, проран был расширен до параметров: длина 180 м, ширина по урезу воды – 60 м и средняя глубина – около 2,5 м. С 7 по 14 февраля (рис. 3) наблюдался рост уровня воды у плотины гидроузла: суммарно подъем уровня составил 87 см; средний расход через проран за этот период – 1100 м³/с (максимальный среднесуточный достигал значения 1600 м³/с). С 14 февраля, начиная с отметки 247,13 м, понижение уровня возобновилось и продолжалось по 28 апреля до отметки 236,25 м со средней интенсивностью 15 см в сутки, средний расход через проран за этот период составил 180 м³/с. С 29 апреля начался интенсивный приток талых вод. У с. Чекунда отмечен рост уровня воды; разница отметок верхнего и нижнего бьефов завала достигла максимума и составила 12,4 м. Рост уровня воды в верхнем бьефе завала привел к естественному размыву прорана. В первые дни после размыва прорана, с 4 по 7 мая, уровень в верхнем бьефе завала понизился на 7,28 м, а ниже увеличился на 4,63 м. За трое суток разница от-

меток верхнего и нижнего бьефов завала сократилась до 0,49 м. С 24 мая уровень у плотины Бурейской ГЭС практически сравнялся с уровнем у с. Чекунда, средняя разность отметок составляла 10 см и соответствовала естественному уровненному режиму Бурейского водохранилища.

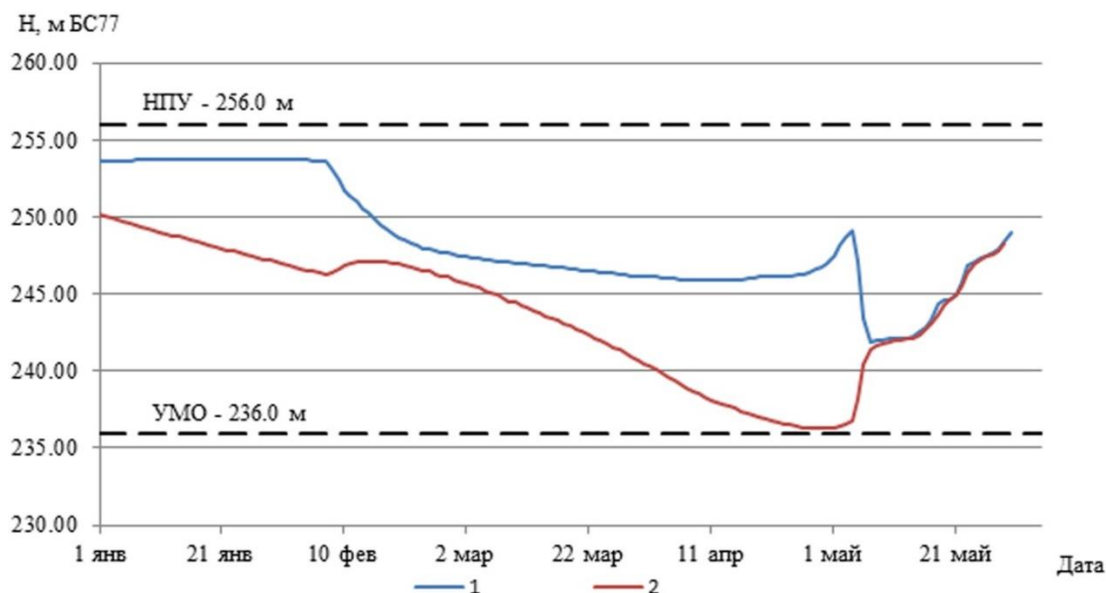


Рис. 3. Уровни воды Бурейского водохранилища в период январь – май 2019 г.:
1 – с. Чекунда; 2 – верхний бьеф (у плотины) Бурейского водохранилища

В зимне-весенний период 2018-2019 гг. после схода оползня, было проведено 7 заседаний Межведомственной рабочей группы по регулированию режимов работы Бурейского, Нижне-Бурейского и Зейского водохранилищ. На заседаниях, на основе оперативных данных о гидрологической обстановке, результатов выездных исследований и проводимых расчетов, вырабатывались рекомендации для установления Амурским бассейновым водным управлением оптимальных режимов работы Бурейского гидроузла.

Таблица 1

Установленные Амурским БВУ режимы работы Бурейского водохранилища

№ пп	Период	Установленный сбросной расход Бурейской ГЭС, м³/с
1	10 ноября – 28 декабря 2018 г.	820 ± 100
2	29 декабря 2018 г. – 10 января 2019 г.	600 ± 100
3	11 января – 08 февраля 2019 г.	550 ± 50
4	09 февраля – 18 февраля 2019 г.	750 ± 50
5	19 февраля – 21 марта 2019 г.	750 ± 50
6	22 марта – 11 апреля 2019 г.	850 ± 50
7	12 апреля – 28 апреля 2019 г.	650 ± 50
8	29 апреля – 10 мая 2019 г.	600 ± 50
9	с 11 мая 2019 г.	850 ± 100

В сложных гидрологических условиях, вызванных образовавшейся в результате схода оползня «запрудой», постоянно изменяющихся параметров прорана, гидроузел работал в соответствии с указаниями Амурского БВУ: были соблюдены требования ПИВР по урону необходимой предполоводной сработки и обеспечен гарантированный уровень выработки электроэнергии Бурейской ГЭС в системе ОЭС Востока.

Выполненная по представленным в ПИВР данным и параметрам прорана, сформовавшегося к третьему кварталу мая, оценка хода уровня воды у с. Чекунда при прохождении расчетных паводков обеспеченностью 1 %, 0,1 % и 0,01 % показала, что в летне-осенний период 2019 г. сохранится угроза возникновения подпора воды в створе завала и превышение установленных ПИВР высших отметок.

Ввиду существующей возможности схода новых оползней в районе завала, постоянных изменений параметров прорана, изменившихся морфометрических и гидравлических характеристик водохранилища, ФГБУ «Управление эксплуатации Бурейского водохранилища» по заданию Амурского бассейнового водного управления была разработана программа, и с мая 2019 г. начата работа по созданию информационно-аналитической основы для принятия обоснованных управленческих решений по комплексному управлению водными ресурсами Бурейского водохранилища. В программу, в том числе, включены следующие основные виды работ:

- разработка математического модуля пропуска паводочных расходов воды через Бурейский гидроузел;

- геодезическая съёмка поперечника по гребню прорана до отметки 280 м; нивелирование продольного уклона водной поверхности на участке г/п с. Чекунда – с. Сектагли и створе прорана; построение связи расходов и уровней в проране в условиях отсутствия подпора со стороны нижней части водохранилища;

- оценка пропускной способности прорана в теле оползня в летне-осенний период 2019 г.;

- определение оптимальной отметки нижней границы резервной емкости водохранилища, при которой в период прохождения паводков в 2019 г. возможное затопление населенных пунктов в верхней части будет наименьшим (разработка диспетчерских условий работы Бурейского водохранилища);

- расчет выклинивания подпора в хвостовой части Бурейского водохранилища при прохождении паводков расчетных обеспеченностей в условиях подпора от нижней части водохранилища с учетом пропускной способности прорана в створе оползня;

– выполнение водохозяйственных расчетов по разработанным диспетчерским условиям работы Бурейского водохранилища;

– подготовка программ гидрологического мониторинга и оценки степени влияния подпора при различных горизонтах водной поверхности.

Итоги пропуска весеннего половодья 2019 г. показали высокую эффективность инженерных мер по созданию прорана в теле оползня и принятых решений по регулированию режимов работы Бурейской ГЭС; обоснованность выполненных водохозяйственных расчетов. Принятые меры позволили предотвратить возникновение чрезвычайной ситуации, связанной с затоплением населенных пунктов и объектов экономики, обеспечить гарантийный уровень выработки электроэнергии Бурейсой ГЭС и стабильную работу Объединённой энергетической системы Востока. Реализуемый Амурским бассейновым водным управлением комплекс исследовательских работ позволит в 2019 г. создать информационно-аналитическую основу для установления оптимальных режимов работы водохранилища при изменении параметров созданного прорана и в случаях схода новых оползней.

Список литературы

1. Приказ Росводресурсов от 07.09.2018 г. № 187 "Об утверждении Правил использования водных ресурсов Бурейского водохранилища на р. Бурее".
2. Протоколы заседаний Межведомственной рабочей группы по регулированию режимов работы Бурейского, Нижне-Бурейского и Зейского водохранилищ: № 08/18 от 28.12.2018 г.; № 01/19 от 23.01.2019 г.; № 02/19 от 08.02.2019 г.; № 03/19 от 18.02.2019 г.; № 04/19 от 21.03.2019 г.; № 05/19 от 11.04.2019 г.; № 06/19 от 14.05.2019 г. Режим доступа: <http://amurbvu.ru/642-mezhvedomstvennaya-rabochaya-gruppa-poregulirovaniyu-rezhimov-raboty-bureyskogo-i-zeyskogo-vodohranilisch.html> (дата обращения 30.05.2019).

© Макаров А.В., Неров И.О., 2019

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БОКОВОГО ПРИТОКА ВОДЫ В СРЕДНЕКАНСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

Макарьева О.М.^{1,2}, Виноградова Т.А.², Нестерова Н.В.^{2,3}, Осташов А.А.²

¹Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, г. Якутск

²Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

³Государственный гидрологический институт, г. Санкт-Петербург

E-mail: omakarieva@gmail.com

Аннотация. Представлены результаты моделирования бокового притока воды в Среднеканское водохранилище в бассейне р. Колыма. Для расчетов использована распределённая детерминированная модель процессов формирования стока Гидрограф. Параметризация модели проведена на основе данных наблюдений на Колымской

водно-балансовой станции. Результаты моделирования гидрографов стока 4-х рек с площадью водосбора от 740 до 13600 км² в бассейне р. Колыма оценены как удовлетворительные: критерий Нэша-Сатклиффа составляет 0,53-0,67. Предложенная схема расчета может быть использована для оперативного прогноза притока воды в бассейне р. Колыма.

Ключевые слова: Среднеканское водохранилище, гидрологическая модель Гидрограф, горная криолитозона, прогноз притока воды, изменения климата.

MATHEMATICAL MODELLING OF LATERAL WATER INFLOW TO THE SREDNEKANSK RESERVOIR

Makarieva O.M.^{1,2}, Vinogradova T.A.², Nesterova N.V.^{2,3}, Ostashov A.A.²

¹Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk

²Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg

³State Hydrological Institute, Saint-Petersburg

E-mail: omakarieva@gmail.com

Abstract. The results of the lateral water in flow modeling for the Srednekansk reservoir in the Kolyma River basin are presented. The distributed deterministic Hydrograph model is used for the simulation of runoff formation processes. Parameterization of the model was carried out on the basis of Kolyma water-balance station observations. The modeling results for four rivers with a catchment area from 740 to 13600 km² at the Kolyma River basin are estimated as satisfactory: the Nash-Sutcliffe coefficient is 0.53-0.67. The proposed calculation scheme can be used for the operational forecast of water inflow at the Kolyma River basin.

Keywords: Srednekansk reservoir, hydrological model Hydrograph, mountainous cryolithozone, water inflow forecast, climate changes.

Введение

Многочисленные исследования показывают увеличение общего стока воды арктических рек, смещение сроков половодий на более раннее время и существенные изменения во внутригодовом распределении стока, например [1]. Сложность взаимодействия процессов тепло- и влагопереноса в арктических ландшафтах обуславливают нелинейность реакции гидрологического цикла на климатические изменения, наблюдаемые в Арктике в настоящее время. С неизученностью механизмов, которые приводят к наблюдаемым изменениям речного стока в арктической зоне, связана неопределенность прогнозов характера гидрологических изменений в будущем. Прогноз и оценка изменений гидрологических режима и характеристик стока осложняется крайне недостаточным освещением территории данными наблюдений [2]. В условиях огромных и сложно доступных территорий представляется, что будущее любых гидрологических расчетов и прогнозов связано с использованием математических моделей формирования стока. Многие авторы [3, 4] также подчеркивают необходимость использования гидрологических моделей для

решения научно-прикладных задач, в том числе связанных с регулированием и управлением водными ресурсами и при решении задач водохозяйственного проектирования. Так, например, использование гидрологической модели ЕСОМАГ позволило произвести расчеты речного стока бассейнов Ангаро-Енисейского, Волжско-Камского каскадов, Зейского и Бурейского водохранилищ [3, 4].

Целью настоящего исследования является моделирование гидрографов бокового притока воды к водохранилищу Среднеканской ГЭС с водосборного бассейна ниже Колымской ГЭС площадью 37700 км². Были решены задачи параметризации и верификации гидрологической модели Гидрограф в условиях недостаточного обеспечения, а также рассчитан многолетний баланс территории исследования, и построена кривая максимальных расходов суточного притока воды.

Гидрологическая модель Гидрограф

Основой исследования является детерминированная распределенная модель формирования стока Гидрограф [5, 6]. Модель Гидрограф содержит в себе алгоритмы, описывающие динамику тепла и влаги в почвенном профиле в явном виде. Использование в качестве входной информации ограниченного числа метеорологических переменных (температура и влажность воздуха, осадки) позволяет рассчитывать сток на малоизученных бассейнах. Результатами моделирования являются не только сток воды в замыкающем створе, но и распределенные переменные состояния ландшафтов – характеристики снежного покрова, температура и влажность почвы на разных глубинах, глубина протаивания и промерзания, глубина залегания грунтовых вод и др., что позволяет проводить многокритериальную валидацию результатов расчетов на их соответствие наблюдаемым процессам и явлениям.

Для оценки параметров в пределах исследуемых бассейнов выделяются однородные природные зоны, так называемые стокоформирующие комплексы (СФК), по которым производится систематизация параметров модели. СФК – часть территории речного бассейна, условно однородная по свойствам ландшафта и единообразно функционирующая в гидрологическом плане. Предполагается, что все параметры модели характеризуют СФК, в целом, неизменны в его пределах и скачкообразно изменяются на его границах. Разнообразие почвенно-растительного покрова в сочетании с рельефом создают условия формирования стока воды. Для выделения СФК проводится анализ сочетаний различных типов почвы, растительности и топографических

условий. Для каждого выделенного СФК строится типичный профиль подстилающей поверхности, свойства которого изменяются по глубине от поверхности растительного покрова до 1-3 м глубины почвенной колонки [8].

Параметры модели представляют собой физические свойства почв и растительности, которые могут быть измерены в полевых условиях или оценены на основе описания ландшафтов и их характеристик. Именно поэтому, при использовании модели Гидрограф калибровка параметров сводится к минимуму или совсем не требуется [7]. Это свойство модели Гидрограф позволяет применять ее в задаче оценки изменений как гидротермического режима деятельного слоя, так и гидрологического режима бассейнов рек.

Объекты исследования и параметризация гидрологической модели

Параметризация и верификация модели Гидрограф проводилась на основе данных четырех речных бассейнов в пределах водосборной площади водохранилища (рис. 1, табл. 1). Площадь объектов моделирования составляет от 740 до 13300 км². Все исследуемые водосборы являются малоизученными, поскольку они слабо или совсем не освещены метеорологической информацией, отсутствуют подробные карты и описания условий формирования стока, не проводилось никаких специальных измерений на их территории. В работе использовались суточные данные по осадкам, температуре воздуха и количеству осадков с 10 метеорологических станций.

В ранее опубликованных работах [8, 9] верификация модели Гидрограф была проведена для малых исследовательских водосборов Колымской водно-балансовой станции (КВБС) [10]. Были выделены четыре СФК – гольцы (каменные осыпи), заросли кедрового стланика, мохово-лишайниковое редколесье и лиственничный лес – и определены их параметры. В настоящей работе все параметры, относящиеся к СФК (почвы, растительности, распределения снежного покрова), переносились с малых исследовательских водосборов КВБС без изменений и не калибровались при моделировании средних и крупных речных бассейнов. При моделировании гидрографов стока на отдельных водосборах вводились корректирующие коэффициенты к осадкам и параметру снеготаяния, полученные на основе анализа данных метеорологических наблюдений.

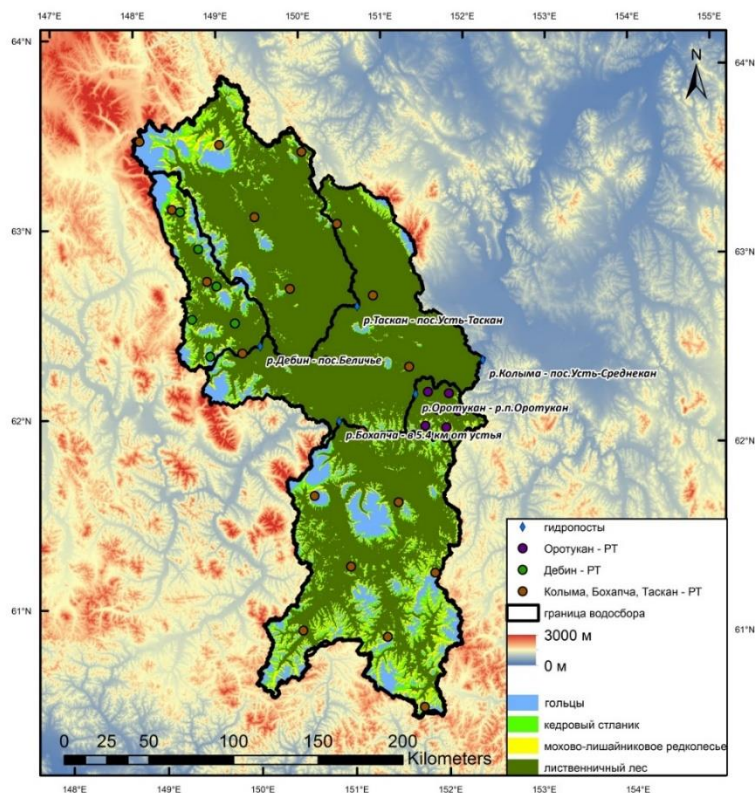


Рис. 1. Схема бассейна Среднеканского водохранилища

Таблица 1

Основные результаты моделирования на реках в бассейне Среднеканского водохранилища

Река – створ	Показатели*					
	S	Y _o	Y _s	P	E	NS
р. Оротукан - р.п. Оротукан	740	293	363	447	154	0,67
р. Дебин - пос. Беличье	3460	271	278	384	113	0,53
р. Таскан - пос. Усть-Таскан	9970	251	215	348	97	0,53
р. Бохапча - в 5.4 км от устья	13600	349	287	474	125	0,66

*S – площадь водосбора, км²; Y_o и Y_s – наблюдаемый и рассчитанный среднемноголетний годовой слой стока, мм; P, E – рассчитанные осадки и испарение, мм; NS – среднее значение критерия Нэша-Сатклиффа.

Результаты моделирования

Моделирование суточных гидрографов стока проведено за период 1966-2012 гг. Для расчетов использована комплексная программа распределенной гидрологической модели «Гидрограф» [6]. Приведены средние значения рассчитанных элементов водного баланса и критериев эффективности моделирования. Средний слой стока составил 250-350 мм, величина испарения изменяется от 100 до 150 мм в год, в зависимости от высоты водосбора и характерных ландшафтов. Среднее значение критерия Нэша-Сатклиффа варьирует от 0,53 до 0,67, что позволяет оценить результаты моделирования стока как

удовлетворительные. Примеры сопоставления рассчитанных и наблюдаемых гидрографов стока приведены на рис. 2.

Удовлетворительные результаты моделирования стока воды на четырех водосборах в различных частях бассейна Среднеканского водохранилища позволяют предположить, что качество моделирования общего бокового притока воды к водохранилищу будет не ниже.

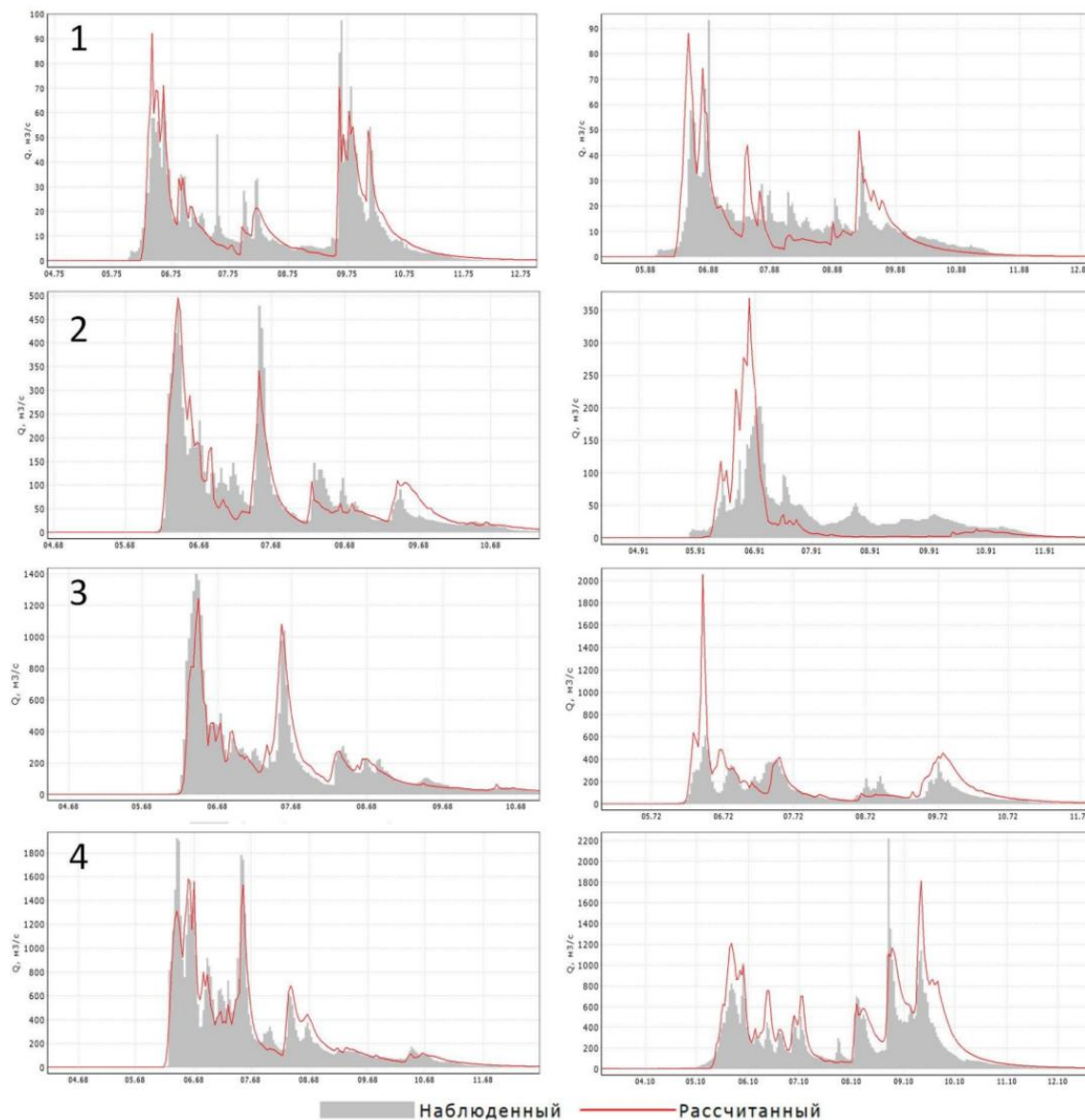


Рис. 2. Примеры рассчитанных и наблюдаемых гидрографов стока рек в бассейне Среднеканского водохранилища:

1 – р. Оротукан, 2 – р. Дебин, 3 – р. Таскан, 4 – р. Бохапча

В рамках исследования проведен расчет суточных гидрографов бокового притока воды к Среднеканскому водохранилищу за период 1966-2012. Среднегодовое количество бокового притока за период расчета составил 10 км^3 , в 1991 и 2011 гг. наблюдались его минимальные и максимальные значения – $5,5$ и $13,4 \text{ км}^3$, соответственно. На рис. 3 представлена рассчитанная на основе результатов моделирования кривая обеспеченности максимальных

расходов воды. Максимальный расход 1 % обеспеченности оценивается около 4650 м³/с.

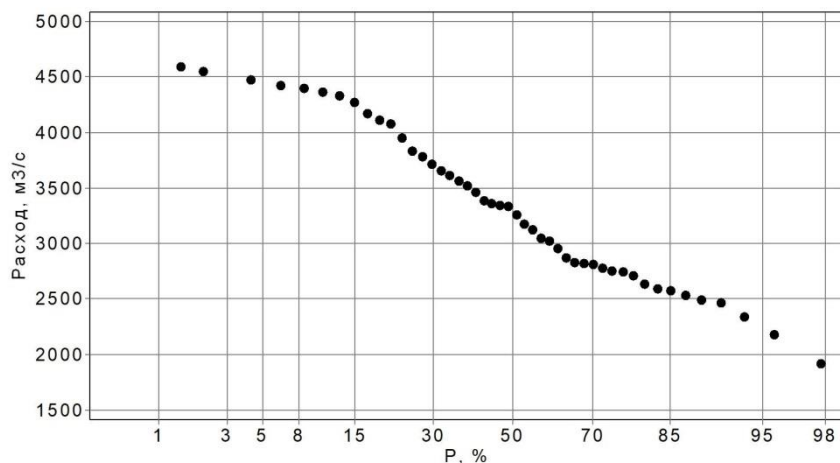


Рис. 3. Рассчитанная кривая обеспеченности максимальных расходов бокового притока воды в Среднеканское водохранилище

Заключение

В условиях изменения климата и крайней недостаточности данных наблюдений подчеркивается необходимость использования метода математического моделирования при решении задач водохозяйственного проектирования. Произведен расчет бокового притока воды в Среднеканское водохранилище в бассейне р. Колыма за период 1966-2012 гг. Удовлетворительные результаты моделирования гидрографов стока четырех рек в бассейне водохранилища с наличием данных наблюдений позволили оценить объем бокового притока за расчетный период, а также построить кривую обеспеченности максимальных расходов.

Таким образом, продемонстрирован альтернативный стандартным методам расчета подход для получения гидрологических характеристик стока в створе водохранилища, который может быть использован для оперативного прогноза притока воды в бассейне р. Колыма.

Список литературы

1. Makarieva, O., Nesterova, N., Post, D. A., Sherstyukov, A., and Lebedeva, L.: Warming temperatures are impacting the hydrometeorological regime of Russian rivers in the zone of continuous permafrost // *The Cryosphere* 2019. Vol. 13. P.1635-1659. <https://doi.org/10.5194/tc-13-1635-2019>.
2. Макарьева О.М., Нестерова Н.В., Бельдиман И.Н., Лебедева Л.С. Актуальные проблемы гидрологических расчетов в арктической зоне Российской Федерации и сопредельных территориях распространения многолетней мерзлоты // *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2018.Т. 64. № 1 (115). С. 101-118. doi:10.20758/0555-2648-2018-64-1-101-118.

3. Мотовилов Ю.Г., Бугаец А.Н., Гарцман Б.И., Гончуков Л.В., Калугин А.С., Лупаков С.Ю., Морейдо В.М., Сучилина З.А., Фингерт Е.А. Моделирование формирования стока в бассейне р.Уссури на базе модели ЕСОМАГ // Водные ресурсы: новые вызовы и пути решения. Сб. науч. тр.: посвящ. Году экологии в России и 50-летию Института водных проблем РАН. / Ин-т водных проблем Рос. Акад. наук, Рос. информ.-аналит. и науч.-исслед. водохоз. центр. 2017. С. 247-252.
4. Мотовилов Ю.Г., Попова Н.О. Моделирование поля нормы речного стока (на примере бассейна р.Камы) // Водные ресурсы: новые вызовы и пути решения. Сб. науч. тр.: посвящ. Году экологии в России и 50-летию Института водных проблем РАН. / Ин-т водных проблем Рос. акад. наук, Рос. информац.-аналит. и науч.-исслед. водохоз. центр. 2017. С. 90-95.
5. Виноградов Ю.Б. Математическое моделирование процессов формирования стока (опыт критического анализа). Л.: Гидрометеиздат, 1988.
6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018619084 «Комплексная программа распределенной гидрологической модели “Гидрограф”», правообладатель О.М. Макарьева, дата регистрации 30.07.2018 г.
7. Виноградов Ю.Б., Семенова (Макарьева) О.М., Виноградова Т.А. Гидрологическое моделирование: метод расчета динамики тепловой энергии в почвенном профиле. Ч. 1. // Криосфера Земли. 2015. Т. XIX. № 1. С. 11-21.
8. Лебедева Л.С., Семенова (Макарьева) О.М., Виноградова Т.А. Расчет глубины сезонно-талого слоя в условиях различных ландшафтов Колымской водно-балансовой станции в задаче гидрологического моделирования (Ч. 2) // Криосфера Земли. 2015.Т. XIX. № 2. С. 35–44.
9. Лебедева Л.С., Макарьева О.М., Виноградова Т.А. Особенности формирования водного баланса горных водосборов северо-востока России (на примере Колымской водно-балансовой станции) // Метеорология и гидрология. 2017. № 4. С. 90-101. <https://elibrary.ru/item.asp?id=28965999>.
10. Makarieva O., Nesterova N., Lebedeva L., and Sushansky S., 2018. Water balance and hydrology research in a mountainous permafrost watershed in upland streams of the Kolyma River, Russia: a database from the Kolyma Water-Balance Station, 1948–1997 // Earth System Science Data. Vol. 10. No. 2. P. 689-710. <https://doi.org/10.5194/essd-10-689-2018>.

© Макарьева О.М., Виноградова Т.А., Нестерова Н.В.,
Осташов А.А., 2019

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ПРАВИЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОЗЕРНЫХ КАСКАДОВ ВОДОХРАНИЛИЩ

Смирнова Л.Я., Белковский В.М.
ООО «Ленводпроект», г. Санкт-Петербург
E-mail: lenvodproekt@gmail.com

Аннотация. В статье приведены некоторые результаты анализа каскадов озерных водохранилищ Фенноскандии, выявлены их характерные особенности, которые следует учитывать при разработке правил использования водохранилищ в северной климатической зоне.

Ключевые слова: водохранилище, река, озеро, уровень воды, регулирование.

FEATURES OF DEVELOPING RULES FOR USING THE RESERVOIR LAKE CASCADES

Smirnova L.Y., Belkovskii V.M.
LLC "LENVODPROEKT", Saint-Peterburg

Abstract. This article discusses some of the results of analyses of Fennoscandia cascades of like reservoirs identified by their characteristics features which should be taken into account when drafting the rules of reservoirs use in the Northern climatic zones.

Keyword: reservoir, river, lake, water level, regulation.

Российская часть физико-географической страны Фенноскандия включает Мурманскую область, Карелию, частично Архангельскую, Вологодскую и Ленинградскую области. Водохранилища этого региона во многом отличаются от водохранилищ остальной части России, что обусловлено выходом на поверхность твердых кристаллических докембрийских пород Балтийского щита, наличием водоупорных морских отложений палеозоя, пересеченным рельефом, высокой водностью рек (при осадках 500-600 мм/год потери на испарение и фильтрацию невелики).

Пересекая уступы кристаллических пород, реки образуют здесь многочисленные пороги и водопады. Возникшие во впадинах тысячи озер привели к значительной естественной зарегулированности стока рек, которую легко повысить, используя озерные котловины для создания водохранилищ. Водохранилища в регионе создавались для целей энергетики, судоходства, лесосплава. На карте-схеме (рис. 1) показано расположение водохранилищ и гидроузлов на реках рассматриваемого региона.

В условиях Северо-Запада России значительное число водохранилищ по своему генезису относятся к озерам-водохранилищам, созданным путем подпора и искусственного регулирования естественных озер. Такое регулирование достигается устройством плотины на реке, вытекающей из проточного озера. Чаще всего озера-водохранилища играют роль поставщика воды для нижележащих водохранилищ каскада.

Целый ряд гидроузлов находится на водотоках на значительном расстоянии от их истока из озера, но озерный сток является для них главной составляющей водного баланса. Примерами таких объектов являются: каскад Вуоксинских ГЭС, получающих воду из оз. Сайма в Финляндии, и каскад Свирских ГЭС – из Онежского озера и др. Однако бывают более сложные системы озерных водохранилищ.

Река Кемь является крупнейшей озерно-речной системой Республики Карелия. Площадь её водосбора составляет 27700 км². Бассейн расположен в северной части Карельского гидрографического района.

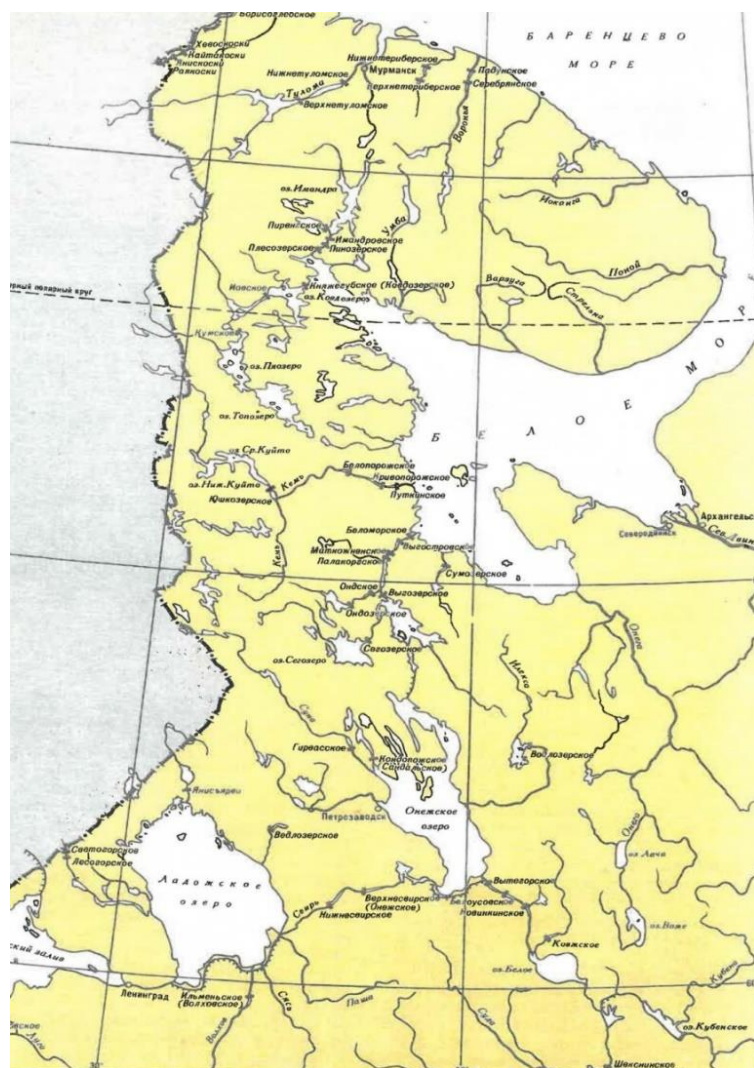


Рис. 1. Схема расположения водохранилищ на территории Финноскандии

Водохранилища каскада на р. Кемь - Юшкозерское, Кривопорожское, Подужемское, Путкинское – образованы путем создания подпора воды плотинами ГЭС. В настоящее время между Юшкозерской ГЭС и Кривопорожской ГЭС строится Белопорожская ГЭС. Схема расположения гидроузлов и продольный профиль по каскаду представлены на рис. 2 и 3.

Основным регулятором стока в каскаде Кемских ГЭС является Юшкозерское водохранилище, регулирующее около 40 % стока р. Кемь.

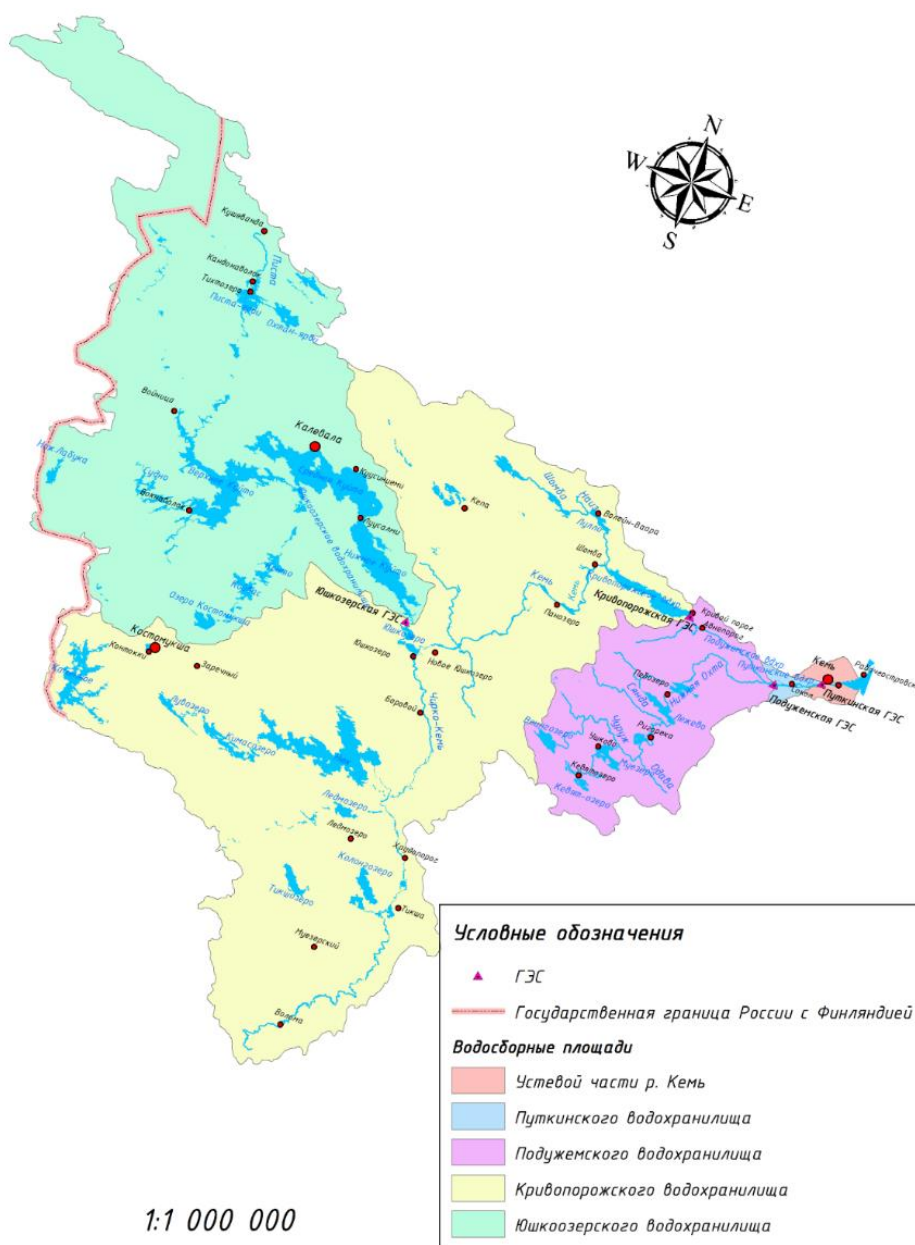


Рис. 2. Схема расположения плотин ГЭС на р. Кемь

Юшкозерское водохранилище разместилось в чашах озер Нижнее и Среднее Куйто. Проектная отметка НПУ водохранилища Юшкозерской ГЭС составляет 103,00 м. Наполнение до НПУ производится только в средние по водности и в многоводные годы. Созданный в весенний паводок запас воды Юшкозерского водохранилища служит для работы нижележащих ГЭС (суточного и недельного регулирования) в меженный период.

Для нижнего бьефа Юшкозерской ГЭС характерны колебания уровней на отметках 89,50-92,50 м. Режим работы Юшкозерской ГЭС устанавливается таким образом, чтобы не допустить превышение неблагоприятной отметки 91,00 м БС для водомерного поста на р. Чирко-Кемь в д. Юшкозеро с целью предотвращения затоплений в деревне.

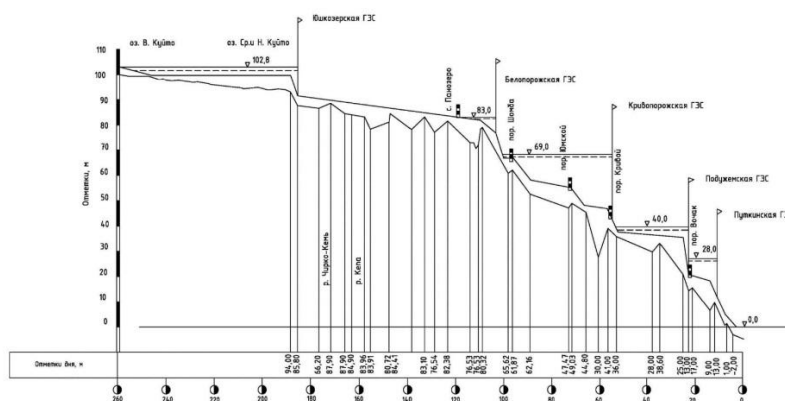


Рис. 3. Продольный профиль каскада водохранилищ на р. Кемь при прохождении максимальных расходов

При паводках и половодьях Юшкзерское водохранилище работает на минимальном стоке, вплоть до полной остановки агрегатов для обеспечения пропуска высоких вод по главному притоку р. Чирко-Кемь. Ход ежедневных уровней в Юшкзерском водохранилище и на р. Кемь (д. Юшкозеро), а также сбросные расходы Юшкзерской ГЭС в 2010 г. показаны на рис. 4.

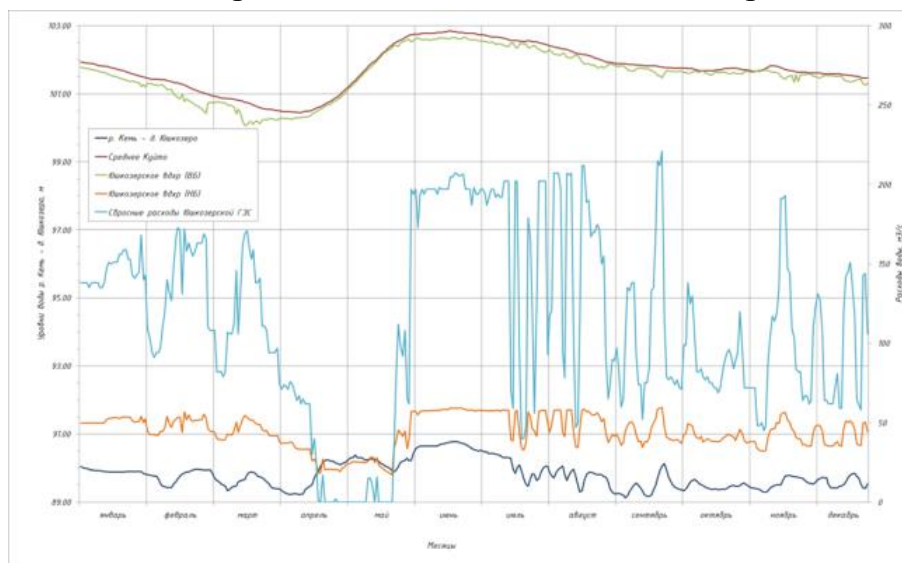


Рис. 4. Ход ежедневных уровней в Юшкзерском водохранилище и на р. Кемь (д. Юшкозеро) и сбросные расходы Юшкзерской ГЭС, 2010 г.

Наиболее сложное регулирование озер осуществлено в каскаде водохранилищ на р. Ковда, который делится между Карелией и Мурманской областью. Каскад состоит из трех гидроэлектростанций и еще нескольких плотин на озерах для перенаправления стока в основные озерные водохранилища каскада – Кумское, Иовское и Княжегубское, созданные на базе естественных озёр:

– Кумское водохранилище образовано подпором озер Топозеро, Пяозеро, Кундозеро, соединенных рр. Софьянга и Кундозерка;

- Иовское – подпором озер Сокозеро, Ругозеро, Сушозеро, соединенных рр. Кума, Ругозерка, Ковдочка;
- Княжегубское – подпором озер Ковдозеро, Нотозеро, Пажма, Сенное, соединяемых рр. Иова, Кота, Лопская.

Водохранилище Кумской ГЭС является верхним регулирующим в каскаде водохранилищ на р. Ковда, осуществляет многолетнее и сезонное компенсирующее регулирование стока. Общая схема расположения водохранилищ Ковдинского каскада и продольный профиль р. Ковда показаны на рис. 5.

С 1965 г. в Иовское водохранилище осуществляется переброска стока озер Таванд и Толванд. План переброски стока из озер Таванд и Толванд в Иовское водохранилище представлен на рис. 6.

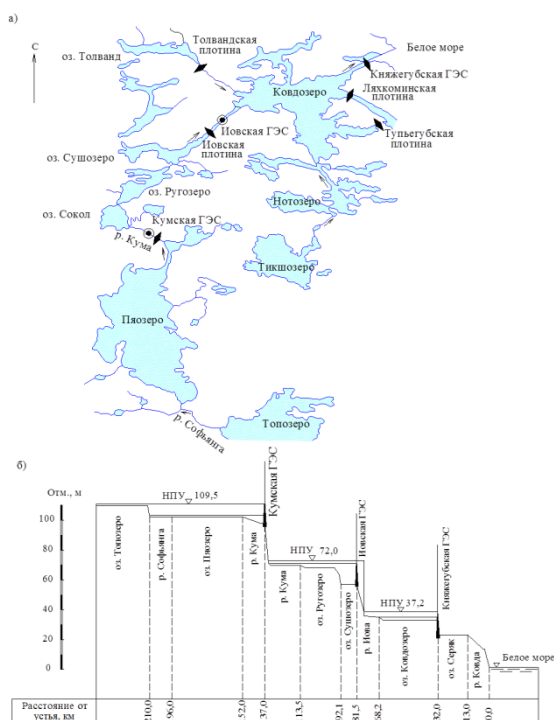


Рис. 5. Проектная схема водохранилищ и продольный профиль Ковдинского каскада

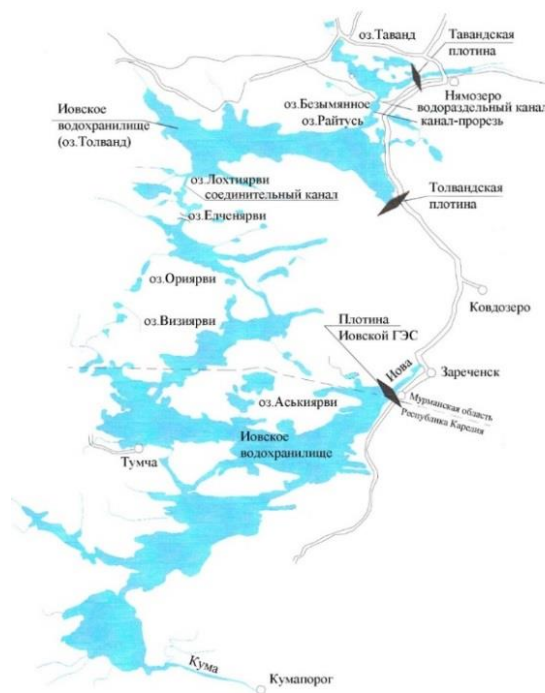


Рис. 6. План переброски стока озер Таванд и Толванд в Иовское водохранилище

Ляхкоминская и Тупьегубская плотины перегораживают протоки старого русла р. Ковда, обеспечивая подпор Ковдинского водохранилища.

В отдельные периоды уровни самого верхнего озера каскада Топозера могут быть ниже оз. Пяозеро, что объясняется большей площадью водосбора Пяозера, принимающего в периоды половодья сток довольно крупной реки, поступающий с территории Финляндии. При этом р. Софьянга может менять направление течения.

Каскад из двух Серебрянских ГЭС на р. Воронья использует 143 из 153 м падения и практически весь сток реки, протекающей в меридиональном направлении из оз. Ловозеро в Баренцево море. Схема расположения водохранилищ приведена на рис. 7, продольный профиль р. Воронья – на рис. 8.

Водоохранилище Серебрянской ГЭС-1 образовано подпором р. Воронья, который при наполнении водохранилища до НПУ распространяется на Ловозеро. Сток Ловозера собирается целой цепочкой озер.



Рис. 7. Схема расположения водохранилищ Серебрянских ГЭС

При снижении уровня руслового водохранилища до отметки 153,5 м Ловозеро работает как самостоятельный водоем, его сработка ограничена пропускной способностью русла в истоке р. Воронья.

Водоохранилище Серебрянской ГЭС-1 – основной регулятор стока р. Воронья, контролирует 84 % стока, осуществляет годовое (неглубокое многолетнее), а также недельное и суточное регулирования расходов реки для каскада ГЭС.

Водоохранилище Серебрянской ГЭС-2 образовано плотиной гидроузла, подпор от которой распространяется до нижнего бьефа Серебрянской ГЭС-1.

Учитывая, что водохранилище Серебрянской ГЭС-1 имеет ярко выраженную речную и озерную части, в качестве характерных уровней в Правила использования включены уровни воды у плотины гидроузла и уровни воды в озерной части водохранилища.

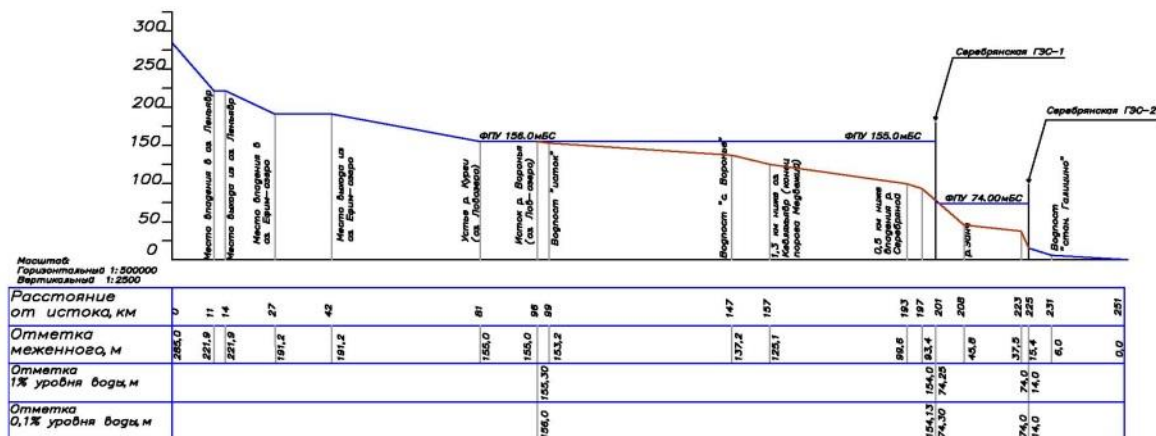


Рис. 8. Продольный профиль р. Воронья

Несмотря на некоторые сложности регулирования стока озер-водохранилищ, они имеют определенные преимущества, по сравнению с русловыми и долинными водохранилищами:

- озера-водохранилища используют только приточную часть стока, сохраняя, резервируя основной объем озера – вековые запасы;
- при незначительном подпоре и небольшой площади затопления озера-водохранилища позволяют аккумулировать большой объем воды;
- в озерах-водохранилищах зона постоянного затопления остается практически без изменения, зоны периодического и эпизодического затопления при прохождении паводков и половодий также близки или даже существенно меньше затоплений в естественных условиях высокой водности;
- заметного повышения грунтовых вод и изменения гидрогеологического режима вокруг озерных водохранилищ не наблюдается;
- переформирование берегов происходит большей частью в рамках естественных процессов;
- на изменение климата озерные водохранилища не оказывают влияния;
- существенного воздействия на социально-экономические условия каскады озер-водохранилищ, расположенных, как правило, в малонаселенной местности, не оказывают;
- водохранилища имеют низкую биологическую продуктивность из-за умеренно прохладного климата и бедности биогенными веществами. Ущерб природным комплексам и водным биоресурсам минимален.

Список литературы

1. Проект Правил использования водохранилищ на реке Кемь (Юшкозерского, Кривопорожского, Подужемского, Путкинского). СПб. Ленводпроект, 2016. 281 с.
2. Проект Правил использования водохранилищ Ковдинского каскада (Кумского, на озере Таванд, на озере Толванд, Иовского, Князегубского). СПб. Ленводпроект, 2016. 248 с.
3. Проект Правил использования каскада водохранилищ Серебрянских ГЭС (ГЭС на реке Воронья - Серебрянское ГЭС-1, Серебрянское ГЭС-2), Мурманской области., СПб. Ленводпроект, 2016. 186 с.
4. Авакян А.Б. [и др.] Водохранилища. М.: Мысль, 1987. 325 с.
5. Вода России. Водохранилища / под ред. А.М. Черняева; ФГУП РосНИИВХ, Екатеринбург: Изд-во «АКВА-ПРЕСС», 2001. 700 с.

© Смирнова Л.Я., Белковский В.М., 2019

ВОДОХРАНИЛИЩА В ТРАНСГРАНИЧНОМ БАССЕЙНЕ Р. УРАЛ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ

Падалко Ю.А.

Институт степи Уральского отделения РАН, Оренбург
E-mail: yuradalko@gmail.com

Аннотация. Рассмотрено современное состояние и использование водохранилищ в бассейне р. Урал. Приведены анализы ретроспективных проектов по строительству гидротехнических сооружений, а также современные тенденции в развитии водного хозяйства в смежных регионах трансграничного речного бассейна. Показаны основные проблемы в управлении водохранилищами и даны предложения по их решению.

Ключевые слова: бассейн р. Урал, трансграничные водные ресурсы, водохранилища.

RESERVOIRS IN THE TRANSBOUNDARY BASIN OF THE URAL RIVER: CURRENT STATE AND PROBLEMS

Padalko Yu.A.

Institute of Steppe of Ural Branch RAS, Orenburg

Abstract. The current state and use of reservoirs in basin of the Ural River basin are considered. An analysis of retrospective projects for the construction of hydraulic structures, as well as current trends in the development of water management in adjacent regions of the transboundary river basin, is presented. The main problems in reservoir management are shown and proposals for their solution are given.

Keywords: Ural River basin, transboundary water resources, reservoirs.

Сток р. Урал подвержен значительным сезонным и многолетним колебаниям. Покрытие дефицита воды и гарантированное водообеспечение хозяйства осуществляется с помощью многочисленных водохранилищ и прудов.

Водохранилища аккумулируют до 1/3 среднегодового стока р. Урал. В самые маловодные годы с обеспеченностью стока 75 % и 95 % их полный объем может составлять 1/2 или почти соответствовать годовому стоку реки. В многоводье, при весеннем половодье и редких летних паводках, водохранилища сдерживают негативное воздействие вод и затопление селитебных территорий.

Крупные водохранилища сосредоточены в верхней части речного бассейна. На р. Урал расположено 3 долинно-русловых водохранилища и около десятка небольших на основных притоках (рис. 1). Одним из первых в 1931 г. был построен Заводской пруд (Магнитогорское водохранилище – 189 млн. м³) для водоснабжения Магнитогорского металлургического комбината. Затем, для устойчивого водообеспечения развития хозяйства и регулирования Заводского пруда, было построено Верхнеуральское водохранилище объемом 601 млн. м³ [1]. В настоящее время они функционируют в каскадном режиме. Верхнеуральское водохранилище обеспечивает работу небольшой ГЭС в плотине и используется для орошения, рекреации и рыбного хозяйства.

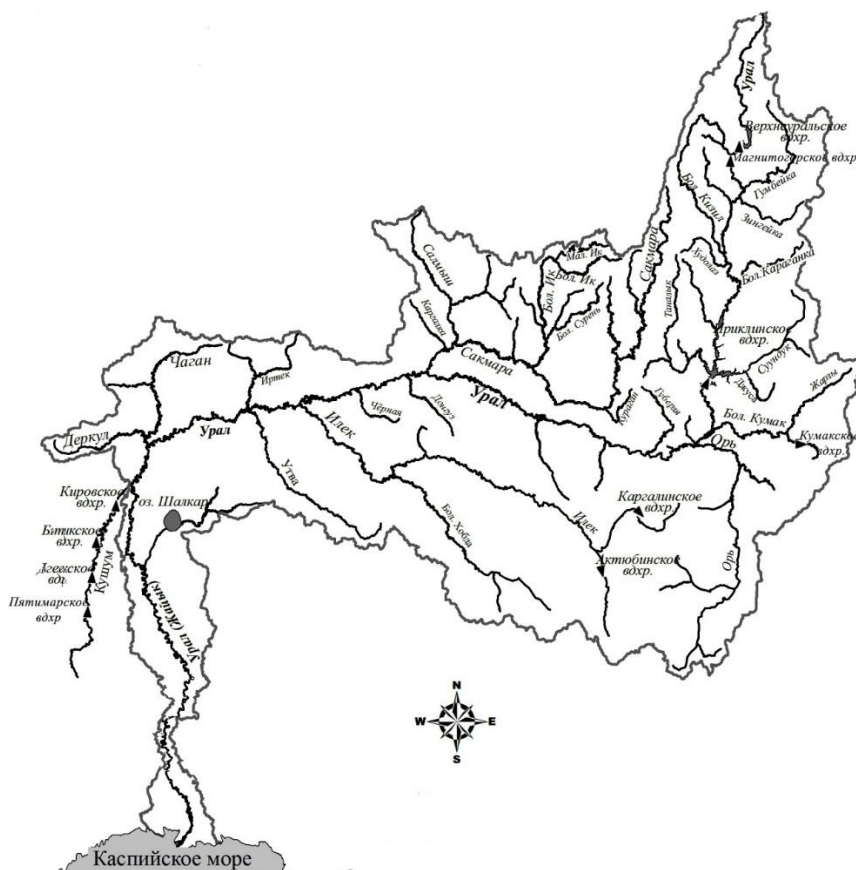


Рис. 1. Карта-схема бассейна р. Урал с сетью крупных водохранилищ

Самое крупное Ириклинское водохранилище заполнено в 1959-1966 гг. Полный объем водохранилища составляет 3260,0 млн. м³, а полезный (объем) – 2750,0 млн. м³. При НПУ площадь водного зеркала составляет 260 км². Средняя глубина – 12,5 м, максимальная у створа – 38 м. В настоящее время водохранилище выполняет главную роль в водном хозяйстве региона для целей водоснабжения, энергетики (Ириклинская ГРЭС с установленной электрической мощностью 2460 МВт (в т.ч. 30 МВт – ГЭС), защиты от наводнений гг. Орск, Новотроицк и Оренбург, орошения, рыбного хозяйства и регулирования качества воды [1, 3].

В среднем течении на р. Урал русловых водохранилищ нет, но на притоках создано значительное их количество. Наибольшего объема водохранилища расположены на территории Республики Казахстан на р. Илек (Актюбинское – 245 млн. м³) и его притоке р. Каргалы (Каргалинское – 280 млн. м³). В 2012 г. Построено водохранилище Ойсылкара (22 млн. м³) на одноименном притоке возле г. Хромтау. Основное назначение ГТС в этой части бассейна – хозяйственно-питьевое водоснабжение гг. Актюбе и Хромтау Актюбинской области, орошение и рекреация [3, 4].

В российской части бассейна среднего течения р. Урал насчитывается около 100 гидротехнических сооружений (объемом более 1 млн. м³) и около 1000 прудов на территории Оренбургской области и Республики Башкортостан. Их суммарный полный объем при НПУ составляет 0,5 км³. Наибольшая концентрация ГТС с целью резервирования вод отмечается в восточных и южных районах, что обусловлено климатическими и гидрогеологическими особенностями территории, где при малом количестве осадков испаряемость высокая, а покрытие недостатков в водопотреблении за счет использования ресурсов подземных вод затруднено вследствие их значительной минерализации (более 1 г/л) (табл. 1).

В нижнем течении р. Урал соединена с Урало-Кушумской оросительно-обводнительной системой, представляющей собой каскад водохранилищ, связанных пятью открытыми магистральными каналами. Система введена в эксплуатацию в 1974 г. для регулярного орошения 12985 га, 97635 га – лиманного орошения и обводнения пастбищ площадью 2177 тыс. га. Каскад включает 4 водохранилища: Битикское (106 млн. м³), Кировское (63 млн. м³), Донгулское (51,3 млн. м³), Пятимарское (33 млн. м³). В настоящее время система функционирует не на полную мощность, но ежегодно в неё из р. Урал поступает около 700 млн. м³ стока [3].

Таблица 1

Соотношение ресурсов речного и суммарного объёма по регионам бассейна р. Урал [1, 3]

Регион	Общие ресурсы речного стока, км ³ /год	Доля стока р. Урал в общих ресурсах речного стока, %	Суммарный объём крупных водохранилищ региона, куб. км	Суммарный объём крупных водохранилищ в бассейне р. Урал, куб. км
Республика Башкортостан	34,2	13	2456	161
Оренбургская область	12,6	73	3617	3427
Челябинская область	7,4	16	1593	775
Актюбинская область	3,2	44	534	534
Западно-Казахстанская	10,3	94	613	455
Атырауская область	6,5	77	-	-

Существующая сеть водохранилищ в бассейне р. Урал – только малая часть из того, что проектировалось в схемах комплексного использования и охраны водных ресурсов р. Урал в XX в. Предусматривалось строительство трёх водохранилищ на р. Урал, ниже г. Орск, с проектными объёмами от 0,9 до 6 км³. Кроме этого, на притоках предполагалось возведение водохранилищ на следующих р. р.: Илек (584 млн. м³), Большой Кумак (946 млн. м³) и Сакмара (1472 млн. м³) с притоком Большой Ик (1120 млн. м³) [5]. Намечаемые водохранилища, а также планируемые каналы переброски части стока сибирских рек на юг должны были увеличить водные ресурсы для расширения доли орошаемых земель и обводняемых пастбищ.

В маловодные годы крупные водохранилища играют значительную роль в покрытии недостатка в водных ресурсах в среднем и нижнем течениях трансграничной р. Урал. Межгосударственные бассейновые соглашения по совместному использованию р. Урал с Республикой Казахстан обязывают компенсировать низкие сезонные расходы за счет крупных гидроузлов. Выполнение этой задачи отводится, в основном, Ириклинскому водохранилищу, которое также должно обеспечить энергетику и гарантированную отдачу (P=95 %) – 643,4 млн. м³. Среднегодовая сработка уровня водохранилища составляет около 3 м, вызывая осушение 19 % площади ложа.

В текущем году проблемы с наполнением водохранилищ Европейской части России не обошли стороной и бассейн р. Урал. Весной 2019 г. водохранилище не пополнилось за счет талых вод, и в настоящее время его уровень соответствует началу зимы прошлого года. По нормативам эксплуатации возможно форсирование отметки 235 м, что случалось в преддверии подготовки к приёму талого стока за последние 15 лет (рис. 2).

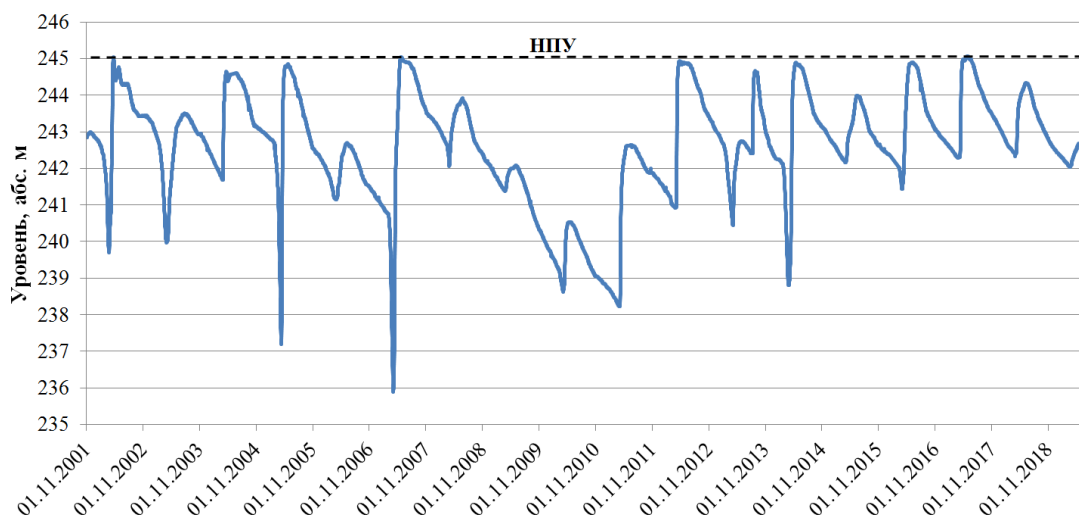


Рис. 2. Динамика уровня Ириклинского водохранилища с 2001 по 2019 гг. [6]

В некоторых регионах Российской Федерации и Республики Казахстан планируется увеличение объемов существующих водохранилищ и строительство новых гидротехнических сооружений для устойчивого водоснабжения хозяйства и развития районов с вододефицитом. В Республике Башкортостан планируется создание водохранилищ для водоснабжения и защиты от негативного действия вод с суммарным объемом свыше 1 км^3 [1]. В Республике Казахстан (РК) разработана схема комплексного использования и охраны вод бассейна р. Урал [3]. Представленные в ней водохозяйственные балансы строятся с расчетом на гарантированные объемы стока р. Урал с территории Российской Федерации.

В Республике Казахстан покрытие дефицита водохозяйственного баланса регионов уже проводится за счет межбассейнового переброски воды. Так, из Волги (проток Кигач) для водоснабжения потребителей Атырауской, а также Мангистауской областей был разработан проект по строительству водовода Астрахань – Мангышлак, который сегодня поставляет в сутки около 50-60 тыс. м^3 воды. Большая часть этой воды идет на хозяйственно-питьевые нужды безводных районов планируется строительство дополнительных веток водовода и увеличение пропускной мощности до 95 тыс. м^3 в сутки. Из р. Урал привлекается сток в бессточный район р. Сагиз [3]. В Атырауской области обсуждался проект технико-экономического обоснования строительства гидротехнических сооружений Урало-Баксайской оросительно-обводнительной системы, по примеру Урало-Кушумской. В составе оросительно-обводнительной системы проектируется строительство водохранилища и двух водоёмов с общим объёмом 200 млн. м^3 . Осуществление проекта приостановлено из-за необходимости проведения инженерно-изыскательных работ и их финансирования [7]. Реализация гидротехнических проектов требуется, в основном, для нужд развития сельского хозяйства, что предполагает

безвозвратное изъятие водных ресурсов и дополнительные потери на инфильтрацию и испарение.

В условиях значительной вариации поверхностного стока и изменения климата возрастают риски дефицита в водообеспечении хозяйства. Введение новых гидротехнических сооружений для экстенсивного развития сельского хозяйства усложняет систему регулирования стока и баланса водных ресурсов, что может иметь неблагоприятные последствия для устойчивого развития регионов и экосистемы речного бассейна, в целом.

Устойчивое использование водных ресурсов бассейна р. Урал – один из важных вопросов, требующий согласованности действий в развитии водного хозяйства регионов РФ и РК. Необходимо внедрение интегрированного управления водными ресурсами в бассейне; развитие открытости мониторинга и обмена данными по водным объектам бассейна для проведения научных исследований и информированности общественности; адресное водоснабжение вододефицитных районов, в том числе и за счет межбассейновой переброски части стока и развития водосберегательных технологий в хозяйстве в регионах трансграничного бассейна р. Урал.

Работа выполнена в рамках государственного задания «Степи России: ландшафтно-экологические основы устойчивого развития, обоснование природоподобных технологий в условиях природных и антропогенных изменений окружающей среды» (АААА-А17-117012610022-5).

Список литературы

1. Схемы комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Урал (Российская часть)». Екатеринбург: ФГУП РосНИИВХ, 2010.
2. Чибилев А.А., Павлейчик В.М., Дамрин А.Г. Ириклинское водохранилище: геоэкология и природно-ресурсный потенциал / А.А.Чибилев, В.М. Павлейчик, А.Г. Дамрин . Екатеринбург: УрО РАН, 2006.
3. Комитет по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан. Офиц. интернет-ресурс. [Офиц. сайт]. URL:<http://emer.gov.kz> (дата обращения: 15.03.2019)
4. Схема комплексного использования и охраны водных ресурсов бассейна реки Урал (Жайык) с притоками. Алма-Аты: «Институт Казгипроводхоз», 2007.
5. Чибилёв А.А. (мл.), Мелешкин Д.С. Проблемы регулирования стока в бассейне реки Урал. / Геоэкологические проблемы трансграничного бассейна реки Урал. Материалы науч.-практ. конф. / под ред. чл-корр. РАН Чибилёва А.А. Оренбург: Ин-т степи УрО РАН, Печатный дом «Димур», 2008. С.115-120.
6. ФГБУ «Управление эксплуатации Ириклинского водохранилища» [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://ueiv.ru> (дата обращения 14.06.2019)
7. В Атырауской области планируют построить каскад водохранилищ на 200 млн. кубометров [Электронный ресурс] // МИА «Казинформ». [Интернет-портал]. 02.03.2012 г. URL: <http://www.inform.kz/rus/article/2445405> (дата обращения: 25.04.2016).

ЛАНДШАФТНО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ И ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ АСПЕКТЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА В БАСЕЙНЕ РЕКИ УРАЛ

Сивохин Ж.Т., Павлейчик В.М.

Институт степи УрО РАН, г. Оренбург

E-mail: sivohip@mail.ru

Аннотация. В статье приведен анализ ландшафтно-гидрологических и водохозяйственных аспектов регулирования стока в бассейне р.Урал. Установлено, что гидроклиматические условия обусловили необходимость резервирования значительных объемов водных ресурсов, преимущественно в восточных и юго-восточных районах бассейна р. Урал. Выявлено, что кроме крупных водохранилищ, значительную роль в решении проблем гарантированного водоснабжения в степной зоне играют малые гидротехнические сооружения.

Ключевые слова: речной сток, регулирование, степная зона, пруды, водный режим.

LANDSCAPE-HYDROLOGICAL AND WATER-INDUSTRY ASPECTS OF FLOW REGULATION IN THE URAL RIVER BASIN

Sivohip Zh.T., Pavleychik V.M.

Institute of Steppe of UB RAS, Orenburg

E-mail: sivohip@mail.ru

Abstract. The article analyses the landscape-hydrological and water management aspects of flow regulation in the Ural river basin. It was established that hydroclimatic conditions necessitated the reservation of significant amounts of water resources, mainly in the eastern and south-eastern regions of the Ural river. It was revealed that, apart from large reservoirs, small hydrotechnical facilities play a significant role in solving the problems of guaranteed water supply in the steppe zone.

Keywords: river flow, regulation, steppe zone, ponds, water regime.

Введение. Регулирование речного стока относится к числу наиболее эффективных способов решения проблем дефицита водных ресурсов в маловодные годы или лимитирующие периоды, в первую очередь, в речных бассейнах, характеризующихся значительной изменчивостью речного стока. В частности, к таким рекам относятся реки с казахстанским типом водного режима, с крайне неравномерным внутригодовым распределением стока (весеннее половодье обеспечивает 75-85 % годового стока и максимальные расходы воды) [1]. Значительные площади водосборных территорий рек данного типа охватывают равнинные ландшафты степной зоны Северной Евразии, характеризующиеся интенсивным промышленным и сельскохозяйственным освоением. Соответственно, регулирование речного стока осуществляется для гарантированного водообеспечения различных хозяйственных и коммунальных нужд экономики и населения в периоды низкой водности. Отметим, что проблемы

устойчивого использования водных ресурсов в пределах степной зоны решаются не только за счет крупных водохранилищ, но и в результате эксплуатации малых гидротехнических сооружений.

Примером речного бассейна, характеризующегося высокой степенью хозяйственного освоения территории в условиях значительной годовой и сезонной изменчивости водного режима, является бассейн р. Урал. Кроме того, р. Урал относится к числу трансграничных водоемов, и соответственно, вопросы регулирования речного стока актуализируются расположением участков верхнего и среднего течений в пределах Российской Федерации, а нижнего – в Республике Казахстан.

Ландшафтно-гидрологические аспекты регулирования речного стока в бассейне р. Урал. Согласно физико-географическому районированию, значительная часть территории бассейна р. Урал расположена в пределах Восточно-Европейской равнины и Уральской горно-равнинной страны. К западу от главного ландшафтного рубежа преобладают холмисто-увалистые и равнинные ландшафты, а к востоку доминируют низкогорные и мелкосопочные ландшафты, сменяющиеся высокой пенеппенизированной равниной.

Исходя из ландшафтной неоднородности водосборных участков, в пределах бассейна р. Урал выделяют четыре основных гидрологических района [2]:

1. *Северный горный лесостепной и лесной район* – бассейны правых притоков р. Урал (рр. Б. Ик, Сакмара до впадения р. Б. Ик и др.). Годовой модуль стока составляет от 3,5 до 8 л/с с км².

2. *Юго-западный, южный и центральный степной увалистый район* с незначительным стоком (годовой модуль стока – 1,5-3,5 л/с с км²). Район охватывает бассейн р. Урал в среднем течении.

3. *Восточный южно-степной район*, характеризующийся минимальным стоком (годовой модуль стока – 0,5-1 л/с с км²). Район охватывает верховья левых притоков р. Урал (рр. Жарлы, Суундук, Кумак и др.).

4. *Южный полупустынный и пустынный низменно-равнинный район* с модулем стока менее 0,5 л/с км². Охватывает нижнее течение реки с потерей транзитного стока до 20 %.

В связи с преобладанием континентальных условий климата, увлажнение исследуемой территории характеризуется значительной межгодовой изменчивостью, что отражается на показателях водности рек. Следует также отметить, что в пределах верховий бассейна р. Урал (р. Сакмара с притоками) зональное распределение влаги нарушают южные отроги Уральских гор, в результате формируются районы повышенной водности, где значения речного

стока изменяются в широких пределах. Значительно отличаются по объёму стока притоки западных и восточных склонов южных отрогов Уральских гор – в западном направлении, к Общему Сырту, сток снижается до 2,5 л/сек с км², а в восточном и южном – до 1-2 л/сек с км². В то же время, верховья бассейнов рек Большой Ик и Сакмара расположены между хребтами и тем самым закрыты для непосредственного воздействия западных влагоносных воздушных масс, что вызывает значительную изменчивость выпадения осадков и резкое увеличение вариации годового стока притоков. Таким образом, физико-географические условия водосборной территории исследуемого бассейна определяют крайне неравномерное распределение многолетних и годовых значений речного стока (табл. 1).

Таблица 1

Среднемноголетние значения речного стока в бассейне р. Урал (российский участок)

№ № п/п	Река - пункт	S водо- сбора, км ²	Средний многолет- ний расход воды, м ³ /с	v	Расчетные величины годового стока, м ³ /с, обеспеченностью %		
					50	75	95
1	Урал (Верхнеуральск)	2650	10,1	0,63	7,95	4,53	1,80
2	Урал (Орск)	46100	71,5	0,58	53,0	26,2	10,1
3	Урал (Оренбург)	82300	136	0,58	77,27	52,24	28,73
5	Таналык (Мамбетово)	3270	5,89	0,72	4,34	2,52	1,02
6	Жарлы (Адамовка)	2490	2,99	-	2,61	1,19	0,31
7	Орь (Ащевутаг)	16700	15,0	0,68	10,30	6,15	2,29
8	Губерля (Губерля)	1580	4,34	-	2,85	1,75	0,84
9	Сакмара (Акьюлово)	5640	22,0	0,54	12,50	8,43	4,06
10	Сакмара (Тат. Каргала)	29600	145	0,54	27,6	87,80	44,06
11	Бол. Ик (Мраково)	1870	15,7	0,42	15,65	11,47	7,22
12	Бол. Ик (Спасское)	6530	51,6	0,42	47,86	36,11	22,23
13	Илек (Веселый-1)	17200	31,0	0,58	21,15	13,68	6,70
14	Чаган (Каменный)	4000	8,80	0,76	5,15	3,07	1,35

Гидроклиматические условия обусловили необходимость резервирования значительных объёмов водных ресурсов, преимущественно в восточных и юго-восточных районах бассейна р. Урал, в пределах засушливых степных ландшафтов. Максимальная концентрация малых водохранилищ (объемом до 1 млн. м³) наблюдается в зонах сельскохозяйственного освоения (как в Предуралье, так и в Зауралье) на междуречных сухостепных пространствах.

Кроме того, несмотря на относительно высокие значения модуля стока, значительная доля регулирования местного стока характерна для восточного склона хребта Малый Накас в пределах Республики Башкортостан, что связано с высокой плотностью населения и развитым аграрно-индустриальным сектором. Следует отметить, что большая часть искусственных водоёмов расположена в пределах зоны активного водосбора р. Урал и их заполнение происходит в весенний период.

Водохозяйственные аспекты регулирования речного стока в бассейне р. Урал. Как отмечалось выше, регулирование речного стока в бассейне р. Урал обусловлено необходимостью гарантированного водообеспечения населения и экономики в условиях пространственно-временной изменчивости водного режима. Структура водного хозяйства в пределах исследуемого бассейна формировалась по мере возникновения потребностей промышленного и аграрного секторов экономики. С 1932 г. Гипроводом начата разработка Схемы комплексного использования водных ресурсов бассейна р. Урал, включающей, в частности, вопросы регулирования стока для водообеспечения формирующихся промышленных центров на базе открытых и разрабатываемых рудных месторождений Зауралья. Кроме того, в довоенный период были сооружены гидроузлы в бассейне р. Урал с целью водохозяйственной интенсификации наиболее развитых в промышленном отношении регионов в пределах РСФСР. В пределах Республики Казахстан была построена Урало-Кушумская оросительно-обводнительная система, использующая речной сток р. Урал и аккумулирующая в четырех водохранилищах воду, используемую для нужд сельского хозяйства и поддержания необходимого запаса воды в озерах и протоках рыбохозяйственного значения. Кроме того, планировалось создание Губерлинского водохранилища (объемом 535 млн. м³) на р. Урал, Мало-Чураевского (Кувандыкского) (640 млн. м³) и Нижне-Сакмарского (2520 млн. м³; у г. Оренбург) водохранилищ на р. Сакмара. В дополнение к масштабному промышленному освоению исследуемой территории, сопровождавшемуся ростом численности населения в промышленных центрах, возникла потребность гарантированного водообеспечения сельского хозяйства в связи с освоением целинных земель степной зоны. Наиболее интенсивный период регулирования стока в бассейне р. Урал отмечался в 1960-1970-е годы, когда в эксплуатацию было введено более 15 гидротехнических сооружений суммарным объемом 85,3 млн. м³. В итоге, к настоящему времени задачи по гарантированному водообеспечению решены частично – в бассейне Урала введено в эксплуатацию более 800 водохранилищ суммарным объемом 4739,1 млн. м³.

Отличительной чертой строительства гидроузлов в бассейне р. Урал является расположение крупнейших водохранилищ в пределах главной реки (Верхнеуральское, Магнитогорское и Ириклинское водохранилища). Полные объемы данных гидротехнических сооружений, расположенных в лесостепной зоне и на стыке лесостепной и степной зон, составляют 0,60; 0,19 и 3,26 км³, соответственно, что равно 96 % общего объема водоемов всего бассейна р. Урал. Для сравнения – в смежном бассейне р. Белая наиболее крупные водохранилища размещены на притоках (Павловское – на р. Уфа, объем – 1410 млн. м³, Нугушское – на р. Нугуш, объем – 400 млн. м³ и др.), и только в 2008 г. крупным водохранилищем (Юмагузинское, объемом 300 млн. м³) был зарегулирован сток р. Белая [3].

В настоящее время максимальными темпами ввода в эксплуатацию новых водохранилищ в пределах бассейна р. Урал характеризуются районы горнопромышленного Зауралья (Республика Башкортостан), где ключевой проблемой является дефицит водных ресурсов на фоне высокого техногенного загрязнения водных объектов. В связи с этим, в Башкирском Зауралье для гарантированного водообеспечения построено более 50 водохранилищ с общей аккумулирующей емкостью около 220 млн м³.

Кроме крупных водохранилищ, значительную роль в решении проблем гарантированного водоснабжения в степной зоне играют малые гидротехнические сооружения, объемом не более 1 млн. м³ (рис. 1). Водохозяйственная особенность расположения прудов – концентрация в районах с высокой плотностью сельского населения и на территориях, прилегающих к крупным городам. Несмотря на небольшую площадь водного зеркала и малые объемы, пруды могут оказывать существенное влияние на сток малых и средних рек в районах недостаточного и неустойчивого увлажнения [4]. Следует также отметить, что рано или поздно большинство искусственных водоемов становятся объектами комплексного назначения с приоритетным использованием водных ресурсов какой-либо отрасли хозяйства [5].

Таким образом, пруды и малые водохранилища являются неотъемлемым элементом степного природопользования и выполняют разнообразные хозяйственные функции в условиях неравномерного пространственного и сезонного распределений и в целом недостатка водных ресурсов. Кроме того, в пределах бассейна р. Урал отмечается значительное количество бесхозных гидротехнических сооружений, оставленных из-за невостребованности в результате трансформации аграрного природопользования в регионе [6].

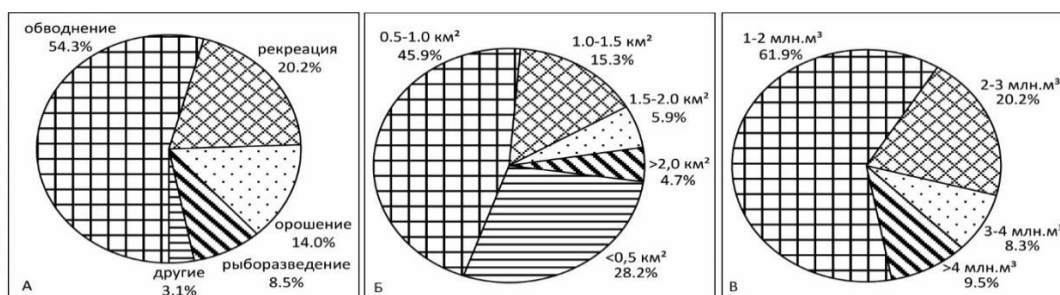


Рис. 1. Пруды и малые водохранилища в бассейне р. Урал (в пределах Оренбургской области) по назначению (А), площади водного зеркала (Б) и объёму регулирования (В)

В заключение необходимо отметить, что в условиях значительной пространственно-временной изменчивости водного режима рек степной зоны, регулирование речного стока является важнейшим элементом водохозяйственной деятельности для обеспечения гарантированного водоснабжения населения и экономики. Вместе с тем, эксплуатация гидротехнических сооружений обуславливает значительную трансформацию эколого-гидрологической обстановки в бассейнах степных рек, что необходимо учитывать при проектировании и строительстве прудов и водохранилищ.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 18-05-0447 «Пространственно-динамическая специфика регионального природопользования в трансграничных бассейновых геосистемах в современных гидроклиматических условиях».

Список литературы

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1970. Т.12. Вып.2. 512 с.
2. Географический атлас Оренбургской области. М.: Изд-во «ДИК»; Оренбург: Оренб. кн. изд-во, 1999. 95 с.
3. Гареев А.М. Реки и озера Башкортостана. Уфа: Китап, 2001. 260 с.
4. Шикломанов И.А. Антропогенные изменения водности рек. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 302 с.
5. Максимович Н.Г., Пьянков С.В. Малые водохранилища: экология и безопасность. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2012. 256 с.
6. Павлейчик В.М., Сивохип Ж.Т. Водно-хозяйственные и трансграничные аспекты регулирования стока в бассейне реки Урал // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2012. Т.14. № 1 (9). С.2367-2371.

© Сивохип Ж.Т., Павлейчик В.М., 2019

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЧОГРАЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Гаджиев М.К.

Западно-Каспийское бассейновое водное управление, г. Махачкала

E-mail: orv_zkbvu@mail.ru

Аннотация. На основе данных гидрохимического мониторинга вод и донных отложений за период 2012-2018 гг. дается оценка современного экологического состояния Чограйского водохранилища. Для оценки используется удельный комбинаторный индекс загрязнения вод. Качество воды в Чограйском водохранилище оценивается как “грязная”. В заключение перечислены основные мероприятия, направленные на охрану водных ресурсов водохранилища и улучшение их качественного состояния.

Ключевые слова: Чограйское водохранилище, экологическое состояние, качество воды, загрязнение, засоленность.

ECOLOGICAL STATE OF THE CHOGRAI RESERVOIR

Gadzhiev M.K.

Western Caspian Basin Water Administration, Makhachkala

Abstract. Based on the data of hydrochemical monitoring of water and bottom sediments for the period of 2012-2018, the assessment of the current ecological state for the Chograi reservoir is given. The specific combinatorial index of water pollution is used for the estimation. The water quality in the Chograi reservoir is assessed as “dirty”. In conclusion, the main activities aimed at the protection of reservoirs water resources and improvement of their quality status are listed.

Keywords: Chograi reservoir, ecological state, water quality, pollution, salinity.

Чограйское водохранилище расположено на границе Республики Калмыкия и Ставропольского края. Основная функция водохранилища – орошение и обводнение земель в Ставрополье и Калмыкии, водоснабжение г. Элиста и южных районов Калмыкии. Водоохранилище также используется для рыбного хозяйства.

Водоохранилище введено в эксплуатацию в 1969 г. и образовано земляной плотиной, расположенной в пойме р. Восточный Маныч, в 9 км ниже устья р. Чограй. Основные параметры: проектная емкость водохранилища – 720 млн. м³, площадь зеркала – 193 км², длина – 48,8 км, ширина у плотины – 9,3 км, средняя глубина – 3,7 м, максимальная глубина – 10,8 м. Чограйское водохранилище является одним из самых крупных водоёмов юга России [1].

Основные притоки р. р. Рагули, Голубь и Чограй. Вода в водохранилище поступает по Кумо-Манычскому каналу, в который вода подается из Терско-Кумского канала.

При реализации схемы водоподачи в Чограйское водохранилище предполагалось, что в створе Левокумского гидроузла будет происходить смешивание терских и кумских вод (в соотношении 4:1) с минерализацией, не превышающей 1 г/л. Терская вода в створе водозабора Терско-Кумского канала имеет минерализацию 0,3-0,6 г/л и удовлетворяет требованиям ГОСТ 2761-81 «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения». Кумская вода в створе Левокумского гидроузла имеет минерализацию 1,5-2,0 г/л, т.е. превышение составляет 1,54 - 2,0 ПДК.

В процессе эксплуатации было установлено, что степень смешивания вод оказалась незначительной, т.к. терская вода отжимает кумскую воду к левому берегу, которая поступает в водозабор Кумо-Манычского канала. Таким образом, в течение более 40 лет эксплуатации водохозяйственного комплекса, фиксируется тенденция роста минерализации воды Чограйского водохранилища.

За период эксплуатации водохранилища качество воды в нем ухудшилось за счет неблагоприятного гидрологического режима, при котором устойчиво растет минерализация воды.

В качестве основного фактического материала использованы данные наблюдений ФГУ «Дагводресурсы» за 2008-2018 гг. ФГУ «Дагводресурсы» ведет наблюдения на 5 створах на Чограйском водохранилище, 4 створах – на реках и каналах, впадающих в Чограйское водохранилище, и 2 створах – на реках и каналах, вытекающих из Чограйского водохранилища (рис. 1):

- у отсечной дамбы (р. Восточный Маныч), левый берег;
- у с. Зунда-Толга, правый берег;
- в районе плавучей насосной станции, правый берег;
- в районе охотничьего хозяйства, левый берег
- у центральной части плотины, в верхнем бьефе;
- на выходе 1-го донного водовыпуска из водохранилища, правый берег;
- на выходе Черноземельского канала из водохранилища, левый берег;
- после впадения Кумо-Манычского канала в водохранилище, правый берег;
- до впадения р. Рагули, правый берег.
- до впадения р. Голубь, правый берег;
- в районе впадения р. Чограй, левый берег.

Динамика изменения качества воды в Чограйском водохранилище определялась методом комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям [2], в соответствии с которым для оценки экологического состояния используется удельный комбинаторный индекс загрязнения вод (УКИЗВ).



Рис. 1. Чограйское водохранилище с точками отбора проб

Исследования [3] показали, что в начальный период эксплуатации водохранилища, с 1970 по 1974 гг., при недостаточном водообмене – слабом использовании водных ресурсов и ограничении сброса в НБ из-за отсутствия отводящего канала, повышенными потерями на испарение, произошло повышение минерализации воды.

В 1975 г. минерализация воды у плотины составила 1,42 г/л, в центре – 1,58 г/л, в концевой части – 2,06 г/л. В 1985 г. минерализация воды у плотины – 0,9-1,6 г/л, в 20 км от плотины – 1,3-2,0 г/л, а в хвостовой части – от 2,5 до 3,5 г/л. В составе растворенных солей преобладали сульфаты и хлориды натрия. В последующие годы минерализация повышалась.

Резкий рост минерализации в водохранилище произошел в 1998-2000 гг. В 2001 г. наблюдалось резкое снижение, в последующие годы постепенный рост, и с 2008 г. стабильное состояние с превышением ПДК, в среднем, в 1,4-1,8 раза. За период наблюдения с 2012 по 2018 гг. среднее содержание солей (по сухому остатку) составило 2,1 ПДК (*max* в 2012 г. – 4,36 ПДК, *min* в 2018 г. – 1,14 ПДК).

В 2018 г. сухой остаток (средний по наблюдаемым створам водохранилища) снизился, по сравнению с 2017 г., в 1,5 раза; наблюдается снижение содержания аммоний-иона от 1,08 ПДК в 2017 г. до 0,2 ПДК в 2018 г., БПК₅ – от 1,79 ПДК до 0,87 ПДК, марганца – от 2,68 ПДК до 1,62 ПДК, нитритов – от 1,26 ПДК до 0,1 ПДК, сульфатов от 6,25 ПДК до 3,68 ПДК, цинка – от 2,88 ПДК до 1,15 ПДК, а также магния, железа фосфатов, хлоридов в 1,3-1,7 раз. При этом, увеличилось содержание меди от 2,34 ПДК в 2017 г. до 4,1 ПДК в 2018 г.; никеля – от 0,72 ПДК до 1,3 КДК; СПАВ – от 0,97 ПДК до 1,17 ПДК.

Гидрохимическое состояние водохранилища значительно улучшилось, по сравнению с 2017 г. Вода из категорий «грязная» - «очень грязная» - перешла в категории «загрязненная» - «очень загрязненная». Наиболее загрязнено

водохранилище в створах: плотина (центральная часть), с. Зунда-Тулга, в районе плавучей насосной станции (рис. 2-3).

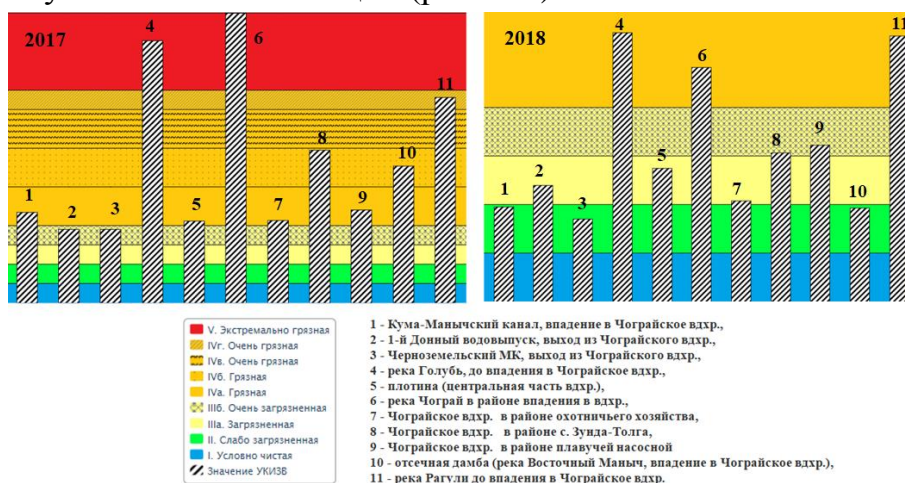


Рис. 2. Качество воды по УКИЗВ в наблюдаемых створах водохранилища

На улучшение качества воды в 2018 г. могли оказать влияние спуски больших объемов воды в 2017-2018 гг.

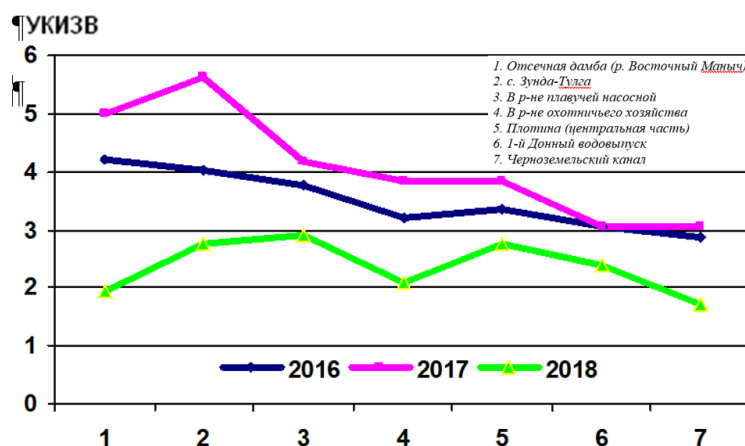


Рис. 3. Изменение качества воды в водохранилище за 2016-2017 гг.

Таким образом, в Чограйском водохранилище качество воды ухудшается от отсечной дамбы до плотины.

Улучшилось состояние рек, впадающих в водохранилище, вода которых из категории «очень грязная» - «экстремально грязная» перешла в категорию «грязная».

В реке Чограй содержание органических веществ по БПК₅, в среднем, превышает ПДК в 1,5 раза. Из биогенных веществ концентрация аммоний-иона превышает норму в 1,6 раза. Концентрации кальция, магния, марганца (2+), меди и никеля превышают ПДК в 2,1; 8,7; 3,5; 5,0 и 2,7 раза, соответственно; сульфаты и хлориды превышают ПДК в 9,2 и 7,6 раза, соответственно; СПАВ – в 6,6 раз.

В реке Рагули присутствуют: 3,3 ПДК БПК₅, 1,5 ПДК аммоний-иона, 8,5 ПДК СПАВ. Концентрации кальция, магния, марганца (2+), меди и свинца превышают ПДК в 3,6; 25,3; 6,3; 7,3 и 1,3 раза, соответственно. Сульфаты и хлориды превышают ПДК в 27,1 и 41,0 раз, соответственно. Минерализация и жесткость, в среднем, составили 30917 мг/л и 114,7 мг-экв/л.

В реке Голубь содержание органических веществ по БПК₅, в среднем, превышает ПДК в 2,6 раза, СПАВ – в 8,9 раз. Концентрации кальция, магния, марганца (2+), меди, никеля и цинка превышают ПДК в 2,6; 13,4; 3,5; 3,3; 1,9 и 1,8 раза, соответственно. Сульфаты и хлориды превышают ПДК в 10,2 и 11,0 раза, соответственно. Минерализация и жесткость, в среднем, составили 8340 мг/л и 66,7 мг-экв/л.

Оценка качества воды водохранилища, по среднеголетним показателям за весь период наблюдения с 2008 по 2018 гг. (табл. 1, рис. 4), свидетельствует: вода по УКИЗВ по всем наблюдаемым створам относится к категории «грязная», в створе отсечная дамба (начало водохранилища) – «очень грязная». Наиболее загрязнены створы в начале водохранилища – отсечная дамба, в районе плавучей насосной станции, у с. Зунда-Толга. В центральной и хвостовой частях водохранилища качество воды несколько улучшается за счет терской воды, но остается в категории «грязная». Вода рек, впадающих в водохранилище, по среднеголетним показателям, относится к «экстремально грязной».

Таблица 1

Оценка качества воды по УКИЗВ

№	Створ	УКИЗВ	Класс качества, характеристика загрязнённости	Критические показатели загрязнённости
1	Кумо-Манычский канал	4,70	IVa. Грязная	Сульфаты
2	1-й Донный водовыпуск	4,39	IVa. Грязная	Сульфаты
3	Черноземельский МК	4,50	IVa. Грязная	Сульфаты
4	р. Голубь	7,34	V. Экстремально грязная	Азот аммонийный; марганец 2+; никель; сульфаты; хлориды; цинк; БПК ₅
5	плотина (центральная часть)	4,45	IVa. Грязная	Марганец 2+
6	р. Чограй	7,06	V. Экстремально грязная	Азот аммонийный; медь; никель; сульфаты; хлориды
7	в районе охотничьего хозяйства	4,23	IVa. Грязная	Сульфаты
8	у с. Зунда-Толга	5,65	IVв. Очень грязная	Марганец 2+; сульфаты; никель
9	в районе плавучей насосной	4,70	IVa. Грязная	Никель; сульфаты
10	отсечная дамба;	5,80	IVв. Очень грязная	Марганец 2+; никель; сульфаты; хлориды
11	р. Рагули	7,52	V. Экстремально грязная	Марганец 2+; никель; сульфаты; хлориды; растворенный кислород

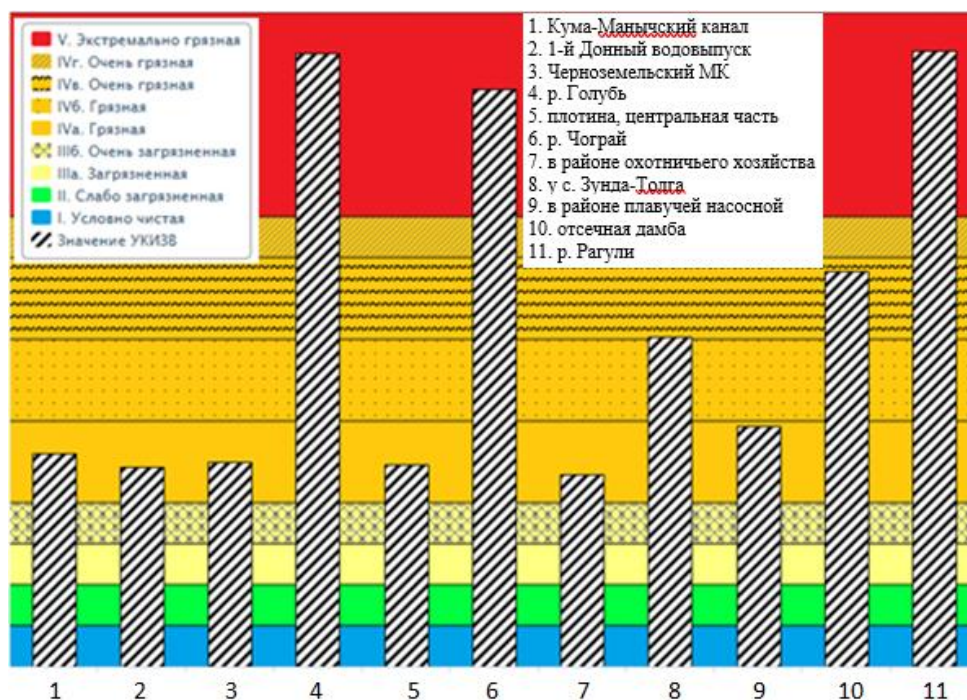


Рис. 4. Оценка качества воды по УКИЗВ за период 2008-2018 гг.

Таким образом, в результате проведенного анализа установлено:

1. Экологическое состояние Чограйского водохранилища в последние годы стабилизировалось, но все еще оценивается как неудовлетворительное.
2. Качество воды Чограйского водохранилища относится к категориям «грязная» - «очень грязная».
3. Существенное негативное влияние на качество воды в водохранилище оказывают притоки, качество воды в которых относится к категории «экстремально-грязная».

Для улучшения качества и уменьшения минерализации воды в водохранилище необходимо разработать возможные варианты технических мероприятий, направленных на охрану водных ресурсов и улучшение экологического состояния водохранилища.

Предлагается рассмотреть следующие варианты технических мероприятий:

1. Реконструкция Левокумского гидроузла с целью разделения кумской и терской воды.
2. Отсечная дамба в хвостовой части водохранилища с целью отсечь мелководье и сток сильноминерализованных вод р. р. Рагули и Голубь,
3. Изменение трассы сбросного коллектора Арзгирской ОС, отводящего сильно минерализованные дренажные воды, минерализация которых составляет 15 г/л.

4. Перенос точки водоподачи из Кумо-Манычского канала в верховье Чограйского водохранилища для улучшения водообмена.

Список литературы

1. Панов В.Д., Базелюк А.А., Лурье П.М. Реки Западный и Восточный Маныч. Гидрография и режим стока. Ростов-на-Дону: Донской изд. дом, 2009. 431 с.
2. РД 52.24.643-2002 Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. Росгидромет. СПб.: Гидрометеиздат, 2003. 36 с.
3. Уланова С.С. Эколого-географическая оценка искусственных водоемов Калмыкии и экотонных систем «вода-суша» на их побережьях. М.: РАСХН, 2010. 263 с.

© Гаджиев М.К., 2019

УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ БЕЛГОРОДСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В УСЛОВИЯХ СЛОЖИВШЕЙСЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ

Атанов Ю.Г.¹, Парамонов Ю.Н.²

¹Отдел водных ресурсов по Белгородской области Донского БВУ, г. Белгород

²ФГУ «Управление эксплуатации Белгородского водохранилища» пос. Маслова

Пристань Шебекинского района Белгородской области

E-mail belgts@yandex.ru

Аннотация. В сообщении представлены общие сведения о целевом назначении Белгородского водохранилища, дана его краткая характеристика, рассмотрены вопросы использования его водных ресурсов и режим работы в маловодные годы. Представлены оценка современного состояния и сведения о ремонте конструкций гидротехнических сооружений гидроузла Белгородского водохранилища.

Ключевые слова: Белгородское водохранилище, гидроузел, состояние.

WATER RESOURCES MANAGEMENT OF THE BELGOROD RESERVOIR IN THE CURRENT ECOLOGICAL SITUATION

Atanov Y.G.¹, Paramonov Y.N.²

¹Water resources department in Belgorod region of the Don BWM, Belgorod

²FSI «Management of the Belgorod reservoir» operation, Maslova

Pristan ' Shebekinskiy district of Belgorod region

E-mail belgts@yandex.ru

Abstract. The report presents general information about the purpose of the Belgorod reservoir, gives a brief description, discusses the use of its water resources and the mode of operation in dry years. The assessment of the current state and information on the repair of structures of hydraulic structures of the Belgorod reservoir waterworks are presented.

Keywords: Belgorod reservoir, hydroscheme, state.

Белгородская область относится к малообеспеченным водой регионам России, лишь 0,45 % территории занято реками, ручьями, прудами и водохранилищами. Поэтому постоянно возникает необходимость в регулировании и накоплении поверхностного стока. С этой целью, начиная с 1950-х гг., в области построено около 420 зарегулированных прудов и водохранилищ, в том числе и Белгородское водохранилище.

Белгородское водохранилище расположено в долине р. Северский Донец, в южной части Среднерусской возвышенности, в лесостепной зоне, представляющей собой холмистую территорию, расчленённую речными долинами, балками и оврагами. Гидроузел Белгородского водохранилища находится на расстоянии 964 км от устья р. Северский Донец, в 80 км от истока реки и в 28 км ниже по течению от г. Белгород (рис. 1).



Рис. 1. Вид на Белгородское водохранилище

Проектное назначение водохранилища – промышленное водоснабжение предприятий г. Белгород, Белгородского и Шебекинского районов, орошения сельхозугодий, прилегающих к водохранилищу, а также обеспечение гарантированных расходов воды в пограничных с Украиной створах, в соответствии с условиями «Соглашения между Правительствами России и Кабинета Министров Украины о совместном использовании и охране трансграничных водных объектов».

На сегодняшний день пользование водными ресурсами Белгородского водохранилища осуществляют 22 водопользователя (17 из них для рекреационных целей). На берегах водохранилища расположено значительное количество детских оздоровительных учреждений и баз отдыха.

В соответствии с проектом строительства и «Правилами использования водных ресурсов Белгородского водохранилища», водохранилище является водным объектом годичного регулирования, т.е. уровень воды в водохранилище может изменяться в течение года: от (НПУ) 114,5 м (Б.С.), объем воды – 76,0 млн.м³; до уровня мертвого объема (УМО) 110,0 м (Б.С.), объем воды – 8,3 млн.м³.

Белгородское водохранилище осуществляет наполнение и сработку с учетом расположенного ниже Печенежского водохранилища (Украина), используемого для питьевого водоснабжения населения г. Харьков

За период эксплуатации с 1995 г. параметры естественного годового стока в створе гидроузла Белгородского водохранилища близки к среднемуголетним показателям. Самый многоводный год наблюдался в 1996 г., когда сток притока составил 358,7 млн.м³ при среднемноголетнем значении 234.9 млн.м³. С 2000 по 2015 гг. маловодный период наблюдался в течение 9 лет. Самым маловодным был 2015 г., когда годовой сток притока составил всего лишь 77,76 млн.м³ (табл. 1).

Таблица 1

Режим работы водохранилища за характерные маловодные календарные годы

Водохозяйственный год	Приток к водохранилищу, млн. м ³					Наполнение водохранилища				Сброс в нижний бьеф		
	годовой		март-апрель		май-февраль	на начало в/х года		на конец в/х года		объем, млн.м ³	расход, м ³ /с	
	объем, млн.м ³	обеспеченность, %	объем, млн. м ³	обеспеченность, %		объем, млн.м ³	уровень, м	объем, млн.м ³	уровень, м		средний	минимальный
1934/1935	141.6	90.3	83.9	56.2	57.7	12.41	110.0	19.02	110.64	125.6	3.98	1.96
1955/1956	133.1	92.4	57.7	74.7	75.4	12.41	110.0	18.06	110.56	119.0	3.77	1.96
2008/2009	132.2	92.5	49.9	80.2	82.3	12.41	110.0	24.56	111.09	112.3	3.56	3.46
1944/1945	125.8	94.1	51.5	79.1	74.3	12.41	110.0	18.30	10.58	111.9	3.55	1.96
1975/1976	124.6	94.4	35.1	89.8	89.5	12.41	110.0	22.95	110.97	107.9	3.42	1.96
1938/1939	117.7	95.6	48.7	81.1	69.0	12.41	110.0	19.61	110.69	102.3	3.24	1.66
1962/1963	117.5	95.6	39.8	86.8	77.7	12.41	110.0	18.90	110.63	104.5	3.31	1.96
2002/2003	115.7	95.8	22.8	95.6	92.9	12.41	110.0	25.53	111.16	97.8	3.10	1.96
2009/2010	86.5	99.0	17.7	97.4	68.8	12.41	110.0	20.45	110.76	73.2	2.32	1.56

Белгородское водохранилище с начала своей эксплуатации и ввода в эксплуатацию комплекса гидротехнических сооружений наполнялось до нормального подпорного уровня 114,50 м всего лишь три раза.

Одна из причин недобора воды в водохранилище до отметки НПУ объясняется тем, что на прилегающих к водохранилищу территориях уровни грунтовых вод находятся на глубине от 0,2 до 1,5 м. Здесь возможно подтопление приусадебных участков и строений. Горизонтальный дренаж в пос. Маслова Пристань и Разумное обеспечивает защиту от подтопления на площади около 47,0 га, дальность его действия – до 150-200 м.

В период заполнения Белгородского водохранилища до НПУ – отметки 114,50 м и прохождении ливневых дождей подпор воды и подтопления прилегающих территорий со стороны водохранилища происходят на отметке 114,36 м.

Другой причиной недобора объема воды в Белгородском водохранилище до отметки НПУ является не востребованность водных ресурсов областью.

За годы существования Белгородского водохранилища проектное назначение (водоснабжение Белгородского промышленного узла) оказалось невостребованным, поскольку использование воды для питьевого водоснабжения населения на 100 % осуществляется из подземных источников, а в промышленности вода водохранилища не используется. В связи с этим Белгородское водохранилище, по большому счету, стало объектом рекреационной деятельности.

В соответствии с проектом, в период с 1990 по 2010 гг. планировалось обеспечить потребности водопользователей от 24,7 млн.м³ до 67,6 млн.м³ в год. При этом, расход гарантированного попуска в нижний бьеф Белгородского гидроузла при таких уровнях водопотребления снижается с 3 м³/с до 1,8 м³/с.

Однако, за период с 1990 г. в бассейне произошло значительное снижение водопотребления, забор воды из поверхностных источников уменьшился в 4 раза. На сегодняшний день из Белгородского водохранилища забор воды осуществляется в объеме 2,5 млн.м³ в год. В перспективе в бассейне р. Северский Донец, в связи с развитием сельскохозяйственного комплекса, планируется увеличение орошаемых площадей, а следовательно, увеличится и забор воды на цели орошения.

Комплекс гидротехнических сооружений Белгородского водохранилища находится в федеральной собственности и передан в оперативное управление Федеральному государственному бюджетному учреждению «Управление эксплуатации Белгородского водохранилища» (ФГУ «УЭ Белгородского водохранилища»). Приняты сооружения в эксплуатацию в 1995 г.

Согласно критериям классификации гидротехнических сооружений, в зависимости от последствий возможных гидродинамических аварий, ГТС Белгородского водохранилища, отнесены к гидротехническим сооружениям II класса.

В настоящее время срок эксплуатации сооружений гидроузла, в том числе железобетонного крепления верхового откоса земляной плотины Белгородского водохранилища составляет более 30 лет.

Наиболее неблагоприятной и тяжёлой из возможных аварийных ситуаций на Белгородском водохранилище является возможное нарушение фильтрационной прочности тела плотины на контакте с водосбросным сооружением или водоспуском, с образованием волны прорыва вследствие выноса частиц грунта, с образованием разуплотненных зон и локальным понижением прочности и устойчивости.

Затоплению может быть подвержено 233 домовладения, а также расположенные в нижнем бьефе водохранилища базы отдыха. Общее количество людей, которые могут оказаться в зоне затопления, около 600 человек.

Согласно положениям Декларации безопасности гидротехнического сооружения Белгородского водохранилища, в период 2017-2019 гг. предусмотрен ремонт основных конструкций гидроузла.

В 2016 г. разработана проектно-сметная документация «Капитальный ремонт железобетонных конструкций гидротехнических сооружений гидроузла Белгородского водохранилища». Капитальный ремонт выполнялся в III этапа. В 2017 г. ремонт осуществлялся только на верхнем поясе железобетонных карт при уровне воды в водохранилище 114,00-113,50 м. В 2018 г. проектом предполагалось с целью бетонирования подводной части железобетонных конструкций верхового откоса, его примыканий, понура, и ремонта деформационных швов, с марта месяца осуществить снижение уровня воды в Белгородском водохранилище до отметки 111,00 м, которое постепенно осуществлялось до октября 2018 г. (рис. 2).

В данном случае, исходя из того, что объем сбрасываемых сточных вод ГУП «Белводоканал» в р. Разумная (приток Белгородского водохранилища) в разы превышает расходы воды в самой реке, разбавление стоков происходить не будет, класс качества воды в водохранилище значительно ухудшится. Здесь возможно проявление заморных явлений рыбы и поступление в атмосферный воздух дурнопахнущих загрязняющих веществ в связи со значительным объемом донных отложений. Всё это может привести к жалобам со стороны населения. Кроме этого, возможно ухудшение качества воды в

р. Северский Донец, на границе с Украиной. Поэтому сработка водохранилища до отметки 111,0 мБс осуществлена в октябре 2018 г.



Рис. 2. Гидроузел Белгородского водохранилища

Таким образом, капитальный ремонт в 2018 году проводился на отметках 113,50-112,00 м, выполнение которого составило 93 % от общей ремонтируемой площади. Проведение работ при данных отметках позволило уменьшить вредное воздействие на и так неблагоприятную санитарно-эпидемиологическую обстановку, гибель рыбы и других обитателей водного объекта.

В период проведения капитального ремонта железобетонных конструкций гидроузла Белгородского водохранилища регулирование речного стока производилось путем управления режимами наполнения и сработки Белгородского водохранилища с обеспечением нормативной безопасности населения и хозяйственных объектов в верхнем и нижнем бьефах гидроузла водохранилища по согласованию с Донским бассейновым водным управлением.

В данной ситуации (при отметке 111,00 м) потребности водопользователей были обеспечены полностью, проявления заморных явлений рыбы не наблюдалось, жалоб со стороны населения, организаций и водопользователей не поступало, санитарный попуск в нижний бьеф обеспечен.

В соответствии с календарным планом государственного контракта, работы по капитальному ремонту железобетонных конструкций гидроузла Белгородского водохранилища будут завершены в текущем году.

ПРОБЛЕМЫ ЗАРАСТАНИЯ МАЛЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ И ИХ РЕАБИЛИТАЦИЯ

Шишкин В.О.¹, Островский В.Т.¹, Островский Н.В.¹, Скачкова С.А.²

¹Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, г. Краснодар

²Российский государственный аграрный университет – МСХА

им. К.А. Тимирязева, г. Москва

E-mail: vo2909@yandex.ru

Аннотация. Естественное зарастание ложа водохранилищ влаголюбивыми растениями и распространение растительности на откосы дамб вызывает их ускоренную деформацию. Степень зарастания и типы растений влияют на срок эксплуатации и интенсивность износа гидротехнических сооружений, биологическое состояние ложа водохранилища, его полезную емкость. Анализ условий повторного ввода водохранилища в эксплуатацию показывает, высокую эффективность сохранения регулирующей емкости водохранилища.

Ключевые слова: ложе водохранилищ, влаголюбивая растительность.

THE PROBLEM OF EUTROPHICATION OF SMALL RESERVOIRS AND REHABILITATION

Shishkin V.O.¹, Ostrovskiy V.T.¹, Ostrovskiy N.V.¹, Skachkova S.A.²

¹Kuban State Agrarian University named after I.T Trubilina, Krasnodar

²Russian State Agrarian University – MTAA named after. K.A. Timiryazev, Moscow

E-mail: vo2909@yandex.ru

Abstract. The Natural overgrowing of the reservoir bed with moisture-loving plants and the spread of vegetation on the slopes of dams causes their accelerated deformation. The degree of overgrowth and types of plants affect the service life and wear rate of hydraulic structures, the biological condition of the bed in the storage, its useful capacity. Analysis of the conditions of re-commissioning of the reservoir shows the high efficiency of maintaining the reservoir's regulating capacity.

Keywords: reservoir bed, moisture-loving vegetation.

Водохозяйственный комплекс Кубани помимо Краснодарского водохранилища включает целый ряд сравнительно небольших мелиоративных водохранилищ – Варнавинское, Крюковское, Октябрьское, Шапсугское, Шенджийское и другие. Построенные в 50-е годы прошлого века, в период бурного развития мелиоративного и гидротехнического строительства, сооружения водохранилищ в соответствии с нормами имеют износ 80-90 %. Дальнейшая эксплуатация таких сооружений представляет угрозу для окружающих территорий и населенных пунктов.

Первым водохранилищем, выведенным из эксплуатации в Краснодарском крае, является Шапсугское, опорожненное в 2002 г. Шапсугское водохранилище было построено 1941 – 52 гг. [1] западнее г. Краснодара в левобережной пойме р. Кубани, в устье реки Афипс, имело полный объем

150 млн.м³. Источником питания Шапсугского водохранилища и объектом регулирования является р. Афипс с притоками Убин и Шебш. Летние паводки Шапсугское водохранилище срезало до нуля, а зимние максимумы, достигающие 800-900 м³/с, – до 150 м³/с. Шапсугское водохранилище рассматривалось как важный элемент системы защиты пойменных и дельтовых территорий Нижней Кубани от наводнений и ему отводилась особая роль в едином водохозяйственном комплексе противопаводковой защиты. Паводки на р. Афипс характеризуются внезапностью наступления, быстротой подъема и спада, малой продолжительностью [2, 3].

За истекший период эксплуатации железобетонное крепление верхового откоса грунтовой плотины разрушилось, имеются оползни на низовом откосе. Существующее водосбросное сооружение имеет эрозионные повреждения бетонных конструкций. Практически на всех сооружениях имеются разрушения, связанные с прорастанием на них влаголюбивой растительности. В настоящее время реконструкция ведется по проектам, согласованным государственной экспертизой. Однако в ложе водохранилища и по линейным границам гидротехнических сооружений не предусмотрено никаких технологических мероприятий по защите от прорастающей растительности. В то же время происходит естественное зарастание ложа влаголюбивыми растениями и распространение растительности на откосы дамб, что вызывает их ускоренную деформацию уже на этапе реконструкции. Под ее воздействием на вновь возводимых сооружениях происходят разрушения температурно-осадочных швов и каменной наброски.

Водохранилище после реконструкции необходимо подготовить к затоплению. Однако состояние этих объектов перед повторным затоплением кардинально отличается от первоначального запуска водохранилища в эксплуатацию. В связи с этим проектировщики и производственники столкнулись с отсутствием:

- реальных исследований естественных процессов, происходящих после опорожнения таких объектов;
- технологий и приемов борьбы с влаголюбивой растительностью на граничных участках ГТС и зонах переменного уровня в ложе водохранилищ;
- современных методик использования дистанционного зондирования земли для оценки состояния ложа мелиоративных водохранилищ.

В настоящее время хорошо изучены вопросы расчета и строительства объектов водохозяйственного комплекса. В то же время ввиду постепенного зарастания необходимо проведение реконструкции с использованием средств, предотвращающих развитие растительности на их объектах. Произрастание

растительности нарушает целостность и ремонтпригодность сооружений уже на этапе реконструкции. Таким образом, необходимо обоснование технологических схем и методов борьбы с негативным воздействием влаголюбивых растений в зоне переменного уровня и на отдельных элементах сооружений.

Большие объемы разрушений, вызванные износом и зарастанием сооружений, требуют разработки способа защиты элементов сооружений от прорастающей растительности и методики расчета для обоснования оптимальных характеристик материала, предотвращающего развитие растений. При этом необходимо обосновать повторный ввод в эксплуатацию Шапсугского водохранилища и провести комплексные натурные исследования первично опорожненного водохранилища.

На Шапсугском водохранилище в районе с естественным повышением отметок ложа, при понижении значения НПУ вода начала активно прогреться, что способствовало ускоренному зарастанию тростником южным. На дамбе водохранилища наблюдались просадки проходящей по гребню дороги, разрушение железобетонного крепления откосов вредоносными растениями. Происходили разрушения сооружений водосброса. При выводе водохранилища из эксплуатации его ложе оголилось, а существующие мелководья с зарослями явились очагами распространения влаголюбивой растительности. В период реконструкции сооружений образовался значительный стеблестой растений, на некоторых участках произошло развитие древесно-кустарниковой растительности. Следовательно, для безаварийной работы, после повторного ввода в эксплуатацию, необходимо очистить ложе и блокировать развитие этих растений вблизи сооружений напорного фронта водохранилища, а также на подверженных зарастанию мелководьях. Для решения этой задачи необходимо провести комплексное изучение состояния ложа опорожненного водохранилища и проанализировать процесс развития наиболее опасного для сооружений растения.

Анализ условий повторного ввода водохранилища в эксплуатацию показывает, высокую эффективность сохранения регулирующей емкости водохранилища [4]. При этом в период повторного ввода водохранилища в эксплуатацию возникают иные условия, чем в момент его первоначального наполнения. За длительный период работы произошло заиливание ложа, разрушение целостности дамб в том числе и влаголюбивыми растениями, деформации и разрушения гидротехнических сооружений. В районе с естественным повышением отметок ложа, при понижении значения НПУ вода начала активно прогреться, что способствовало ускоренному зарастанию тростником южным. При выводе водохранилища из эксплуатации его ложе оголилось, а

существующие мелководья с зарослями явились очагами распространения влаголюбивой растительности. В период реконструкции сооружений образовался значительный стеблестой растений, на некоторых участках произошло развитие древесно-кустарниковой растительности. Следовательно, для повторного ввода в эксплуатацию, необходимо очистить ложе и блокировать развитие этих растений вблизи сооружений напорного фронта водохранилища, а также на подверженных зарастанию мелководьях. Для решения этой задачи необходимо провести комплексное изучение состояния ложа опорожненного водохранилища и проанализировать процесс развития наиболее опасных для сооружений растений.

В процессе натурных исследований ложа водохранилища производилось изучение степени заиления, состава растительности и характера зарастания, а также динамики уровня грунтовых вод. Изучение степени заиления необходимо для оценки возможности дальнейшего эффективного использования водохранилища, также использования донных отложений в строительных или мелиоративных целях, обосновании способов расчистки ложа и реконструкции гидротехнических сооружений. Степень зарастания и типы растений влияют на срок эксплуатации и интенсивность износа гидротехнических сооружений, биологическое состояние ложа водохранилища, его полезную емкость. Необходимость в изучении динамики грунтовых вод, связана с выбором способа борьбы с влаголюбивой растительностью и периода очистки от конкретных растений.

В процессе исследований были использованы и обработаны материалы ранее проводимых обследований геологического состава донных отложений [2, 3] и динамики формирования растительного покрова в ложе водохранилища. До 1985 года водохранилище эксплуатировалось в усиленном режиме. Отметка НПУ была равна 20,79 м, а среднемноголетняя годовая отметка воды – 19,52 м (1975–1985 гг.) С начала 90-х годов водохранилище эксплуатировалось в “щадящем” режиме. Среднемноголетняя годовая отметка воды за период 1992–2000 гг. составила 18,87 м. Среднемноголетняя отметка воды за холодный период года составила 18,63 м, а за теплый – 19,01 м.

График уровневого режима Шапсугского водохранилища за период 1975–2000 гг. приведен на рис. 1. Анализ показывает, что в следствии понижения уровней воды в водохранилище в последнее десятилетие перед опорожнением резко проявились негативные явления, характерные для небольших и неглубоких водоемов:

– наблюдалось интенсивное заиление чаши водохранилища, примыкающей к устьям рек Афипс и Убин;

- на 15 % возросла площадь акватории с глубинами менее 2,0 м;
- происходило интенсивное зарастание чаши водохранилища влаголюбивой и древесно-кустарниковой растительностью.

Доля Кубанской воды в общем годовом объеме Шапсугского водохранилища достигала 25-30 %, а в маловодные годы – до 50 %. Подпитка осуществлялась насосной станцией № 3, расположенной на 204 км от устья реки. Данный створ располагается ниже г. Краснодара, 95 % сточных вод которого (промышленные, хозяйственно-бытовые, ливневые, сбросные с мелиорированных сельхозугодий) сбрасываются в р. Кубань. Качество воды на данном отрезке реки соответствует IV классу чистоты воды (загрязненная вода). В период эксплуатации водохранилища отмечалось значительное содержание легкоокисляющихся органических веществ (среднегодовое значение БПК₅ достигали 10-19 мг О₂/дм³), нефтепродуктов (0,26-0,57 мг/дм³), железа (0,3-0,5 мг/дм³), аммония (0,55-0,84 мг/дм³), нитритов (до 0,14 мг/дм³), а также меди.

Наиболее полноводным притоком водохранилища является р. Афипс, которая наряду с другими реками, впадающими в водохранилище, имеет схожие с ними характеристики. В нижнем течении реки располагается п. Афипский, который и оказывает воздействие на качество воды устьевое участка. Здесь отмечалось повышенное содержание органических веществ, нефтепродуктов, фенолов, а также железа и меди. При гидрохимическом обследовании водохранилища 2001 г. в устье реки зафиксировано повышенное содержание нитритов (0,086 мг/дм³) и фенолов (0,006 мг/дм³).

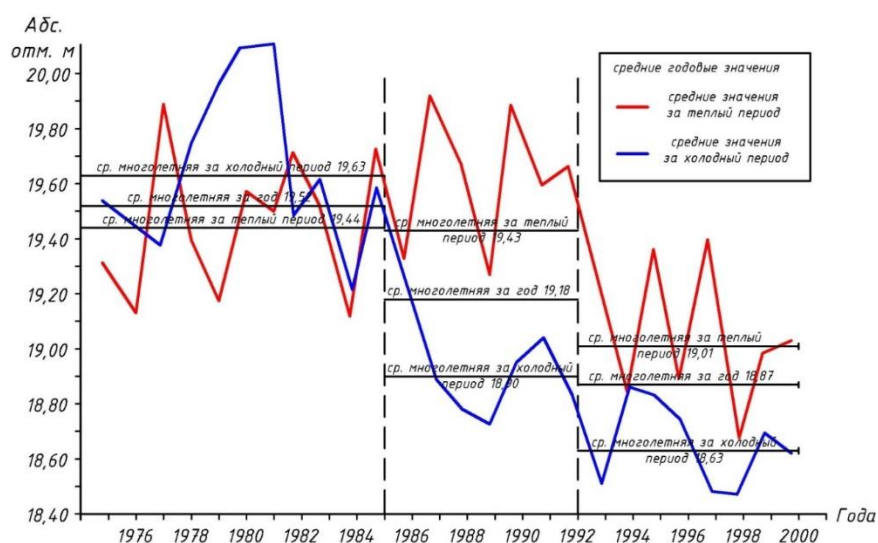


Рис. 1. График уровня режима Шапсугского водохранилища за период 1975–2000 гг.

В связи с тем, что Шапсугское мелиоративное водохранилище характеризуется небольшими глубинами (максимальная глубина при НПУ составляет 3,25 м), площадь мелководных участков в период с 1992 по 2000 гг. составила 66 % от общей площади водохранилища. Мелководные участки приурочены к западной, южной и юго-восточной частям чаши водохранилища, образовывали единый массив. Мелководные участки в южной и юго-восточной части водохранилища характеризовались частой сменой затопления и подтопления. Мелководные участки в западной части водохранилища были приурочены к устьям рек Афипс и Убин. Характерно поступление значительных объемов твердых наносов, взвешенных, биогенных и органических веществ. Развитие мелководий происходило в условиях промывного режима, наблюдалось интенсивное зарастание древесно-кустарниковой и влаголюбивой растительностью.

К 2001 году юго-западная часть водохранилища интенсивно заилилась. Об этом свидетельствуют многочисленные острова и отмели, сформировавшиеся здесь в течение 10-15 лет. Одной из возможных причин заиления может быть понижение уровней водохранилища. Данные гидрологических исследований рек Афипс и Убин, выполненных ОАО "Кубаньводпроект", свидетельствуют о частичном размыве донных отложений в нижнем и среднем течении этих рек и выносе их в чашу водохранилища. Заиление юго-западной части водохранилища способствовало увеличению темпов зарастания водохранилища не только влаголюбивой, но и древесно-кустарниковой растительностью, а также увеличению площади мелководных участков.

В 2001 г. заросли растений занимали в южной части водохранилища всю площадь мелководья с глубинами до 1,0 м и значительную часть с глубинами 1,0–2,0 м. В западной части водохранилища еще более быстрыми темпами распространялась влаголюбивая (тростник, рогоз, тростник южный, водяной орех и др.) и древесно-кустарниковая (ивы) растительность. В этой части водохранилища заросла практически вся площадь мелководий. В связи с интенсивным процессом заиления данного участка водохранилища происходит замещение влаголюбивой растительности древесно-кустарниковой. В последние годы перед опорожнением наблюдалось интенсивное превращение Шапсугского водохранилища в водоем плавневого типа. Водная толща водохранилища большую часть года хорошо освещена и прогрета, что способствовало интенсивному развитию процессов фотосинтеза, широкому распространению низшей и высшей водной растительности. Динамика распространения в чаше водохранилища влаголюбивой растительности за период 1970-2001 гг. [2, 3] показана на рис. 2.

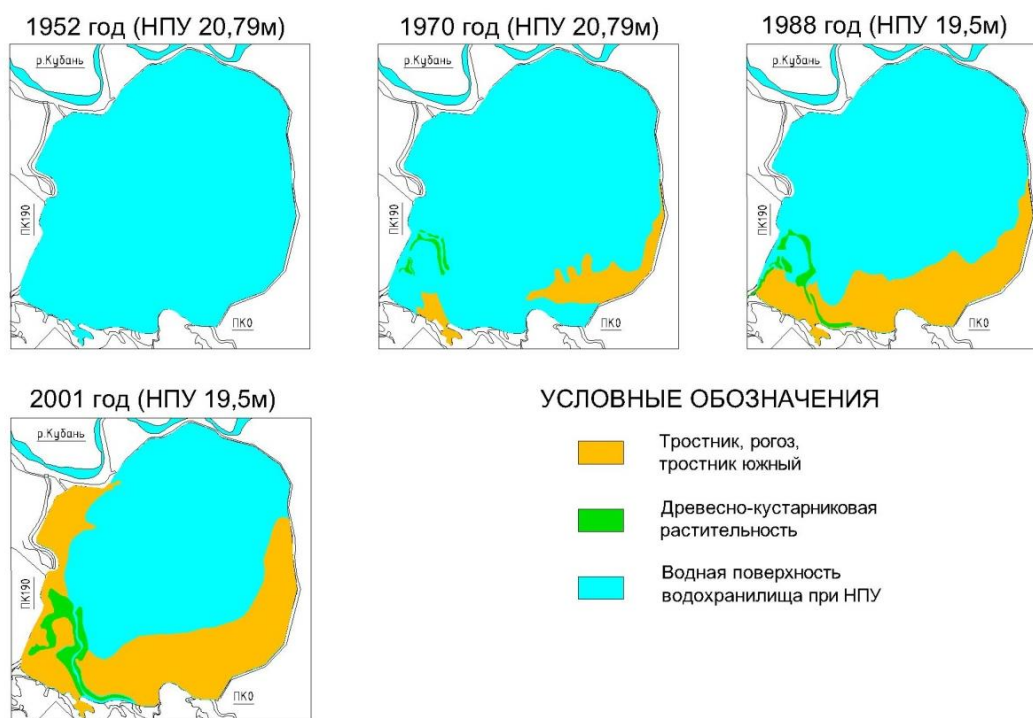


Рис. 2. Динамика распространения в чаше водохранилища влаголюбивой растительности

Перед спуском водохранилища было характерно «цветение» воды в летний период и зарастание акватории. Следует отметить, что данные процессы характерны для многих водоемов и необходимо уделять внимание проблемам их экологической безопасности. Исследования и наблюдения в период эксплуатации водохранилища проводились для выявления повреждений гидротехнических сооружений и определения качества воды в нем и его притоков. Анализ современного экологического состояния Шапсугского водохранилища выявляет прямую его зависимость от особенности эксплуатации водохранилища до опорожнения.

Список литературы

1. Министерство сельского хозяйства СССР. Главводпроект-Гипроводхоз Краснодарский филиал. Временная инструкция по технической эксплуатации Шапсугского водохранилища. Краснодар, 1952. 39 с.
2. ОАО «Кубаньводпроект». Обоснование инвестиций, в реконструкцию объекта «Реконструкция сооружений Шапсугского межрегионального водохранилища республики Адыгея». Т. 1. Кн. 1. Сводная пояснительная записка. Краснодар, 2001. 333 с.
3. ОАО ПИ «Кубаньводпроект» Техничко-экономическое обоснование (проект) 1 очереди реконструкции сооружений Шапсугского межрегионального водохранилища Республики Адыгея. Т. 1. Кн. 1. Сводная пояснительная записка. Краснодар, 2005. 293 с.
4. Кирсанов А.А., Шишкин В.О. Оценка эффективности инвестиционного проекта реконструкции Шапсугского водохранилища. // Труды Кубанского государственного аграрного университета. Краснодар, КубГАУ, 2014. № 3 (48). С. 189–194.

НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ОТЛОЖЕНИЯМИ НАНОСОВ В ЗОНЕ ВЫКЛИНИВАНИЯ КРАСНОЯРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Гасюль С.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Управление эксплуатации Красноярского водохранилища», г. Дивногорск
E-mail: fgusuekv@mail.ru

Аннотация. Рассматриваются результаты многолетних наблюдений за отложениями наносов в зоне выклинивания Красноярского водохранилища.

Ключевые слова: Красноярское водохранилище, зона выклинивания, батиметрическая съёмка.

MONITORING OF SEDIMENT DEPOSITION IN THE WEDGING OUT ZONE OF THE KRASNOYARSK RESERVOIR

Gasyl' S.V.

Federal state budgetary institution «management manual of the Krasnoyarsk reservoir operation», Divnogorsk

Abstract. The results of long-term observations of sediment deposits in the area of wedging out zone of the Krasnoyarsk reservoir are considered.

Keywords: the Krasnoyarsk water reservoir, wedging out zone, bathymetric survey.

При зарегулировании стока рек и создании на них искусственных водохранилищ происходят значительные изменения гидрологических, гидробиологических и других условий во вновь образованных водоёмах.

Красноярское водохранилище находится на территории двух субъектов Российской Федерации – Красноярского края и Республики Хакасия. Водохранилище простирается с юга на север в долине р. Енисей – от столицы Республики Хакасии г. Абакан, где одноименная река впадает в Енисей, до г. Дивногорск, где расположена плотина Красноярской ГЭС (рис. 1).

Красноярское водохранилище образовано в результате перекрытия русла р. Енисей в 2456 км от ее устья и в 41 км выше г. Красноярск плотиной Красноярской ГЭС. Местоположение створа плотины – 55°55'54" с.ш., 92°18'06" в.д.

Основное перекрытие русла р. Енисей было осуществлено 25 марта 1963 г. Заполнение водохранилища началось 18 апреля 1967 г. Отметка НПУ (243 м) была достигнута 07 августа 1970 г. Красноярская ГЭС сдана в промышленную эксплуатацию 26 июля 1972 г.. Красноярское водохранилище предназначалось для комплексного использования: гидроэнергетики, водоснабжения, водного транспорта, рыбного хозяйства, орошения, лесосплава, рекреации [1].

Красноярское водохранилище является водохранилищем проточного типа, поэтому для него характерно постоянное изменение соотношения основных элементов водного баланса: притока воды в водохранилище и сброс воды через сооружения гидроузла. Движение водных масс Красноярского водохранилища обусловлено, преимущественно, стоком через плотину ГЭС, ветровым режимом и сезонными циркуляциями воды. Скорость течения воды снижается по оси от зоны подпора (0,14 м/с) до плотины (0,02-0,05 м/с) [1]. Среднее падение уровня Красноярского водохранилища составляет 3 см/км в направлении плотины Красноярской ГЭС.

Наполнение водохранилища начинается весной, заканчивается в первой декаде августа. Средняя скорость подъёма уровня воды за сезон варьирует от 10 до 23 см/сут. Основной приток воды на 95 % формируется за счет рек Енисей, Абакан, Туба и Сыда.

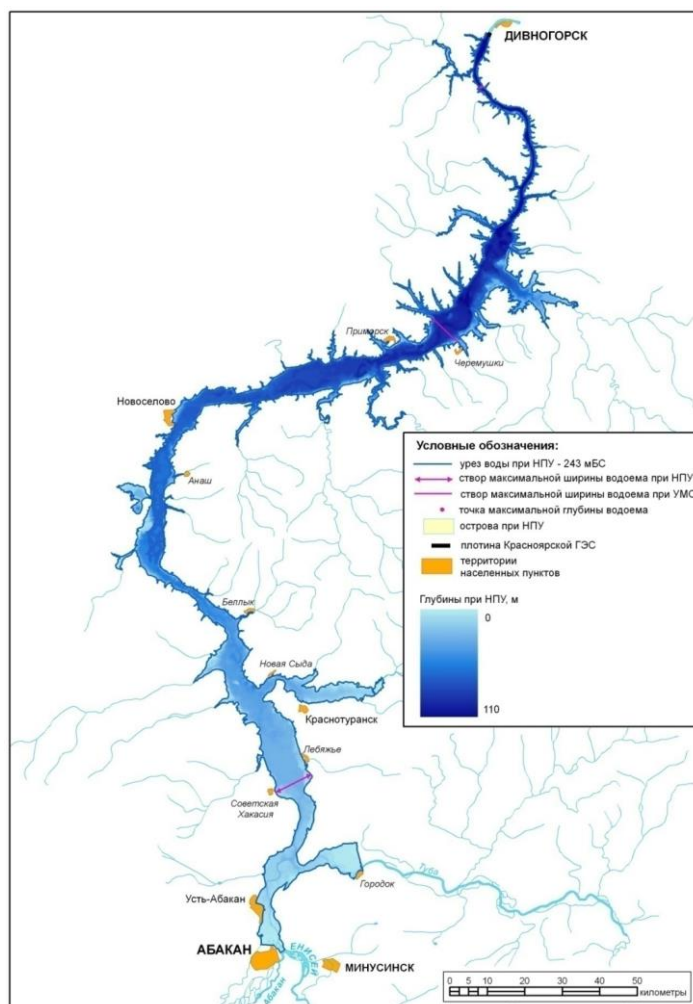


Рис. 1. Схема Красноярского водохранилища

На формирование дна водохранилища оказывают влияние многие факторы, в первую очередь, взвешенные наносы р. Енисей и боковых притоков, а также процессы переформирования берегов.

Основной целью данной работы является обобщение полученной в период 2015-2018 гг. достоверной и качественной информации для ежегодного анализа изменений рельефа дна и величины наносов донных отложений.

Основная задача – оценить факторы, существенно влияющие на характер, направленность и интенсивность процессов осадконакопления Красноярского водохранилища.

Наблюдения за состоянием дна, берегов и водоохранной зоной Красноярского водохранилища осуществляет ФГУ «УЭКВ», в соответствии с постановлением Правительства РФ № 219 от 10.04.2007 г. «Об утверждении положения об осуществлении государственного мониторинга водных объектов».

Русловые процессы в Красноярском водохранилище, да и во всех водохранилищах в целом, относятся к очень сложным природным процессам. Схематически эти процессы можно охарактеризовать так: вода, стекающая под действием силы тяжести по земной поверхности, вырабатывает углубления русла, в котором концентрируется сток. Русловой поток обладает энергией, которая расходуется на размыв, вынос продуктов выветривания и склоновых процессов, транспортировку частиц наносов, поэтому он всегда способен переносить твёрдый материал в виде растворов и размывать дно и берега.

Изучая закономерности формирования берегов крупных водохранилищ и их обусловленность процессами волновой (ветровое волнение) и неволновой (стоковые течения) природы, С.Л. Вендров вплотную подошел к пониманию существенной неоднородности среды рельефообразования и осадконакопления в котловинах искусственных водоёмов. Он сформулировал положение о зональности гидрологических процессов на водохранилищах, суть которого состоит в выделении: (1) зоны выклинивания подпора, (2) мелководной зоны, (3) промежуточной зоны или зоны средних глубин и (4) глубоководной зоны [2].

На основании этого положения и Программы государственного мониторинга Енисейского БВУ, выполняемой ФГУ «Управление эксплуатации Красноярского водохранилища» (далее ФГУ «УЭКВ»), места проведения батиметрических съемок определены для 3 основных частей водохранилища: верхней (Моховский плёс), средней (Новосёловский плёс) и нижней (выше плотины Красноярской ГЭС на 1 км). В месте впадения в водохранилище р. Абакан влияние подпора водохранилища еще незначительное, поэтому здесь более показательным является разрез в верхней части водохранилища (Моховский плёс).

Верхняя часть водохранилища протяжённостью 53 км от порта Абакан до н.п. Советская Хакасия находится в зоне переменного подпора и является

мелководной, по сравнению с нижней приплотинной частью. Твёрдый сток Енисея перехватывается вышележащими Саяно-Шушенским и Майнским водохранилищами. Река Абакан оставляет свои наносы на сравнительно коротком участке в верхней части водоёма, называемой зоной выклинивания, отсюда и большое число островов в этой части водохранилища.

В пределах этой области ведущим фактором формирования и развития рельефа являются стоковые (проточные) течения. Однако следует заметить, что только в верхней части водохранилища стоковые течения имеют скорость, достаточную для переноса продуктов размыва тонкозернистых рыхлых отложений. Во всех других случаях эти течения участвуют в формировании шлейфов взвешенного материала, поставляемого в водоем при размыве его берегов волнами и впадающими водотоками.

Наибольшие величины скорости течения наблюдаются в период наполнения водохранилища только в его верхней части – в зоне переменного подпора. Здесь скорость течения колеблется от 9,7 км/ч весной до 1,8 км/ч – летом [3]. Во время стабилизации уровня воды и при последующем его понижении, скорость проточного течения повсеместно уменьшается в 1,5 раза и более. Чем выше уровень на речном участке и чем больше сработка водохранилища, тем сильнее течение [3].

Наблюдения за состоянием дна являются частью Программы государственного мониторинга Енисейского БВУ и проводятся с 2011 г. В данной работе отражены результаты исследований профиля дна водохранилища в период с 2015 по 2018 гг. Батиметрическая съёмка дна выполнялась эхолотом-картплоттером LOWRANCE HDS-7 GEN 2 (рис. 2) с точной привязкой профилей к существующим реперам.



Рис. 2. Батиметрическая съёмка эхолотом-картплоттером LOWRANCE HDS 7 GEN2 в районе Моховского плёса, 09.07.2018 г.

После необходимой обработки результаты батиметрической съёмки представляют собой массив данных, содержащих информацию о пространственном распределении глубин в зоне исследования. В дальнейшем данные

используются для анализа рельефа дна и величины наносов. Для наглядности представляются в виде графиков изменения рельефа дна (рис. 4).

Местоположение участка съёмки – правый и левый берега водохранилища в Усть-Абаканском районе Республики Хакасия, в 2858 км от устья р. Енисей, ниже н.п. Мохово, выше залива Туба. Координаты точек профилей и длина профилей приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика профилей батиметрической съёмки

Про- филя	Точка	Координаты		Протяжён- ность профиля, км	Величина наносов, м (по данным В.Г. Чухломина)			
		с.ш.	в.д.		2015г	2016г	2017г	2018г
1	M1	53°58'02,2''	91°27'31,4''	8,6	от - 0,13 до +0,19	от - 0,25 до +0,17	от - 0,19 до +0,22	от - 0,14 до +0,20
	M2	53°53'30,4''	91°25'21,2''					
2	M2	53°53'30,4''	91°25'21,2''	3,2				
	M3	53°52'56,2''	91°28'15,3''					
3	M3	53°52'56,2''	91°28'15,3''	9,8				
	M4	53°57'33,0''	91°32'47,5''					
4	M5	53°55'51,0''	91°24'59,5''	7,7				
	M6	53°55'02,1''	91°31'47,2''					
5	M7	53°54'49,1''	91°24'49,2''	7,6				
	M8	53°55'04,2''	91°31'45,4''					
6	M4	53°57'33,0''	91°32'47,5''	5,7				
	M1	53°58'02,2''	91°27'31,4''					

В процессе выполнения работ в 2015 и 2018 гг. было снято 6 профилей, расположение которых указано на схеме (рис. 3). В 2016 и 2017 гг. съёмка проводилась по трем профилям – М1-М4, М2-М3, М5-М6.

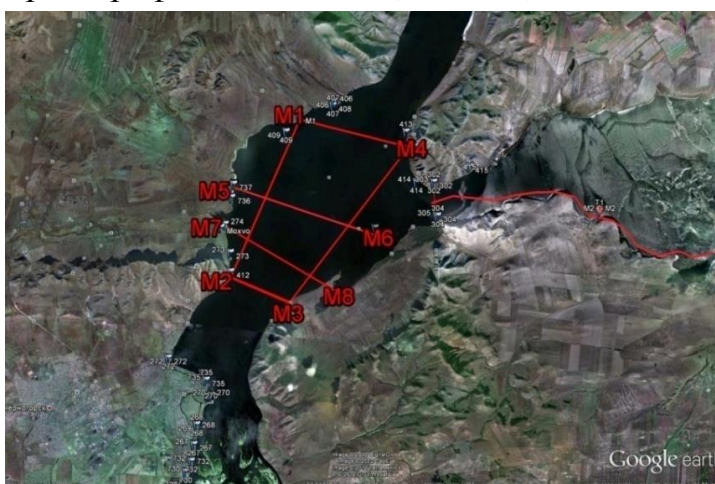


Рис. 3. Схема обследования дна водохранилища в районе Моховского плёса

Сравнивая графики изменения рельефа дна по профилю М1-М4 (Моховский плёс) за период 2015-2018 гг., можно сделать вывод, что рельеф дна за указанный период времени не претерпел значительных изменений (рис. 4).

Величина наносов донных отложений на Моховском плёсе варьируется в пределах от $-0,25$ до $+0,22$ м (табл. 1).



Рис. 4. Изменение рельефа дна по профилю М1-М4 в районе Моховского плёса Красноярского водохранилища за 2015-2018 гг.

Список литературы

1. Красноярское водохранилище: мониторинг, биота, качество вод. /под. ред. А.Ф. Алимова, М.Б. Ивановой, отв. за вып. З. Г. Гольд. Красноярск: ИПК СФУ, 2008. 537 с.
2. Хабидов А.Ш., Леонтьев И.О., Марусин К.В. [и др.] Управление состоянием берегов водохранилищ. – Новосибирск, изд-во СО РАН. 2009. 239 с.
3. Карта Красноярского водохранилища. От порта Абакан до Красноярской ГЭС.: ФБУ «Администрация Енисейского бассейна внутренних водных путей», Красноярск. 2018. 23 листа.

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННОГО ОСВОЕНИЯ ОСТРОВОВ И МЕЛКОВОДИЙ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Зиганшин И.И., Иванов Д.В.

Институт проблем экологии и недропользования
Академии наук Республики Татарстан, г. Казань
E-mail.ru: Irek.Ziganshin@tatar.ru

Аннотация. В статье дается оценка рекреационного природопользования на островах Казанского района переменного подпора Куйбышевского водохранилища. Показано, что в настоящее время массовыми видами рекреационного использования островных территорий являются дачная и пикниковая рекреации, пляжно-купальный отдых и любительское рыболовство. Отмечено, что наиболее высокие показатели рекреационной нагрузки приходятся на дачную рекреацию. Учитывая высокую природоохранную и социальную ценность островов как рекреационных объектов для жителей большой городской агломерации Казани, рекомендуется придать им статус земель «особо охраняемых территорий».

Ключевые слова: островные территории; рекреационное природопользование; рекреационная нагрузка; Куйбышевское водохранилище.

PROBLEMS AND PROSPECTS OF TOURIST AND RECREATIONAL DEVELOPMENT OF ISLANDS AND SHALLOW-WATER AREAS IN THE KUIBYSHEV RESERVOIR

Ziganshin I.I., Ivanov D.V.

Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth
Use of Tatarstan Academy of Sciences, Kazan

Abstract. The article assesses recreational nature management on the Kazan' region Islands of the Kuibyshev reservoir variable backwater. It is shown that at present the mass types of recreational use of the island territories are country and picnic recreations, bathing beach holidays and amateur fishing. It is noted that the highest rates of recreational load fall on country recreation. Given the high environmental and social value of the Islands as recreational facilities for residents of the large urban agglomeration of Kazan, it is recommended to give them the status of land "specially protected areas".

Keywords: island territories; recreational nature management; recreational load; Kuibyshev reservoir.

Куйбышевское водохранилище является крупнейшим в Европе по полному и полезному объёмам. Расположено оно в центральной части Среднего Поволжья, начинаясь в лесной зоне и заканчиваясь у южной границы лесостепи верхними Волжским и Камским отрогами, связывающими запад и восток территории. Относится к типу сложных пойменно-долинных водохранилищ [1]. Протяженность акватории равна примерно 500 км по р. Волга и около 300 км – по р. Кама; площадь акватории при нормальном подпорном уровне (НПУ) 6150 км². Гидрорежим водоема характеризуется сезонным

регулированием стока: в весенний период он наполняется до НПУ, в остальное время идет сброс воды, из-за которой в отдельные годы его уровень может понижаться на несколько метров, освобождая полностью от воды мелководья. В разные годы мелководные участки водохранилища могут на весь вегетационный период остаться необводненными, или наоборот, очень высокий водный уровень может держаться все лето [2].

В результате заполнения ложа водохранилища, в его акватории образовались многочисленные острова и мелководные участки, представляющие наиболее высокие пойменные и террасные геоморфологические структуры долинного ландшафта. Наибольшее количество островных территорий (более 325) приходится на Казанский район переменного подпора Куйбышевского водохранилища (рис. 1).

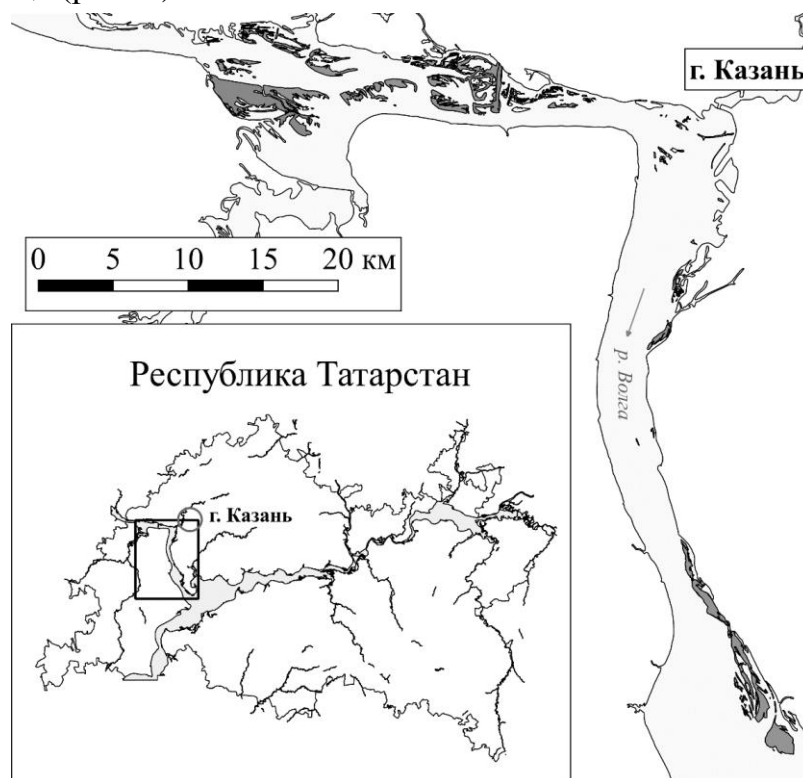


Рис. 1. Островные системы Казанского района переменного подпора Куйбышевского водохранилища

В условиях сложившегося в регионе дефицита рекреационных зон в местах постоянного проживания населения значительно возрастает роль островных территорий и мелководий Куйбышевского водохранилища как объектов рекреации. Обладая эстетической привлекательностью, природной, культурно-исторической и лечебно-оздоровительной значимостью, они используются для организации массового отдыха населения, в том числе для садово-дачной рекреации. Рекреационное природопользование может рассматриваться как средоохранное и оказывающее несомненное позитивное социальное,

психологическое и оздоравливающее воздействие на людей. При этом имеют место быть и отрицательные последствия рекреационного воздействия на островные комплексы, которые выражаются в широком спектре различных антропогенных воздействий (повреждение почвенно-растительного покрова, развитие эрозионных и абразионных процессов, замусоривание бытовыми и промышленными отходами, повреждение лесных насаждений, загрязнение водных ресурсов, изменение характеристик видового разнообразия животного и растительного мира).

В настоящей работе представлены результаты исследования туристско-рекреационного освоения островов и мелководий Казанского района переменного подпора Куйбышевского водохранилища в летний период 2018 г. Оценка рекреационной освоенности островных территорий и мелководных участков определялась визуально при их натурном обследовании. Измерение фактической рекреационной нагрузки на острова проводились маршрутным методом, согласно методике [3] и с использованием квадрокоптера, с последующим анализом фотоснимков. Показатели рекреационной нагрузки оценивались только для тех островов и мелководий, для которых в процессе полевого обследования было выявлено наличие соответствующих видов рекреационного использования земель (садово-дачная рекреация, пикниковый отдых, пляжно-купальная рекреация, любительское рыболовство и т.д.). Обследование проводилось регулярно с июня по август 2018 г.

Для характеристики рекреационного природопользования исследуемые острова Куйбышевского водохранилища были объединены в 5 систем, в зависимости от их местоположения относительно того или иного реперного населенного пункта: Зеленодольская, Займищенская, Куземетьевская, Казанская, Тетеевская (табл. 1).

Таблица 1

Распределение островов Казанского района переменного подпора Куйбышевского водохранилища по системам

Системы островов	Количество островов	Площадь, га
Зеленодольская	104	962.11
Займищенская	81	602.7
Куземетьевская	48	198.89
Казанская	44	202.3
Тетеевская	48	856.61
Всего	325	2824.74

Результаты проведенного исследования показали, что острова и мелководные участки Казанского района переменного подпора Куйбышевского

водохранилища используются для разнообразных видов стационарной (дачная рекреация, базы отдыха, рыбацкие дома) и мобильной рекреаций (пляжно-купальный отдых, пикниковая рекреация, любительское рыболовство с берега, сбор ягод, грибов и растений).

В зависимости от уровня рекреационного воздействия, все островные территории можно подразделить на три основные группы:

– с высокой интенсивностью рекреационного воздействия (с дачной застройкой, пляжами и другими зонами массового отдыха);

– со средней интенсивностью рекреационного воздействия (используются для кратковременного пикникового отдыха, любительской рыбалки, сбора ягод, грибов и лекарственных растений);

– с низкой интенсивностью рекреационного воздействия (практически не используются для рекреационных целей).

Наибольшая рекреационная нагрузка на островные экосистемы приходится со стороны садово-дачной рекреации (табл. 2).

Таблица 2

Площади островов Казанского района переменного подпора Куйбышевского водохранилища, занятые под дачную застройку

Системы островов	Количество островов	Площадь, га
Зеленодольская система		
Всего островов	104	962.1
Островов с дачами	7	5.2
Займищенская система		
Всего островов	81	738.5
Островов с дачами	17	48.1
Куземетьевская система		
Всего островов	48	738.5
Островов с дачами	0	0
Казанская система		
Всего островов	44	209.2
Островов с дачами	9	83.0
Тетеевская система		
Всего островов	48	856.6
Островов с дачами	3	8.1
Все системы		
Всего островов	325	2968.4
Островов с дачами	36	144.4

Количество дачных участков по системам островов распределено неравномерно и составляет 61 в Зеленодольской системе, 796 – в Займищенской, 1093 – в Казанской и 300 – в Тетеевской системах. Различается площадь рекреационной освоенности островов, которая варьирует от 0.1 до 100 %. На

удаленных от г. Казань островах можно встретить только единичные строения. На островах, расположенных ближе к столице Республики Татарстан и на небольшой удаленности от берега, острова могут быть полностью застроены. Природные комплексы на таких островах, по большей части, полностью нарушены и представлены древесно-кустарниковой растительностью. Вместе с тем, на целом ряде «обитаемых» островов Займищенской системы отмечено значительное разнообразие растительного и животного мира, в том числе редкие для республики виды, внесенные в Красные книги Республики Татарстан и Российской Федерации. Дачные участки на таких островах чаще всего расположены узкой полосой вдоль берега острова, а основная его часть является недоступной для человека из-за плотных зарослей древесно-кустарниковой растительности.

Другими массовыми видами рекреационного использования островов и обширных мелководных зон в летний период являются пляжно-купальный и пикниковый отдых, любительское рыболовство, палаточный туризм. Преобладающим видом рекреационного использования на большинстве мелководных участков и островов в будние дни явилось любительское рыболовство, в выходные – пикниковая рекреация. Пляжно-купальный отдых преобладал на ряде островов лишь в самые жаркие дни летнего сезона 2018 г. В общей сложности, на исследуемых островных территориях в летний период было отмечено 83843 человека. Собранные в ходе наблюдений с июня по август 2018 г. данные о фактической рекреационной нагрузке свидетельствуют о большой вариабельности активности рекреационного посещения исследуемых объектов. При средней величине посещаемости 902 чел./день, разброс значений значителен – от 7 до 2892 чел./день. Рекреационная нагрузка значительно увеличивается с ростом температуры атмосферного воздуха и воды. Максимальные показатели посещения отмечены в самые жаркие выходные дни июля и августа.

В общей сложности, по результатам исследований 2018 г., можно выделить 16 островов и мелководий Казанского района переменного подпора Куйбышевского водохранилища, являющихся популярными местами таких видов отдыха у населения гг. Казань, Зеленодольск и пригородов (табл. 3). На этом фоне выделяются два объекта – остров № 71 в Зеленодольской системе и полуостров № 129, для которых характерна рекреационная нагрузка от 6 до 31 тыс. чел. в сезон.

Таблица 3

Рекреационная нагрузка на острова Куйбышевского водохранилища в летний период 2018 г.

№ острова	Рекреационная нагрузка, чел./сезон	Средняя величина посещаемости, чел./день	Средняя плотность рекреантов, чел./га	Максимальная плотность рекреантов, чел./га	Рекреационная освоенность территории, %
3	360	3.5	1.9	4.7	11.4
4	189	4	1.6	10.7	65
8	845	9	0.2	0.8	24.4
9	225	2	0.1	0.4	2
17	283	3	0.01	0.06	0.1
57	270	3	0.1	0.7	3
71	6015	65	0.6	3.3	7
88	478	5	0.2	0.8	2
89	218	7	1.3	3.7	6
90	420	5	0.06	0.3	4
129	30885	366	1.02	7.88	90
141	228	3	0.4	2.2	71
192	277	6	0.8	2.8	0.8
198	130	1.5	2.2	18	33.5
213	798	9	4.6	34	44.6
221	350	4	0.9	6.3	37

Это дает основания рекомендовать эти объекты для выделения в качестве рекреационных зон с присвоением статуса земель рекреационного назначения.

В целом, учитывая высокую природоохранную ценность природно-территориальных комплексов островов Куйбышевского водохранилища, а также их высокую эстетическую и социальную ценность как рекреационных объектов для жителей большой городской агломерации Казани, необходима организация контроля за соблюдением режима водоохраных зон и иных требований земельного и водного законодательства. Мелководные участки, основным компонентом биоценозов которых являются заросли высшей водной растительности, являются зонами биологического самоочищения, поэтому следует ограничить любую деятельность, приводящую к уничтожению зарослевых ценозов или способствующую сокращению их площадей.

Список литературы

1. Эдельштейн К.К. Водные массы долинных водохранилищ. М.: Изд-во МГУ, 1991. 176 с.
2. Бамбуров И.С., Викулов А.И., Выхристюк М.М., Селезнев В.А. Изменчивость основных гидрологических факторов переформирования берегов // Динамика ландшафтов в зоне влияния Куйбышевского водохранилища. СПб, 1991. С. 6–77.
3. Временная методика определения рекреационных нагрузок на природные комплексы при организации туризма, экскурсий, массового повседневного отдыха и временные нормы этих нагрузок. М.: Гослесхоз СССР, 1989. 186 с.

ОСОБЕННОСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ КРУПНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ

Лепихин А.П., Любимова Т.П.

Пермский федеральный исследовательский центр

E-mail: lepihin49@mail.ru

Аннотация. Водохранилище сейчас является одним из наиболее распространённых водных объектов. При решении широкого круга водохозяйственных задач наибольший интерес представляют оценка, анализ возможных на нем экстремальных ситуаций. Такие оценки могут быть получены только на основе проведения физического моделирования или выполнения вычислительного эксперимента.

Очень быстрое развитие вычислительных средств делает наиболее востребованным построение гидродинамических моделей этих объектов и выполнение на них основных вычислительных экспериментов.

В данной статье рассмотрены и проанализированы конкретные примеры построения моделей данных объектов от «0» до «3» - мерных в негидростатическом приближении, а также их сопряжение для решения важных конкретных задач. Размерность используемых моделей определяется характером решаемых задач. Так как использование 3D моделей в негидростатическом приближении требует для своей реализации очень значительных вычислительных ресурсов, то эффективным в данной ситуации будет использование комбинированного подхода, основанного на сопряжении моделей в 1D-2D-3D-постановках.

Ключевые слова: водохранилище, гидродинамическое моделирование, решение системы уравнений Сен-Венана, 1D-2D-3D-постановки.

PECULIARIES OF COMPUTING HYDRODYNAMICS FOR LARGE RESERVOIRS

Lepikhin A.P., Lyubimova T.P.

Perm Federal Research Centre

Abstract. At present, a reservoir is one of the most widespread water bodies. When solving a wide range of water economic tasks, assessment and analysis of its possible extreme situations are of great interest. Such assessments can be received only on the basis of physical modelling or computing experiment.

Very rapid development of computing means makes hydrodynamic model construction of these water bodies and carrying out main computing experiments on them the most demanded.

In the article, the concrete examples of modelling these water bodies from 0 to 3-dimensional in non-hydrostatical approximation as well as their conjugation for solving the important concrete tasks are considered and analyzed. Dimension of the models used is determined with the type of the tasks solved. Since 3D models use in non-hydrostatic approximation requires very significant resources for their realization, so in this situation, using combined approach based on conjugating models in 1D-2D-3D positing's will be effective.

Keywords: reservoir, hydrodynamic modelling, Saint-Venant equation system, 1D-2D-3D-positings.

Для эффективного решения широкого круга задач охраны и рационального использования таких специфических водных объектов, как водохранилища, необходима максимально полная информация о распределении по их акватории гидродинамических параметров, химических и физических характеристик качества воды. При этом наибольший интерес данная информация представляет для определенных критических режимов эксплуатации водохранилища.

Наиболее полно такая информация может быть получена на основе сценарных вычислительных экспериментов. Проведение эффективных вычислительных экспериментов требует наличия адекватных рассматриваемым задачам моделей процессов и средств их вычислительной реализации.

В зависимости от особенностей и постановки задачи, модели водохранилищ могут быть в «0», «1», «2», «3» - мерных постановках. Для крупных водохранилищ использование модели в «0» - постановке, предполагающей постоянство всех расчетных характеристик как по акватории, так и по глубине водоема, как правило, некорректно. Такие модели могут быть достаточно эффективны для небольших водных объектов при значительном расчетном времени [1].

Для крупных водохранилищ при решении определенного класса задач вполне корректными могут быть гидродинамические модели в 1D - постановке. При этом осреднение может проводиться по акватории водного объекта, рассматривая в качестве пространственной координаты глубину водного объекта. Такие модели могут быть эффективны при исследовании вертикальной структуры распределения физических и химических показателей качества воды в относительно небольших, но очень глубоких водоемах. В [2] такая модель использовалась для исследования температурного режима Телецкого озера.

Значительно большее распространение получили модели в 1-мерной постановке с осреднением по поперечному сечению потока. Такие модели строятся, как правило, на основе одномерной системы уравнений Сен-Венана. При этом построение вычислительных схем состоит в переводе системы дифференциальных уравнений в соответствующую систему алгебраических уравнений, при чем определяющим параметром выступает размер расчетного шага. Они должны обеспечивать как эффективный учет морфометрических особенностей рассматриваемого водного объекта, так и устойчивых расчетных процедур.

В настоящее время как в нашей стране, так и за рубежом, имеется достаточно много программных продуктов, позволяющих проводить моделирование

в 1D - постановке, отличающихся между собой интерфейсом, особенностями задания исходной информации: River, HEC-RAS, MIKE 11. Такие модели весьма удобны и эффективны, когда ставится задача оценки колебаний уровня воды, распределений по протяженности водохранилища осредненных по сечению скоростей течений. Исходя из простоты и доступности задания исходной информации, такие модели удобно строить в целом для всего водохранилища. При этом они могут эффективно обеспечивать задание граничных условий для более распределенных моделей в 2D и 3D - постановках. Так в [3], в рамках модели в 1D – постановке, было выполнено исследование условий образования обратных течений, фиксируемых в первые годы эксплуатации Воткинского водохранилища. Путем проведения вычислительных экспериментов были установлены условия и особенности формирования обратных течений в различных районах Воткинского водохранилища.

Модели в 2D - постановке в приближении мелкой воды в настоящее время стали наиболее распространённым инструментом исследования гидродинамики водохранилищ [4, 5]. Для повышения их эффективности в описании объектов сложной геометрии активно используются адаптационные сетки, при этом они могут адаптироваться как к «геометрии расчетной области», так и к градиентам поля скоростей потока. Характерный размер расчетной ячейки определяется, с одной стороны, необходимостью учета всех значимых для рассматриваемой задачи морфометрических особенностей водоема, а с другой стороны – технической возможностью доступных вычислительных сред. Если в 1D - постановке минимальный размер расчетного шага определяется, исходя из характерных масштабов инерции рассматриваемого потока, $L \sim H/\lambda$, то для 2D - приближения ситуация значительно более сложная.

При достаточно однородном по глубине потока распределении расчетных показателей, данное приближение позволяет эффективно решать очень широкий круг прикладных задач, связанных с гидродинамикой водохранилищ, распределением химических и физических показателей качества воды по акватории водных объектов. В последние годы в данной постановке стали быстро развиваться модели с подвижным дном [6, 7], которые учитывают влияние не только гидродинамики потока на морфометрию водного объекта, но и обратное влияние морфометрии водотока на ее гидродинамику. Такие модели представляют существенный интерес для исследования влияния прохода паводков на динамику русловых процессов.

Достаточно глубокие водохранилища ($H \gtrsim 4$ м) характеризуются, как правило, значительной вертикальной неоднородностью распределения физических и химических показателей качества воды. При решении широкого

круга задач эти вертикальные неоднородности могут играть ключевую роль, и соответственно, использование моделей в 2D - постановке становится некорректным, в то время как модели в 3D - постановке могут рассматриваться как в гидростатическом приближении, существенно упрощая расчетные схемы и требуя значительно меньших вычислительных ресурсов, так и в негидростатическом приближении.

Как отмечают в [8], модели в гидростатическом приближении являются вполне корректными, если определяющим параметром является

$$\varepsilon = \frac{H_*}{B_*} \lesssim 10^{-2}. \quad (1)$$

Учитывая, что крупные водохранилища характеризуются, как правило, $H \geq 10$ м, $B \sim 10^4$ м, то, согласно требованию (1), условия применимости модели в гидростатическом приближении соблюдаются.

Однако такая трактовка недостаточно корректна, так как, с одной стороны, водохранилища характеризуются существенной неоднородностью морфометрии, а с другой стороны, задачи практического использования водохранилища требуют выполнения детальных расчетов непосредственно с гидротехнических объектов. Естественно, для таких задач условие не может выполняться, требуется использование модели в негидростатическом приближении.

Так как данные модели требуют очень значительных вычислительных ресурсов, выполнение на их основе расчетов для всего водохранилища или достаточно крупного участка представляется весьма затруднительным, в связи с чем была предложена комбинированная схема расчетов, основанная на сопряжении гидродинамических моделей в 1D-2D-3D - постановках. При этом модели в 1D - постановке строятся для всего водохранилища, в 2D - для достаточно крупных участков, расположенных в зонах активного техногенеза, а для зон, прилегающих к источникам загрязнений и водозабора - в 3D, при чем характеристики граничных условий для них ставились из расчетов по моделям более низкого порядка. Данная весьма эффективная схема применялась при исследовании особенностей разбавления в водохранилищах сточных вод, характеризующихся повышенной плотностью [9], формирования зон теплового воздействия крупными энергетическими комплексами [10], организованных селективного забора воды из водохранилища с целью существенного повышения ее потребительских свойств [11, 12].

Выводы. Современные гидродинамические модели позволяют решать очень широкий круг задач, связанных с охраной и рациональным использованием водохранилищ. Размерность используемых моделей определяется

характером решаемых задач. Так как использование 3D моделей в негидростатическом приближении для своей реализации требует значительных вычислительных ресурсов, то в данной ситуации эффективным будет использование комбинированного подхода, основанного на сопряжении моделей в 1D-2D-3D - постановках.

Список литературы

1. Лепихин А.П., Мирошниченко С.А., Тиунов А.А. Особенности влияния объектов нефтедобычи на экологическое состояние озера Нюхти // Водное хозяйство России. 2009. № 5. С. 76-98.
2. Зиновьев А.Т., Копылов Ю.Н., Кузьмин А.А. Одномерная вертикальная модель процесса седиментации в глубоком водохранилище // Водные ресурсы. 1995. Т. 22. № 6. С. 676-683.
3. Лепихин А.П., Тиунов А.А. Возняк А.А. Особенности формирования и расчета обратных течений в Воткинском водохранилище (1D-постановка) // Водное хозяйство России. 2018. № 5. С. 21-36.
4. Лепихин А.П., Садохина Е.Л., Иваненко С.А. Опыт создания и эксплуатации гидродинамических моделей крупных водохранилищ (на примере Камского и Воткинского водохранилищ) // Глобальные природно-антропогенные процессы и экология среды обитания. Сб. тр. Вып. 4. М. 1996. С. 53-66.
5. Веницианов Е.В., Лепихин А.П., Кирпичникова Н.В., Тиунов А.А. Разработка гидродинамической модели и модели формирования загрязнений равнинного водохранилища (на примере Клязьминского) // Водное хозяйство России. 2013. № 2. С. 96-107.
6. Перепелица Д.И., Лепихин А.П., Лепешкин С.А., Тиунов А.А. Оценка деформаций русла реки Камы и разработка рекомендаций по регламентации добычи нерудных строительных материалов в пределах нижнего бьефа Камской ГЭС // Водное хозяйство России. 2018. № 6. С. 39-48.
7. Тиунов А.А. Особенности гидродинамического моделирования русловых процессов (на примере р. Чепца в районе пос. Балезино) // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 16. ГИ УрО РАН. Пермь. 2018. С. 26-29. DOI: 10.7242/gdsp/2018.16.7 <https://elibrary.ru/item.asp?id=36260149>
8. Вольцингер Н.Е., Андросов А.А., Клеванный К.А., Сафрай А.С. Океанологические модели негидростатической динамики: обзор // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2018. Т. 11. № 1. С. 3-20.
9. Lepikhin A.P., Tiunov A.A., Lyubimova T.P., Parshakova Ya.N. Discharge of excess brine into water bodies at potash industry works // J. of Mining Science. 2012. Т. 48. № 2. С. 390-397.
10. Lyubimova T., Lepikhin A., Parshakova Ya., Lyakhin Yu, Tiunov A. The modelling of
11. the formation of technogenic thermal pollution zones in large reservoirs // Internat. J. of Heat and Mass Transfer. V. 126. Part A. N. 2018. P. 342-352.
12. Lyubimova T., Lepikhin A., Parshakova Y., Konovalov V. Formation of the density
13. currents in the zone of confluence of two rivers // J. of Hydrology 508 (2014). P.328-342.
14. Лепихин А.П., Любимова Т.П., Возняк А.А., Паршакова Я.Н., Богомолов А.В. Особенности регулирования качества воды при ее селективном заборе из водохранилищ // Водное хозяйство России. 2017. № 3. С.56-68.

ТИПИЗАЦИЯ ВОДОЕМОВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ТОВАРНОЙ АКВАКУЛЬТУРЫ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ КОМПЛЕКСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 2018 г.)

***Жукова С.В., Подмарева Т.И., Косенко Ю.В., Барабашин Т.О.,
Бурлачко Д.С., Бондарев С.В., Гуськова О.С.***

Азово-Черноморский филиал Федерального Государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» («АзНИИРХ»), г. Ростов-на-Дону

E-mail: gidroazniirh@yandex.ru

Аннотация. Изучена возможность типизации водоемов Ростовской области по гидрологическим, гидрохимическим, гидробиологическим и ихтиологическим критериям. Комплексную оценку этих критериев предложено проводить, согласно разработанной балльной системе. Проведен анализ изученных водоемов для перспектив создания аквакультурных хозяйств.

Ключевые слова: водоем, балльная оценка, гидролого-гидрохимический режим, гидробиологические показатели, ихтиология.

TYPIZATION OF WATER ROSTOV REGION WATER BODIES FOR THE PURPOSES OF GOODS AQUACULTURE BY THE RESULTS OF 2018 COMPLEX RESEARCHES

***Zhukova S.V., Podmareva T.I., Kosenko Yu.V., Barabashin T.O.,
Burlachko D.S., Bondarev S.V., Gus'kova O.S.***

Azov-Black Sea branch of the Federal State Budget Scientific Institution "All-Union Research Institute of Fisheries and Oceanography" ("AzNIIRKH"), Rostov-on-Don

Abstract. The possibility of typing the Rostov region reservoirs according to the hydrological, hydrochemical, hydrobiological and ichthyological criteria is studied. Complex assessment of these criteria is proposed to conduct according to the developed point system. An analysis of the reservoirs to develop aquaculture is carried out.

Keywords: water body, scoring, hydrological and hydrochemical regime, hydrobiological indicators, ichthyology.

При рациональной организации и ведении современного рыбного хозяйства на внутренних водоемах большое значение имеет систематизация разнообразных сведений о них и разработка на основе этой информации универсальной классификации или типизации, учитывающей комплексное состояние их водных экосистем. Типизация водоемов необходима не только для правильной оценки возможной продуктивности водоема, но и должна стать информационным источником при составлении рыбохозяйственного кадастра водоемов Российской Федерации.

Выбор 25-ти модельных водоемов для исследования был сделан с использованием реестра водных объектов и перечня рыбопромысловых участков в Административных границах Ростовской области для товарного рыбо-

водства и организации любительского и спортивного рыболовства, предоставленных Азово-Черноморским территориальным Управлением Росрыболовства (АЧТУ). В основу выбора водоемов был положен принцип гидролого-климатического зонирования с учетом административного деления территории Ростовской области. В 2018 г. были проведены исследования водоемов, расположенных в Заветинском, Зимовниковском, Дубовском, Ремонтненском, Орловском, Пролетарском, Песчанокопском, Мартыновском, Сальском, Целинском, Егорлыкском, Зерноградском, Кагальницком, Семикаракорском, Веселовском, Константиновском и Багаевском районах, т.е. в основном центральной и южной частях Ростовской области. В абсолютном большинстве обследованные водоемы были представлены балочными прудами (11, или 44 % от общего числа). Русловые пруды представлены 7-ю объектами (14 %), русловые озера – 4-мя объектами (8 %). Обследованные 3 русловых водохранилища составили 9 % от общего числа водных объектов. Наибольшая площадь исследуемого водоема составляла 296,3 га (оз. Киреевское Мартыновского района Ростовской области). Наименьшей площадью (4,3 га) характеризовался пруд на балке Гашун Зимовниковского района.

Местоположение исследуемых водных объектов Ростовской области представлено на рис. 1.

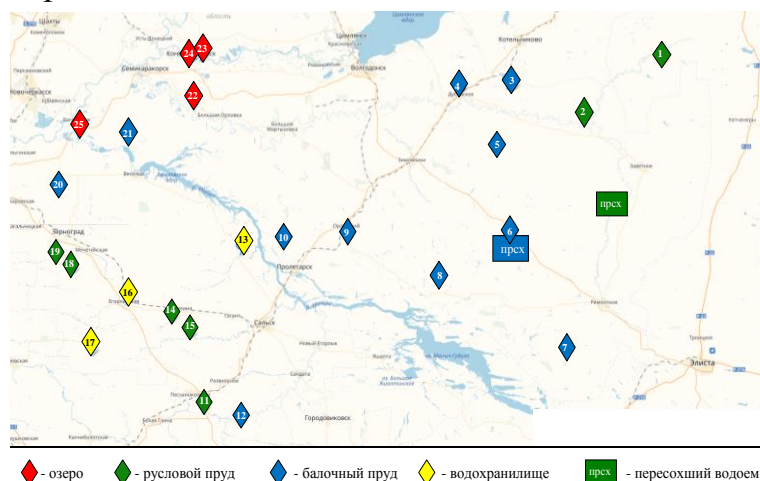


Рис. 1. Схема расположения исследованных водоемов Ростовской области

Принятие решений об организации управляемых рыбоводных хозяйств возможно только после бонитировки водоемов, которая предполагает комплексные рыбохозяйственные обследования, а также сравнительную интегральную оценку производительных сил экосистемы водоемов. Комплекс сезонных (весна, лето, осень) исследований водоемов предусматривал изучение гидрологических, гидрохимических, гидробиологических и ихтиологических характеристик.

В основу типизации внутренних водоемов Ростовской области по гидролого-гидрохимическим признакам были положены 14 критериев: местоположение водоемов, класс прудов-водохранилищ как инженерных сооружений, морфометрические признаки (площадь, глубина), тип питания (расход воды), температура воды; режим течений (водообмен), прозрачность и цвет воды, зарастание и заиление, содержание растворенного кислорода, водородный показатель, биогенные элементы, биологическое потребление кислорода (БПК₅), сероводород и общая минерализация. Для классификации водоемов по ГОСТ 17.1.1.02-77 [1] определили ряд дополнительных параметров и расчетных определений (площадь водосбора, граница водоразделов, тип питания водоемов). Для промежуточных расчетов, с целью определения классов и подклассов водоемов, использованы карты Приложения [2]. Согласно исследованиям, по морфометрическим признакам, все водоёмы были отнесены к 15 разряду. По физико-географическим признакам большинство обследованных водоёмов отнесено к 1-му разряду (объекты не пересыхают) и часть – ко 2 разряду (объекты пересыхают). По гидрологическому режиму и условиям водообмена – ко 2-му разряду. Сумма разрядов (21) для пересыхающих водоёмов соотнесла их с IV классом, подклассом А, как и непересыхающие водоёмы (разряд 20) – также с IV классом, подклассом А [1]. Таким образом, обследованные водоемы характеризуются неблагоприятными условиями формирования количества воды, что вполне закономерно для водных объектов, расположенных в степной засушливой зоне.

Проведенными *гидрометеорологическими исследованиями* установлено, что температура воздуха в период исследований варьировала от 8,9 °С осенью до 38,4 °С в летний период. Предел изменения температуры водной среды составлял: 9,2 °С (оз. Воинское в осенний период) – 31,6 °С (водохранилище на р. Кавалерка в летний сезон). Максимальное значение прозрачности, составившее 2,1 м, отмечалось в летний период на пруду Ткачев. Минимальное значение прозрачности (0,2 м) было зафиксировано в летний период в пруду на р. С. Егорлык и на четырех водоемах в осенний период: пруд на р. Б. Гашун, балка Мокрая Ельмута, пруд на р. Юла и пруд в п. Вороново. Цвет воды в течение года, в основном, изменялся от зеленых (10 баллов по шкале цветности) в пруду на р. М. Ельмута в летний период до коричневых оттенков (21 балл), присущих большей части водоемов во все сезоны. В целом, изучаемые водоемы относятся к водным объектам с низкой проточностью.

На большей части водоемов стоковые течения отсутствовали, но при повышении ветровой активности иногда формировались небольшие поверхностные течения со скоростями 1-5 см/с. Стоковые течения, формируемые

при осуществлении попусков воды, наблюдались только в водохранилище Разумейкинске (40 см/с весной), пруду Ткачев и р. Кара-Сал (соответственно, 14 и 15 см/с), на р. Рассыпная (25 см/с) и оз. Ильмень (32 см/с) в летний период.

Отличительной особенностью водного режима малопроточных водоемов степной зоны в летний период является снижение их уровня, вследствие интенсивного испарения с водной поверхности. Наибольшее падение уровня воды (более 130 см) было характерным для водоемов, расположенных в бассейне рек Егорлык и С. Егорлык в юго-западной части исследуемого региона.

Состояние большинства гидротехнических сооружений (ГТС) оценивалось как удовлетворительное, за исключением полуразрушенного ГТС на водоеме в х. Ериковский Дубовского района. Необходимо отметить, что гидротехнические сооружения (водовыпускные трубы в телах плотин и дамб) во многих случаях производили впечатление «бесхозных» объектов.

Изученные водоемы обладают различной прибрежной инфраструктурой. Как правило, водоемы Заветинского, Дубовского, Ремонтненского и Зимовниковского районов расположены на значительном удалении не только от районных центров, но и от населенных пунктов. Эти районы области характеризуются наименьшей плотностью населения (3,5-7,2 чел./км²), соответственно организация товарной аквакультуры на таких водоемах будет сопряжена с необходимостью значительных капиталовложений на развитие. В более выгодном положении находятся водоемы, расположенные поблизости от районных центров.

Почвы прибрежных территорий исследуемых водоемов, в основном, были представлены глинами, песчано-глинистыми или солончаковыми типами. На большинстве водоемов юго-восточной части области отмечалась степная растительность: полынь, ковыль, типчак, пырей, мятлик, овсяница, шалфей эфиопский, и др. На заболоченных участках, отмечаемых практически на всех водных объектах, произрастали тростник (камыш) и камыш (куга), рогоз, ирис, аир, злаки и осоки. На солончаковых почвах, вблизи соленых водоемов, отмечались солончаковая полынь, кермек, тамариск и др. Редкая древесная растительность была представлена отдельно расположенными на берегах листовыми деревьями (кустарниками) или лесополосами засаженными, сосной, дубом, акациями, ивой и др.

Зарастаемость водной поверхности водоемов изменялась от 3 (оз. Песчаный Лиман Багаевского района) до 75 % (оз. Воинское Константиновского района).

Дно водоемов, в основном, заилено. Отмечены песчано-илистые, суглинистые и глинисто-иловые отложения, мощность которых, например, на пруду Чиганак (Заветинского района) достигает 1,5 м.

Отличительной особенностью созданных водоемов (особенно балочных) является отсутствие стока на участках ниже плотин, что способствовало изменению ландшафта, приобретшего вид заболоченных участков, заросших тростниковой растительностью.

Анализ межсезонного изменения основных *гидрохимических характеристик* исследуемых водоемов Ростовской области позволил установить, что на исследуемых водоемах Ростовской области средняя концентрация растворенного кислорода составляла 8,4-10,4 мг/дм³. Минимальное содержание кислорода было отмечено весной (4,0 мг/дм³) и летом (2,5 мг/дм³) в оз. Воинское, осенью (3,0 мг/дм³) – в оз. Ильмень. Данные значения растворенного в воде кислорода были ниже ПДК_{р/х} и соответствовали неблагоприятному для жизнедеятельности водных биоресурсов кислородному режиму.

Максимальное значение рН – 8,99 было отмечено летом в пруду х. Ериковский Дубовского района. Снижения величины Рh ниже ПДК_{р/х} за весь период мониторинга 2018 г. не наблюдалось.

Во все сезоны года исследуемые водоемы характеризовались повышенным уровнем БПК₅. Максимальный уровень БПК₅ (38,8 мг/дм³) зафиксирован в летнее время года в оз. Песчаный лиман Багаевского района.

В весенний и осенний периоды 2018 г. на всех исследуемых водоемах отмечено отсутствие токсичного сероводорода, тогда как в летнее время сероводород был зафиксирован в водохранилище Разумейкинское, оз. Кирсановское и оз. Ильмень.

Биогенные элементы, представленные минеральными соединениями азота, фосфора и кремния, являются основой питания фитопланктона – первого звена трофической цепи водной экосистемы. По показателям концентраций аммонийного, нитритного и нитратного азота во всех исследуемых водных объектах превышения ПДК_{р/х}, в основном, не установлено. Превышение ПДК_{р/х} азота нитритного отмечено в пруду пос. Вороново весной (0,256 мг/дм³) и осенью (0,039 мг/дм³). Локальное превышение ПДК_{р/х} фосфатов (по фосфору) отмечено на 9-ти водоемах в летний период, когда средняя концентрация фосфатов (0,174 мг/дм³) была наиболее высокой, что свидетельствовало об антропогенном загрязнении водоемов. Минимум средней концентрации кремниевой кислоты в весеннее время года (1,52 мг/дм³) и максимум в летний период (4,28 мг/дм³), как и последующее снижение концентраций осенью (2,62 мг/дм³) четко отражали годовую динамику потребления кремния диатомовыми водорослями и его регенерацию из отмерших створок диатомей в летний период. Концентрация общего железа не нормируется по ПДК_{р/х}, рекомендуемый уровень для прудовых рыбоводных хозяйств не должен

превышать 2,0 мг/л. Превышение рекомендуемого уровня данного показателя в воде и его наиболее высокое среднее значение было установлено осенью, вследствие сезонного усиления деструкции органических веществ.

Показатель общей минерализации воды, являющийся одним из важнейших факторов, лимитирующих рост, развитие и размножение промысловых видов рыб, изменялся в широком диапазоне: от 288 до 73168 мг/дм³. Среднее значение общей минерализации воды в сезонной динамике возрастало от весны к осени (от 5721 до 11134 мг/дм³), что характеризует большинство водоемов как высоко- и весьма минерализованные [3].

Гидробиологические исследования проведены с целью определения количественных показателей и видового состава фитопланктона, зоопланктона и зообентоса. В среднем, по всем исследованным водотокам и водоемам Ростовской области численность фитопланктона весной составляла 19185,2 млн. кл./м³, биомасса – 9,6 г/м³, в летний период – 35588,8 млн кл./м³ и 16,8 г/м³, соответственно. В целом, озера и балочные пруды характеризовались более высокими показателями развития фитопланктона.

Численность зоопланктона весной изменялась от 16,8 (балочный пруд п. С. Маныч) до 1183,0 тыс. экз./м³ (р. Б. Гашун), летом – от 9,2 тыс. экз./м³ в русловом пруду х. Россошанский до 2019,8 тыс. экз./м³ в русловом пруду на р. Юла. Весной минимум биомассы (0,012 г/м³) приходился на русловый пруд в х. Россошанский, а максимум (21,72 г/м³) – на р. Б. Гашун. Летом минимальное значение биомассы (0,06 г/м³) отмечали на водохранилище р. Кавалерка, а максимальное (28,72 г/м³) – в водохранилище «Разумейкинское».

Средние значения численности и биомассы зообентоса по всем исследованным водоёмам составляли весной 3143 экз./м² и 9,9 г/м², летом – 1819 экз./м² и 3,75 г/м².

Ихтиофауна водоемов не отличалась разнообразием и была, в основном, представлена малоценными породами рыб туводного происхождения: серебряный карась, красноперка, укля и др. В целом, ихтиофауна районов исследований на рассматриваемых участках насчитывает около 18 видов, относящихся к 5 семействам. По особенностям размножения преобладают рыбы, относящиеся к *фитофильной группе*: лещ, плотва, сазан, густера и др.

Промысловый лов рыбы в районах исследований и на рассматриваемых водоемах не ведется, однако здесь имеются благоприятные условия для любительского рыболовства и товарного рыбоводства. Некоторые озера, русловые пруды, прилегающие к участкам исследований, уже используются для товарного выращивания рыбы. В качестве объектов выращивания используются карп, белый и пестрый толстолобик, белый амур. Средняя естественная

рыбопродуктивность водоемов в данном районе оценивается величиной 0,2 ц/га.

Основной задачей исследований модельных водоемов Ростовской области была оценка возможности их использования для целей товарной аквакультуры, для чего были проанализированы все основные компоненты водоемов: гидрологические, гидрохимические, гидробиологические и ихтиологические. Полученные рекомендации по пригодности водоемов для целей товарной аквакультуры разработаны с помощью балльной оценки. Основными критериями были гидрологическое и гидрохимическое состояния водного объекта. Их балльная оценка варьировала от 3 до 0 баллов (рекомендовано, рекомендовано с ограничениями и не рекомендовано, соответственно). Отдельно указывалось на неблагоприятные гидрохимические условия при общей высокой сумме баллов (озера Ильмень и Воинское, водохранилища на р. Юла и Разумейкинское). Состояние кормовой базы оценивалось от 1 до 2 баллов (имеются кормовые организмы и достаточна кормовая база для целого ряда видов аквакультуры). Ихтиофауна оценивалась по результатам 2-х съемок. Отсутствие уловов обмеление водоема, отсутствие инфраструктуры и пр. – оценивалось в 0 баллов, улов лишь в одну съемку – 0,5 балла, а наличие уловов за 2 съемки оценивалось в 1 балл.

Таким образом, по общей оценке все 24 модельных водоема (один водоем был исключен, вследствие пересыхания) были разбиты на следующие группы:

– рекомендованные без ограничений:

1. пруд Ткачев (Полячанский), х. Камышеваха;
2. пруд пос. Средний Маныч;
3. оз. Кирсановское, пойма р. Сал, х. Кирсаново;
4. пруд пос. Вороново;
5. пруд на р. Средний Егорлык, ст. Сладкая Балка;
6. пруд "Воробьячка", ст. Егорлыкская;
7. пруд на р. Кавалерка, х. Кавалерский;
8. пруд х. Россошанский, пос. Крайний - р. Средний Эльбезд;
9. вдхр. Тихий Лиман (б. Кереста, 7 км севернее пос. Тихий Лиман);
10. б. Камышевская, х. Камышовка;
11. оз. Песчаный Лиман;
12. пруд х. Ериковский;
13. р. Кара-Сал (в 5 км от х. Шебалин);
14. пруд на р. Рассыпная;

– рекомендованные с ограничениями (требуется проведение мелиоративных и др. мероприятий):

1. пруд Чиганак, х. Новоиловлиновский (малый);
2. пруд на б. Яблочная, в 3 км от х. Яблочный,;
3. пруд на р. Малый Эльбузд, с. Жуковское;
4. вдхр. Разумейкинское (б. Двойная);

– рекомендованные со значительными ограничениями (требуется проведение значительных мелиоративных и др. мероприятий):

1. б. Двойная, вдхр. «Разумейкинское», 2,5 км южнее х. Луганский;
2. оз. Воинское;
3. оз. Ильмень;
4. вдхр. на р. Юла, с. Супрун – 17,5 км от устья;

– не рекомендованные:

1. б. Мокрая Ельмута, 12 км северо-западнее г. Пролетарск;
2. р. Большой Гашун, 10 км севернее пос. Байков.

Список литературы

1. ГОСТ 17.1.1.02-77 Охрана природы. Гидросфера. Классификация водных объектов. М.: Изд-во стандартов. 1978. 33 с. введ. 1.07.78 г.
2. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Л.: Гидрометеоздат, 1984. 448 с.
3. Алекин О.А., Семенов А.Д., Скопинцев Б.А. Руководство по химическому анализу вод суши / О.А. Алекин, А.Д. Семенов, Б.А. Скопинцев. Л.: Гидрометеоздат, 1973. 269 с.

© Жукова С.В., Подмарева Т.И., Косенко Ю.В., Барабашин Т.О.,
Бурлачко Д.С., Бондарев С.В., Гуськова О.С., 2019

РОЛЬ АККУМУЛИРУЮЩЕЙ ЕМКОСТИ ИВИНСКОГО РАЗЛИВА В РЕЖИМЕ РАБОТЫ ВЕРХНЕ-СВИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Милютин И.Ю., Сапожникова А.А., Павловский А.Е.

ФГБУ «Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова»

(ФГБУ «ГОИН»), г. Москва

E-mail: asapozhnikova@mail.ru

Аннотация. Работа направлена на решение задачи по исследованию аккумулярующей способности Ивинского разлива. Изучение режима работы Ивинского разлива было основано на применении метода математического моделирования. Гидродинамическая модель Верхне-Свирского водохранилища (без учета Онежского озера) с условиями, отвечающими современному периоду эксплуатации, позволила оценить величину и соотношение элементов режима работы

водоема. Был проведен анализ водообмена Ивинского разлива с речной частью Верхне-Свирского водохранилища. По результатам сценарных расчетов на модели были получены зависимости, отражающие связь объемов Ивинского разлива с подпорными уровнями воды в речной части Верхне-Свирского водохранилища.

Ключевые слова: Ивинский разлив, уровень воды, водообмен, сценарные расчеты.

THE ROLE OF THE ACCUMULATING CAPACITY OF THE IVINSKY OVER FLOW IN THE VERHNE-SVIRSK RESERVOIR MODE

Milutina I.U., Sapozhnikova A.A., Pavlovsky A.E.

Zubov State Oceanographic Institute, Moscow

Abstract. The work is aimed at solving the problem of research into the accumulating ability of the Ivinsky over flow. The study of the Ivinsky over flow, was based on using the method of mathematical modeling. The hydrodynamic model of the Verhne-Svirsk reservoir (excluding Onega the Lake) with the conditions corresponding to the modern period of operation made it possible to estimate value and ratio of elements of the reservoir mode. The analysis of water exchange of the Ivinsky over flow with a river part of the Verhne-Svirsk reservoir was carried out. By the results of scenario calculations for the model, the relationships reflecting communication of the Ivinsky over flow volumes with affluent levels in the river part of the Verhne-Svirsk reservoir were received.

Keywords: Ivinsky over flow, water level, water exchange, scenario calculations.

Верхне-Свирское водохранилище образовано в результате подпора верховий р. Свирь и Онежского озера в 1951/1952 гг. после сооружения плотины Верхне-Свирской ГЭС. Основное назначение Верхне-Свирского водохранилища – обеспечение судоходства и выработки электроэнергии. Верхне-Свирское водохранилище является частью Волго-Балтийского водного пути, режим использования водных ресурсов которого определяется «Основными положениями правил использования водных ресурсов Волго-Балтийского водного пути от Ладожского озера до Рыбинского водохранилища» (РВ-148-66).

Верхне-Свирское водохранилище состоит из двух частей: Онежское озеро и речная часть, которая включает три характерных участка:

- от Онежского озера до Ивинского разлива (0 – 36,0 км от истока р. Свирь),
- Ивинский разлив (36,0 – 46,5 км от истока),
- от Ивинского разлива до створа плотины Верхне-Свирского гидроузла (46,5 – 96,7 км от истока).

Ивинский разлив образовался в результате затопления низких заболоченных участков Ивино-Свирской равнины в месте впадения р. Ивина в р. Свирь.

Водоохранилище позволяет осуществлять многолетнее регулирование стока за счет ресурсов Онежского озера. Русловая емкость речного участка

Верхне-Свирского водохранилища используется для недельного и суточного регулирований мощности ГЭС (табл. 1).

Таблица 1

Регулирующие емкости участков Верхне-Свирского водохранилища

Участок водохранилища	Полезный объем, км ³
Онежское озеро	13,0
Речная часть водохранилища:	0,55
– от Онежского озера до Ивинского разлива	~0,08
– Ивинский разлив	~0,36
– от Ивинского разлива до плотины ГЭС	~0,10

Участок от Онежского озера до Ивинского разлива имеет ограниченную пропускную способность и малую емкость, что затрудняет использование объемов верхнего участка речной части водохранилища при регулировании режима его работы. Кроме того, это препятствует использованию полезной емкости Онежского озера для регулирования режима работы ГЭС и может приводить к негативному воздействию на прибрежную территорию, вследствие высокого стояния уровней воды.

В настоящее время перед территориальным органом, устанавливающим режим работы водохранилища и отвечающим за организацию мер по предотвращению негативного воздействия вод, – Невско-Ладужским бассейновым водным управлением Федерального агентства водных ресурсов, стоит вопрос о возможности увеличения регулирующей способности Верхне-Свирского водохранилища за счет использования емкости Ивинского разлива.

Изучение режима работы Ивинского разлива проводится ФГБУ «ГОИН» научно-исследовательской работы «Исследование аккумулирующей способности Ивинского разлива, ее влияние на режим эксплуатации Верхне-Свирского водохранилища и разработка научно-обоснованных рекомендаций по оптимизации режима регулирования водохранилища с целью снижения негативного воздействия вод на прибрежную территорию», по заказу Невско-Ладужского БВУ согласно Госконтракту.

Роль аккумулирующей емкости Ивинского разлива определяется параметрами его водообмена с речной частью Верхне-Свирского водохранилища. Для исследования водообмена проведено моделирование с использованием программного комплекса DELFT-3D (Нидерланды) для современных условий регулирования, а также выполнены сценарные расчеты при различных подпорных уровнях верхнего бьефа ГЭС и уровнях Онежского озера. В качестве основных исходных данных для моделирования использовалась проектная цифровая модель рельефа (ЦМР), построенная на основе имеющихся карто-

графических материалов – топографических карт М 1:25000 и Атласа Единой глубоководной системы (рис. 1), и данных наблюдений за элементами водного режима на гидрологических постах ведомственной и государственной наблюдательных сетей в безледный период с мая по октябрь 2018 г.

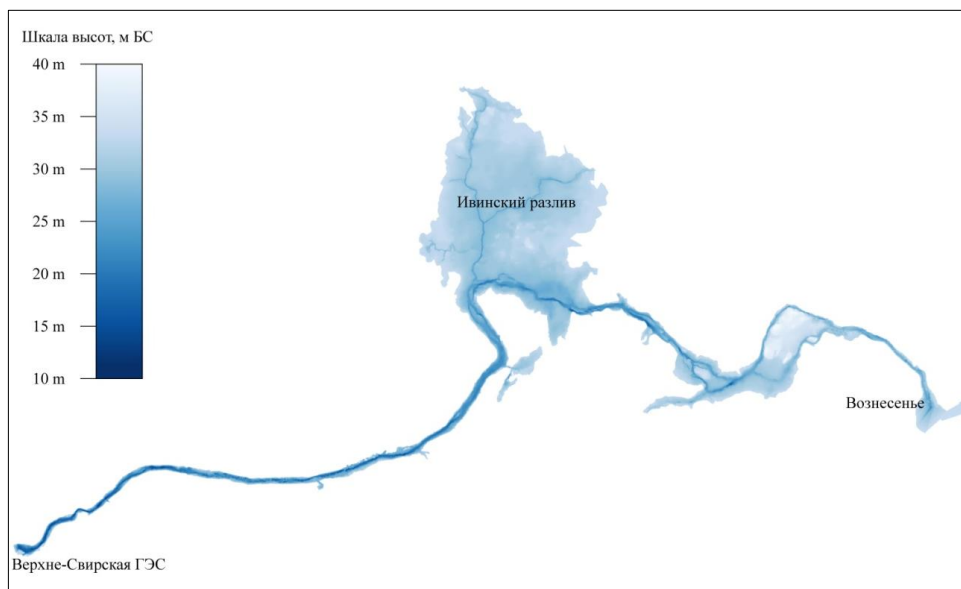


Рис. 1. Проектная цифровая модель рельефа речного участка Верхне-Свирского водохранилища, включая Ивинский разлив

Для проверки соответствия модельных расчетов фактическим условиям были использованы данные наблюдений за уровнем воды у плотины в верхнем бьефе Верхне-Свирской ГЭС (рис. 2).

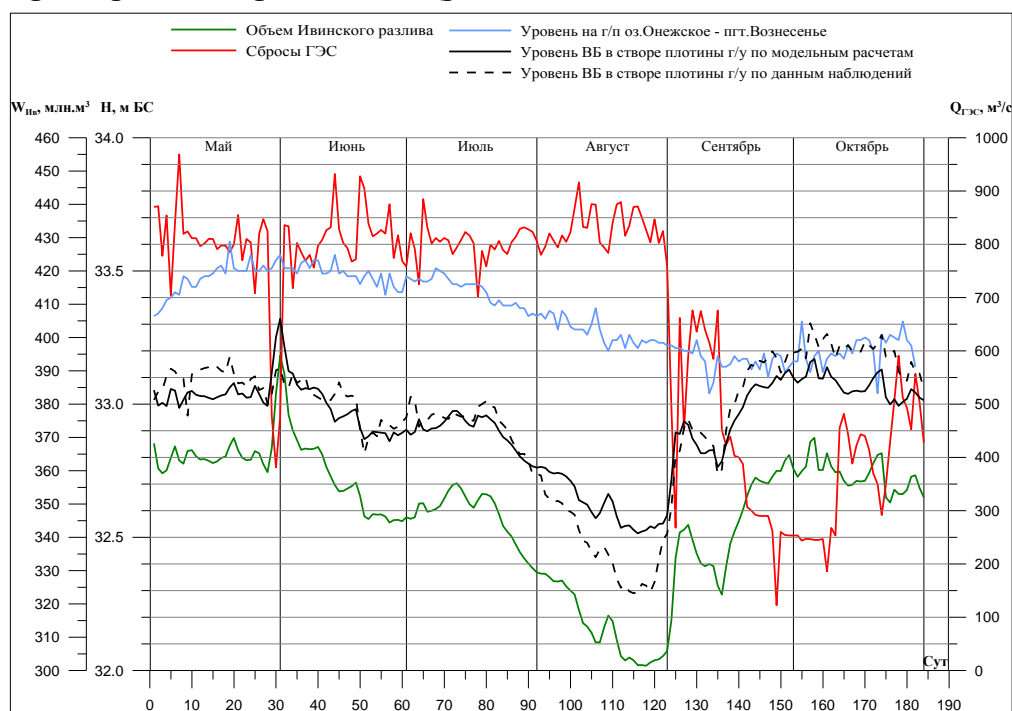


Рис. 2. Элементы водного режима и параметры Верхне-Свирского водохранилища по фактическим данным и по результатам моделирования (май-октябрь 2018 г.)

По результатам моделирования был рассчитан ряд ежедневных объемов Ивинского разлива. На основе полученных результатов проведен анализ роли различных факторов в изменении объема Ивинского разлива. Зависимость объемов Ивинского разлива от различных параметров режима Верхне-Свирского водохранилища представлена на рис. 3.

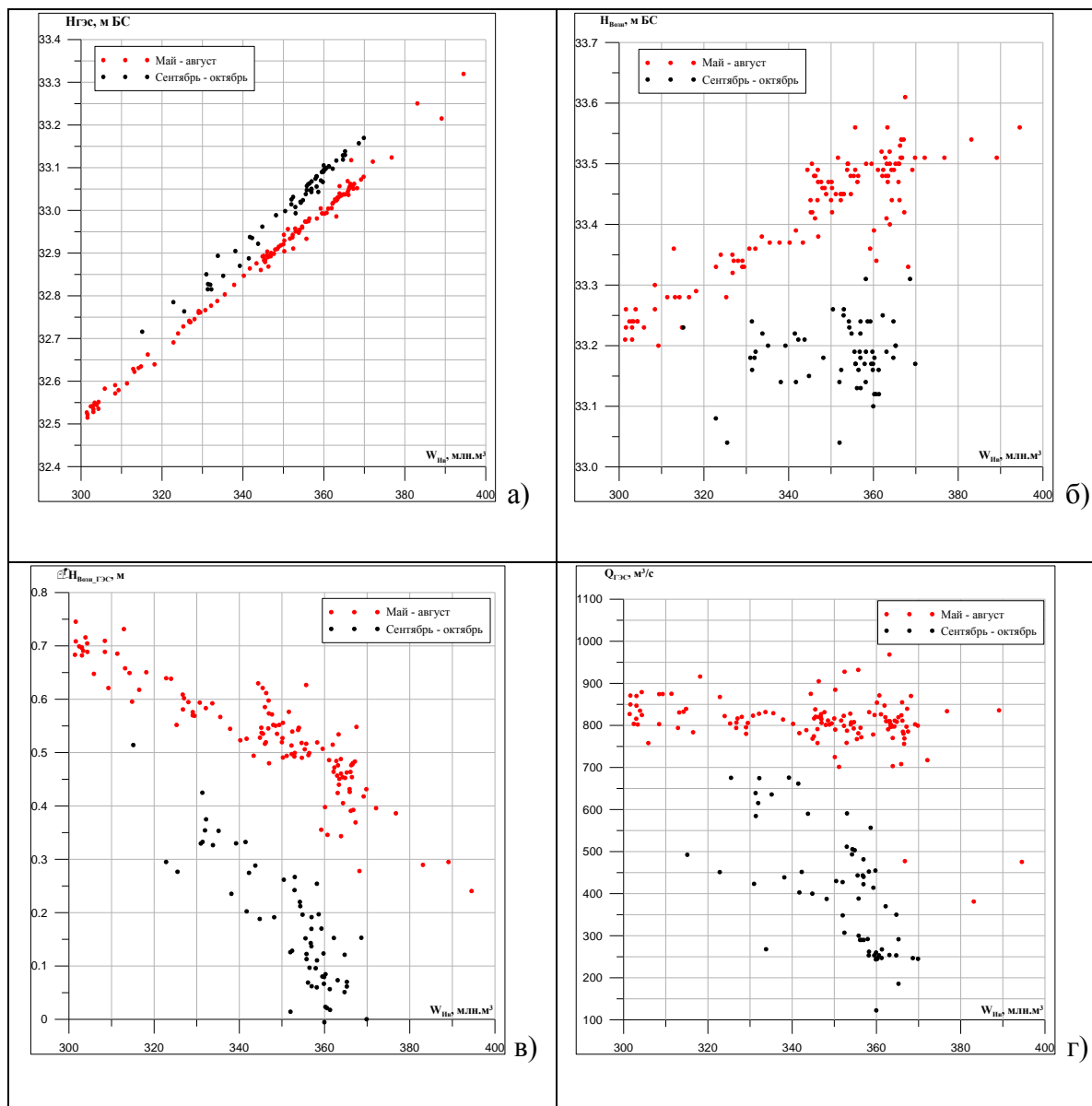


Рис. 3. Связь объемов Ивинского разлива с: а) уровнями верхнего бьефа ГЭС, б) уровнями Онежского озера на г/п Вознесенье, в) перепадами уровней между Онежским озером на г/п Вознесенье и верхним бьефом ГЭС, г) сбросными расходами ГЭС, по результатам моделирования (май-октябрь 2018 г.)

На графиках связи выделяются две области, соответствующие двум фазам регулирования, характерным для расчетного периода 2018 г. Первая область соответствует периоду с мая по август, характеризующемуся высокими значениями уровней Онежского озера, сбросных расходов ГЭС, а также

высокими значениями перепада уровней между Онежским озером на г/п Вознесенье и верхним бьефом ГЭС. Вторая область соответствует периоду сентябрь-октябрь с низкими значениями уровней озера, минимальным перепадом уровней и пониженными сбросными расходами ГЭС.

Анализ результатов моделирования показал, что аккумулирующая способность Ивинского разлива определяется сочетанием нескольких факторов, оказывающих влияние на его водообмен:

1. Чем выше уровень у плотины ГЭС, тем больший объем воды может накопиться в Ивинском разливе (рис. 3а);
2. Чем выше уровень Онежского озера и, соответственно, больше сток из него, тем больше объем разлива (рис. 3б). Этот фактор является определяющим в случае больших уклонов в речной части водохранилища;
3. Чем меньше перепад уровней между Онежским озером и верхним бьефом, тем больший объем аккумулируется в Ивинском разливе (рис. 3в);
4. Связь объема Ивинского разлива со сбросными расходами неоднозначна: при фиксированных высоких значениях сбросов объем разлива уменьшается при снижении уровня Онежского озера; объем разлива увеличивается в результате снижения сбросов, при минимальном уклоне водной поверхности водохранилища (рис. 3г).

Для более полного исследования возможных вариантов соотношения уровней верхнего бьефа ГЭС и Онежского озера и их влияния на водообмен Ивинского разлива были проведены сценарные расчеты с использованием программного комплекса DELFT-3D. Расчеты проведены для диапазона уровней Онежского озера от 31,4 до 33,8 м БС и уровней верхнего бьефа от 31,2 до 33,6 м БС с шагом 0,2 м. Для каждого уровня Онежского озера, в рамках, выбранного диапазона последовательно просчитывались варианты сочетаний с разными уровнями верхнего бьефа ГЭС.

По результатам сценарных расчетов построены номограммы связи объемов Ивинского разлива с уровнями верхнего бьефа ГЭС при различных уровнях Онежского озера, а также связь с перепадами уровней в речной части Верхне-Свирского водохранилища при разных уровнях Онежского озера (рис. 4).

Рост уровня верхнего бьефа в результате уменьшения сбросных расходов ГЭС приводит к распространению подпора вверх по течению, а значит, к уменьшению уклонов в речной части Верхне-Свирского водохранилища и замедлению водообмена, что в свою очередь создает условия для накопления воды в Ивинском разливе и увеличения его объема (рис. 4,а).

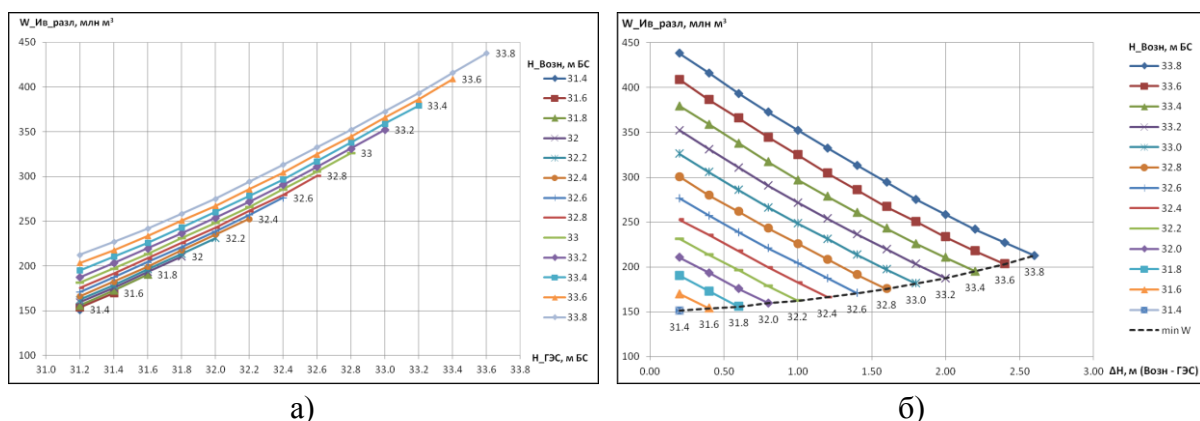


Рис. 4. Связь объемов Ивинского разлива с уровнями верхнего бьефа ГЭС (а) и с перепадами уровней в речной части Верхне-Свирского водохранилища (б) при различных уровнях Онежского озера на г/п Вознесенье по результатам сценарных расчетов

Полученные связи объема Ивинского разлива с уровнем верхнего бьефа ГЭС при различных уровнях Онежского озера показывают, что рост уровня верхнего бьефа на 20 см дает большее увеличение объема Ивинского разлива, чем аналогичный рост уровня Онежского озера (рис. 4,а).

При фиксированных уровнях Онежского озера объем Ивинского разлива существенно возрастает при уменьшении перепада уровней между Онежским озером и верхним бьефом (рис. 4,б). При фиксированном перепаде уровня объем Ивинского разлива оказывается большим при более высоких отметках уровня Онежского озера. Нижняя огибающая номограммы соответствует минимально возможным объемам Ивинского разлива при разных уровнях Онежского озера.

Учет факторов, оказывающих влияние на водообмен Ивинского разлива, имеет практическое значение в регулировании режима работы водохранилища. Для накопления фиксированного объема Ивинского разлива при высоких уровнях Онежского озера необходимо достичь большего перепада уровней путем снижения отметки верхнего бьефа за счет увеличения сбросных расходов. Тот же фиксированный объем Ивинского разлива при низких уровнях Онежского озера накапливается при уменьшении перепада уровней по длине Верхне-Свирского водохранилища вследствие роста уровней верхнего бьефа.

Выводы

Для анализа роли аккумулирующей емкости Ивинского разлива в режиме Верхне-Свирского водохранилища был применен метод математического моделирования с использованием программного комплекса DELFT-3D. По результатам моделирования режима водохранилища для современных усло-

вий эксплуатации были определены факторы, влияющие на изменение объемов Ивинского разлива.

Для более полного исследования факторов, оказывающих влияние на водообмен Ивинского разлива с речной частью водохранилища, были проведены сценарные расчеты, по результатам которых были построены номограммы зависимости объемов Ивинского разлива от уровней верхнего бьефа ГЭС и перепадов уровней в речной части Верхне-Свирского водохранилища при различных уровнях Онежского озера.

Номограммы могут быть использованы для расчетов доступного объема Ивинского разлива при различных фактических соотношениях уровней Онежского озера по г/п Вознесенье и уровней верхнего бьефа ГЭС. С помощью номограмм можно определять, насколько нужно изменить уровень верхнего бьефа при известном уровне Онежского озера для достижения необходимого объема Ивинского разлива.

© Милютин И.Ю., Сапожникова А.А., Павловский А.Е., 2019

СИСТЕМНАЯ ДИНАМИКА В УПРАВЛЕНИИ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ В СРЕДЕ ANYLOGIC

Салугин А.Н.

Федеральный Научный Центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения РАН, г. Волгоград
E-mail: saluginan@mail.ru

Аннотация. Системная динамика как метод имитационного моделирования используется в управлении водными ресурсами бассейна р. Дон. Решается многокритериальная задача оптимизации с учетом растущего потребления пресной воды от роста населения и увеличения потребностей в водных ресурсах большинства отраслей экономики. Имитационная модель водного баланса в многокритериальной постановке была реализована в обобщенном виде для тестового региона. Были разработаны имитационные модели передвижения оросительной воды как расходной части водного баланса. Транспирация, испарение и атмосферные осадки учитывались в виде динамических переменных. В сообщении демонстрируются прагматические стороны системной имитации, отражающих физическое состояние водохозяйственной системы в удобном пространственно-временном масштабе. Объектно-ориентированная ориентация системной динамики, модульность алгоритмов имитации позволяют развить имитационное моделирование как метод изучения динамики водного баланса, а также для задач управления водными ресурсами бассейна р. Дон.

Ключевые слова: водные ресурсы, системная динамика, влагоперенос, имитационное моделирование, многокритериальная оптимизация.

SYSTEM DYNAMICS IN WATER RESOURCES MANAGEMENT IN ANYLOGIC ENVIRONMENT

Salugin A.N.

Federal Scientific Center of Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd

E-mail: saluginan@mail.ru

Abstract. System dynamics as a method of simulation is used in water resources management in the Don River basin. The multi-criteria optimization problem is being solved, taking into account the growing consumption of fresh water due to the population growth and increasing need for water resources in most sectors of the economy. The simulation model of water balance in a multi-criteria formulation was implemented in a generalized form for the test region. Simulation models were developed for the movement of irrigation water as a consumable part of the water balance. Transpiration, evaporation and precipitation were taken into account in the form of dynamic variables. The message demonstrates the pragmatic aspects of system imitation, reflecting the physical state of the water management system in a convenient space-time scale. The object-oriented orientation of the system dynamics, the modularity of the simulation algorithms makes it possible to develop simulation modeling as a method for studying the dynamics of water balance, as well as for tasks of managing water resources in the Don River basin.

Keywords: water resources, system dynamics, moisture transfer, simulation modeling, multi-criteria optimization.

Системная динамика (СД) является устоявшейся парадигмой имитационного моделирования со своими методами и инструментами, позволяющими понять структуру и динамику сложных систем. Разработанный Форрестером [1-3] и реализованный в пакете Anylogic, этот метод используется при разработке моделей сложных систем, в том числе водохозяйственных. Их применение в управлении водными ресурсами приводит к более эффективной политике взаимоотношений человека с природой в эколого-экономическом смысле. Подобные инструментарии позволяют создавать симуляторы, где пространство и время сжимаются и замедляются так, чтобы можно было изучать последствия управленческих решений, с тактикой и стратегией гарантированного успеха. Имитационное моделирование (ИМ) как метод изучения динамики сложных систем эффективно используется в задачах оптимального управления водными ресурсами как в отдельном регионе, так и на целых водосборах [4]. Низкая эффективность интуитивно принимаемых решений объясняется сложностью водохозяйственных систем, функционирующих во времени и пространстве, когда невозможно предвидеть последствия принимаемых решений. ИМ является, на наш взгляд, особенно ценным в управлении водохозяйственной системой в связи с ее постоянным развитием и усложнением.

Программный инструмент AnyLogic – это продукт нового поколения, предназначенный для исследования сложных систем с помощью имитационных

моделей. Он разработан на основе новых концепций в информационных технологиях гибридных систем. Применение различных концепций моделирования делает Anylogic незаменимым при внедрении компьютерных технологий в систему управления водными ресурсами.

Анализ водохозяйственных систем требует разработки таких ИМ, которые не укладываются в рамки одной из парадигм моделирования: дискретной или непрерывной. Например, при моделировании с преобладающим дискретным типом событий (выпадение осадков) могут потребоваться переменные, описывающие непрерывные характеристики среды (изменение климата, динамика народонаселения, изменение курса валют). Основой концепции программы AnyLogic для водохозяйственной системы является представление модели в виде совокупности параллельно взаимодействующих объектов (водохранилища, реки, каналы, водосборы). При этом используются средства из различных "классических" разделов моделирования: системная динамика для описания изменений состояния среды (климата); дискретно-событийное для моделирования дискретных событий (ливни, паводки, засухи). При анализе структуры водохозяйственной сети для выявления узких мест локального водообеспечения методами системной динамики будет неполным, если в модели не отражены возможные изменения, например, внешней среды средствами дискретно-событийного контекста. В AnyLogic легко строятся подобные структуры с заданным уровнем адекватности, позволяющей ответить на многие практические вопросы.

ИМ водного баланса региона в общем виде была построена нами с применением библиотеки системной динамики Anylogic для модельного региона с учетом множества факторов, объединенных в блоки экономики, народонаселения, промышленности и агро-промышленного комплекса.

При имитационном эксперименте одной из основных расходных статей водного баланса является потребление пресной воды на орошение. В работе [5] подробно описаны эти модели, поэтому здесь приведем ИМ для динамики ирригационного процесса при поливе. Проблема регулирования водного режима орошаемых земель связана с оптимальной влагообеспеченностью растений. Решение задач оптимизации подобного типа специфично для водной мелиорации, целью которой является увеличение урожайности, а главным фактором при этом является влагообеспеченность сельскохозяйственного поля. Оптимальность водообеспечения аридных территорий, кроме этого, означает предотвращения негативных последствий ирригации в виде засоления, заболачивания, эрозии и т.п.

В работах [6-7] показано, что оптимум влажности лежит в определенном интервале, поддержание которого обеспечивает максимальную урожайность. На практике эта задача сводится к определению этого интервала и поддержания оптимума увлажнения для всего периода вегетации.

В связи с вышеизложенным, нам представляется, что моделирование влагообеспеченности растений должно быть основано на базе системы динамических математических конструкций в виде системы дифференциальных уравнений [8-9]. В начале рассмотрим проблему на уровне блок-схемы задачи в виде ориентированного графа (рис. 1). Для каждого вида растений существует оптимальный интервал потенциала почвенной влаги, когда обеспечивается постоянство относительной транспирации [9, 12]. Этот интервал можно считать своеобразным параметром водного режима биоценоза. При этом следует учитывать уровень грунтовых вод, испарение, инфильтрацию.

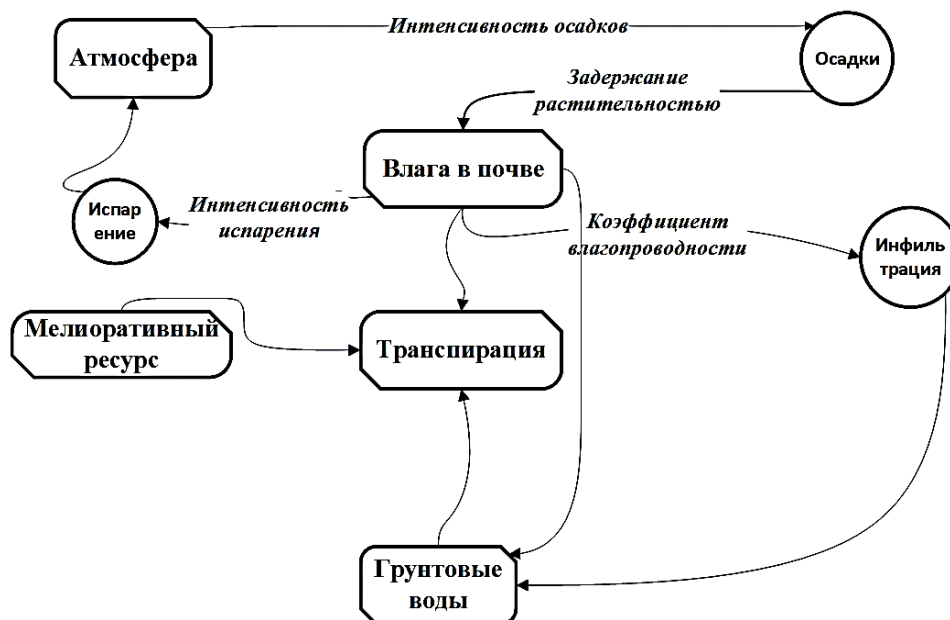


Рис. 1. Структурная схема модели

Это могут быть объекты или процессы, в которых они участвуют. Вместе с тем, такие явления, как инфильтрация воды в почву, перенос загрязняющих веществ в пористых средах, транспирация рассматриваются как сложные процессы. На основе структурной схемы водного баланса, приведенной на рис. 1, была разработана имитационная модель в контексте системной динамики.

Одним из преимуществ AnyLogic является возможность наблюдения за поведением модели, в частности, за изменением во времени всех ее переменных. Непрерывные процессы задаются здесь с помощью вещественных переменных формулами и уравнениями (алгебраическими и дифференциальными)

в их привычной аналитической записи. Переменные в модели определяют состояние динамического объекта (зона аэрации, грунтовые воды и т.д.), изменяются с течением времени по законам, определяемым уравнениями и формулами. ИМ была реализована с использованием накопителей, связанных между собой потоками (рис. 2). Концепция системной динамики в данном случае сполна отвечает нашей задаче и переносится в модель без особых затруднений. Иерархия системы строилась с использованием потоков и связей. Существенно отметить, что системная динамика выявляет циклы, обеспечивающие положительную или отрицательную обратные связи: циклы в виде замкнутых контуров орграфа усиливают потоки или, наоборот, разрушают их.

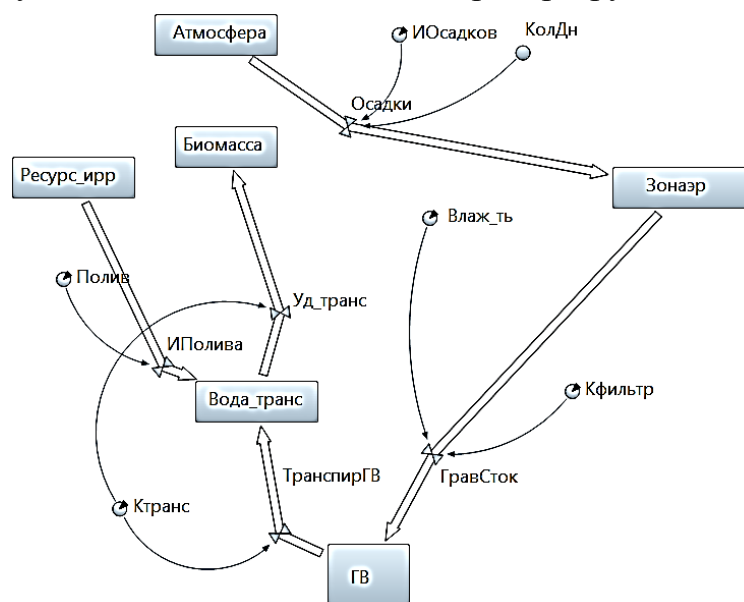


Рис. 2. Имитационная модель системной динамики AnyLogic. Контейнеры: Атмосфера – накопитель для атмосферных осадков, характеризует запасы воды от выпадающих за год осадков; Ресурс_ирр – запас воды для полива; Биомасса – количество растительной массы на единицу площади, Зонаэр – зона аэрации; Вода_транс – объем воды для транспирации растениями, необходимой для полива; ГВ – уровень грунтовых вод. Потоки: Осадки – атмосферные осадки, приведенные к суточным; Грав_сток – интенсивность гравитационного стока; Уд_транс – поток, характеризующий скорость транспирации; Транспир_ГВ – транспирация растениями из грунтовых вод; ИПолива – интенсивность полива. Параметры и переменные: Полив – количество воды для орошения в сутки; ИОсадков – осадки в мм за сутки; КолДн – динамическая переменная реального времени в сутках; Влаж_ть – влажность в объемных %; Кфильтр – коэффициент фильтрации; Ктранс – коэффициент транспирации.

На рис. 3 представлены результаты имитационного моделирования динамики процессов накопления влаги в различных контейнерах с модельным временем равным 30 ед.

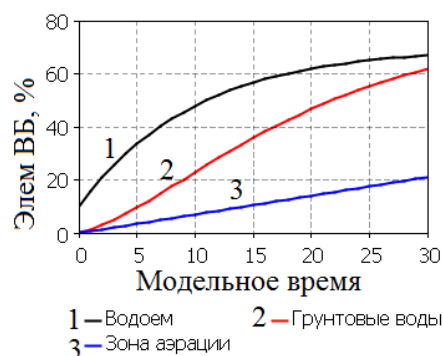


Рис. 3. Динамика размещения воды после выпадения дождя

Нелинейность процессов передвижения воды характерна для почвенных сред с развитой поверхностью частиц в виде песка, пыли и ила [10-12]. Данная картина характерна для большинства процессов влагопереноса и, на наш взгляд, адекватно описывает динамику водного баланса после выпадении осадков. Несмотря на существенные допущения при разработке водохозяйственных имитационных моделей, системная динамика, в данном упрощенном имитационном эксперименте, демонстрирует свои уникальные возможности. Прежде всего – это динамические аспекты проблемы, позволяющие прогнозировать процессы перемещения воды при пропитывании в почву, транспирации и испарении. Это особенно важно при проектировании оросительных систем и оптимизации ирригационных процессов.

Освоение и развитие системной динамики в гидрологии речных водосборов настоятельно необходимо с различных точек зрения. Во-первых – это доступность. Методы системной динамики доступны исследователю, не обладающему значительной математической подготовкой. Построение логических схем в виде ориентированного графа будет успешным, если известна цель и иерархия связей моделируемой системы. К таким задачам относятся проблемы устойчивого функционирования водохозяйственных систем, агроландшафтов, ситуационного прогнозирования, эволюции экосистем и др.

Список литературы

1. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5.0. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 400 с.: ил.
2. Коровин А.М., Анализ подходов и программного обеспечения для имитационного моделирования социальных и экономических систем / Вестник ЮрГУ, № 35, 2012. С. 98-100.
3. <http://www.xjtek.ru> – Официальный сайт разработчика системы AnyLogic. Дистрибутивы, примеры моделей, руководства, статьи и другая информация.
4. Косолапова Н.А. Имитационное моделирование водохозяйственного баланса бассейна реки Дон. //Современная наука: Актуальные проблемы теории и практики. Сер. Экономика и право. 2015. № 7. С. 57-64
5. Салугин А.Н. Структурная модель Водного баланса Волгоградского региона/ Вестник Волгоградского гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2015. № 39(58). С. 203-212.

6. Муромцев Н.А. Мелиоративная гидрофизика почв. Л.: Гидрометиздат. 271 с.
7. Харченко С.И. Гидрология орошаемых земель. Л.: Гидрометиздат, 1975. 373 с.
8. Салугин А.Н. Динамическое моделирование деградационных процессов в агроэкологии. Дис. канд. с.-х. наук / Волгоград, 2006.
9. Омаров Ш.А.О., "Системно-динамическая модель устойчивого развития региона", БИЗНЕСИНФОРМ, 2012, №. 12. С. 353-360.
10. Салугин А.Н., Кулик А.К., Власенко М.В. Влагопроницаемость ненасыщенных почвогрунтов аридной зоны //Российская сельскохозяйственная наука, 2017, № 1, С. 21-24.
11. Langergraber G., Simunek J. Modeling variably-saturated water flow and multi-component reactive transport in constructed wetlands. Vadose Zone Journal, 2005,4: P. 924-938.
12. Oyedele D.J. and Tijani F.O. Spatial and temporal variability of water content/Ant.Agrophysics, 2010, Vol. 4, № 2, p. 171-176.

© Салугин А.Н., 2019

РОЛЬ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ВОДОПРОПУСКНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ МАЛОГО ВОДОЁМА В ПОВЫШЕНИИ УСТОЙЧИВОСТИ ЕГО ЭКОСИСТЕМЫ

Зимнюков В.А.¹, Зборовская М.И.¹, Козимиров Н.Ю.²

¹ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова, г. Москва

²ООО «НТЦ Спецпромгидротэк», г. Москва

E-mail: moo_abh@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена актуальным проблемам эксплуатации малых водоёмов, в частности, вопросу влияния компоновки и режима работы водопропускных гидротехнических сооружений на течения в водоёме. Авторами проработан ряд вопросов в данной области, проанализированы работы в области гидравлики гидротехнических сооружений, проведена оценка влияния их местоположения на особенности течения в водоёме.

Ключевые слова: малый водоём, эксплуатация водоема, течения в водоеме, самоочищающая способность водоема, водопропускные гидротехнические сооружения.

ROLE OF WATER CONVEYANCE HYDRAULIC STRUCTURES LOCATION OF A SMALL WATER BODY IN IMPROVING ITS ECOSYSTEM STABILITY

Zimnyukov V.A.¹, Zborovskaya M.I.¹, Kozimirov N.Y.²

¹Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow

²LLC «NTTs Spetspromgidrotek», Moscow

E-mail: moo_abh@mail.ru

Abstract. The article is devoted to the actual problems of operating small reservoirs, in particular, the problem of the influence of the layout and operation mode of conveyance hydraulic structures on the currents in the reservoir. The authors have worked out a number of

issues in this area, analyzed works in the field of hydraulic engineering of hydraulic structures, and evaluated the impact of their location on the flow characteristics in a reservoir.

Keywords: small reservoir, reservoir exploitation, currents in the reservoir, self-cleaning capacity of the reservoir, hydraulic structures.

Водоем – это сложная и тонко сбалансированная открытая система, обладающая повышенной уязвимостью к внешним воздействиям. Нарушения в эксплуатации водоёмов могут привести к экономико-экологическому ущербу, к изменениям общей устойчивости природной среды и экосистемы.

Малые водоёмы (площадь поверхности до 10 км^2 [1]) сегодня занимают большое место в естественной и городской экосистемах. Обычно они выполняют роль объектов рекреации, инструментов управления микроклиматом, средств украшения ландшафтов. Они используются также для создания полноценных экосистем.

Рассматривая жизненный цикл малых водоёмов, можно в полной мере оценить их низкую самоочищающую способность и склонность к усиленной естественной сукцессии. Что касается городских малых водоёмов, то ко всему этому добавляется и антропогенное воздействие. Влияние всех этих факторов часто приводит к пагубному процессу – прогрессирующей евтрофикации, или быстрой потере равновесия в экосистеме водоёма (городского, в том числе) и утрате его рекреационных свойств.

При решении проблемы загрязнения городских малых водоёмов встаёт вопрос необходимости разработки универсальных теоретических и методологических принципов рационального природопользования, а также создания инструментов обеспечения мер и способов их практического применения.

В настоящее время, в связи с тенденцией природоприближенного восстановления водных объектов, широкое распространение получили так называемые экотехнологии, т.е. мероприятия, использующие методы устойчивой экологической самоочистки.

На самоочищающую способность и качество воды в замкнутых и полужамкнутых водоёмах, в первую очередь, влияет их водообмен с проточными водами (впадающие и вытекающие водные потоки), которые создают в них различные течения.

Поэтому разработка модели течений в малом водоеме, которые формируются в зависимости от расположения гидротехнических сооружений, что, в свою очередь, является важнейшим фактором водообмена, а также модели по оценке качества воды приобретает наивысшую актуальность. Это особенно важно при создании прогноза состояния водных объектов, оценке возможности

их самовосстановления и проработке правил их эксплуатации (оптимальное управление водным объектом и бассейном, в котором он расположен).

Решение этой задачи сводится к выбору математической модели и методу расчёта. При этом необходимо учитывать все особенности водного объекта: глубину, площадь, их соотношение, форму водоёма и т.д.

В настоящее время методы математического моделирования являются наиболее эффективными при изучении и прогнозировании течений в водоёмах.

Выделим в качестве примера работы [2, 3, 4], в которых был проведён подробный анализ параметров московских прудов. На основе данных работ делаем вывод о том, что чаще всего горизонтальные размеры городских водоёмов г. Москвы гораздо больше их глубин, и их форма является продольно вытянутой. Вследствие этого, для расчёта параметров течений можно использовать двухмерную (в вертикальной плоскости) модель с двухслойной температурной стратификацией (используется для продольно вытянутых водоёмов) и двумерные (в горизонтальной плоскости) уравнения мелкой воды (используется для водоёмов с горизонтальными размерами, превышающими глубину) [5]. С помощью уравнений мелкой воды мы получаем усреднённые по глубине значения скоростей, которые позволяют определить особенности горизонтальной циркуляции вод:

$$\frac{Du}{Dt} - f * v = -g * \frac{d\eta}{dx} - b * u,$$

$$\frac{Dv}{Dt} + f * u = -g * \frac{d\eta}{dy} - b * v,$$

$$\frac{d\eta}{dt} = -\frac{d}{dx} * (u * (H + \eta)).$$

где:

u – скорость воды вдоль оси x ;

v – скорость вдоль оси y ;

H – средняя высота поверхности жидкости;

η – отклонение давления в горизонтальной плоскости от среднего значения;

g – ускорение свободного падения;

f – параметр Кориолиса, равный на земле $2 * \Omega * \sin\varphi$;

Ω – угловая скорость вращения Земли вокруг оси ($\pi/12$ радиан/час);

φ – географическая широта;

b – коэффициент вязкого сопротивления.

Данные уравнения будут использованы нами в проведении опытов на экспериментальной установке.

Для решения поставленных задач нами создана экспериментальная модель, имитирующая поток в ограниченном водном объекте. Водообмен рассматриваемого малого водоема представлен в модели двумя потоками: втекающим и вытекающим, которые имеют практически одинаковые расходы. Не оказывая влияния на объем воды, эти потоки могут учитываться при моделировании баланса веществ в водоеме. Естественно, что при одинаковых расходах водного потока «в объект» и «из объекта», потоки веществ могут быть разными, и эта разница будет влиять на качество воды данного объекта. Для использования уравнений мелкой воды установка должна иметь вид прямоугольного бассейна. Экспериментальная установка представлена на рис. 1.

На данной экспериментальной были проведены первые испытания по управлению течениями. Оценивались особенности и фиксировались основные параметрами потока при нескольких вариантах открытия поверхностных водопропускных и водосливных отверстий. На рис. 2 представлены результаты испытаний первых двух характерных вариантов открытия.

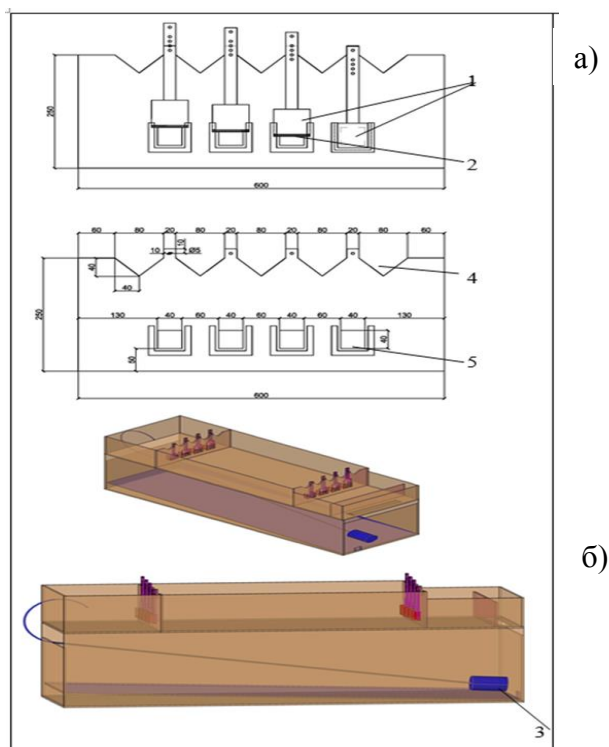


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: а) схема водопропускных отверстий, б) общая схема установки (1 – затворы, 2 – уплотнитель, 3 – насос; 3 – насос; 4 – водопропускные отверстия треугольного профиля; 5 – водопропускные отверстия прямоугольного профиля)

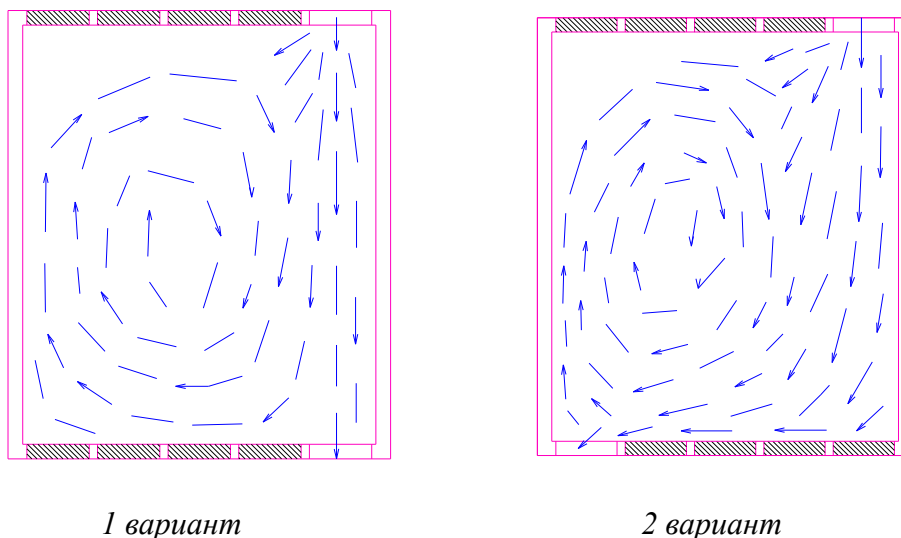


Рис. 2 - Схемы результатов экспериментов

Вариант 1. Для водоема при открытых отверстиях 5,10 и расходе $0,17 \text{ дм}^3$ наблюдается образование застойной зоны в левом верхнем углу, скопление загрязняющих веществ в центре водоема с последующим осаждением более крупных частиц.

Вариант 2. Для водоема при открытых отверстиях 5,6 и расходе $0,17 \text{ дм}^3$ наблюдается образование застойной зоны в левом верхнем углу, скопление загрязняющих веществ смещается левее центра водоема с последующим осаждением более крупных частиц. Движение основного потока вдоль стенок, со значительным разбавлением к середине.

Данные о наблюдениях фиксировались фото и видеосъемкой.

Выводы:

1. На основе проводимых запусков экспериментальной модели можно сделать очевидный вывод, что расположение водосбросных и водосливных отверстий напрямую влияет на форму, направление и параметры течений и застойных зон.

2. Полученные на основе проведенных и будущих исследований оптимальные варианты расположения водопропускных сооружений необходимо рассматривать как одну из мер для улучшения экологического состояния существующего водоема, также как критерий, изначально учитываемый в период проектирования создаваемого водоема. Это позволит снизить отрицательное влияние внешних факторов на экологическую и социальную обстановку водных объектов и создать задел самоочищающей способности водоемов.

Список литературы

1. ГОСТ 17.1.1.02-77 Охрана природы. Гидросфера. Классификация водных объектов. Разраб. и внес. Гл. упр. гидрометеослужбы при Совмине СССР. Утв. и введ. в действие Пост. Гос. к-та стандартов Совмина СССР от 04.02.1977 г. № 299. С. 6.
2. Зимнюков В.А., Зборовская М.И., Кондратьев Л. И., Чуприна Я.Н. Анализ систем управления и контроль за состоянием водоемов г. Москвы // БЭС (Безопасность энергетических сооружений). Науч.-техн. сб. НИИЭС. М.: 2006. С. 137-146.
3. Зимнюков В.А., Зборовская М.И., Румянцев И. С., Чуприна Я.Н. Система управления водоемами г. Москвы //Тр. акад. Проблем водохоз. наук. Вып. 11. Русловедение и восстановление водных объектов. М.: Геогр. фак-т МГУ. 2006. С.4-9.
4. Зимнюков В.А., Зборовская М.И., Чуприна Я.Н. Безопасность малых водоемов – залог успешного управления водными ресурсами //Седьмой Междунар. конгресс «Вода: экология и технология». ЭКВАТЭК – 2006. Сб. докл. Ч. 1. М.: 2006. С.18-20.
5. Гаврилова Л.В., Компаниец Л.А. Расчет динамики течения малых озер на примере озера Шира // Вычислительные технологии. М: Красноярский гос. техн. ун-т. Ин-т вычисл. моделирования СО РАН, Красноярск. 1999. Т. 4. № 6. С. 59-60.

© Зимнюков В.А., Зборовская М.И., Козимиров Н.Ю., 2019

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДОБЫЧИ ПЕСЧАНО-ГРАВИЙНЫХ СМЕСЕЙ НА ИЗМЕНЕНИЕ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ ВОТКИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Михайлов А.В.

Камское бассейновое водное управление, г. Пермь

E-mail: 200564@rambler.ru

Аннотация: Оценка влияния добычи песчано-гравийных смесей (ПГС) на изменение береговой линии Воткинского водохранилища выполнена на основании данных натурных наблюдений в течение ряда лет как научными организациями, так и органами управления водными ресурсами.

Ключевые слова: песчано-гравийная смесь, изменение береговой линии, переработка берега.

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF SAND-GRAVEL MIXTURES EXTRACTION ON THE SHORELINE CHANGE AT THE VOTKINSK RESERVOIR

Mikhailov A.V.

Kama basin water administration, Perm

Abstract: Assessment of the influence of sand-gravel mixtures extraction of the shoreline change of the Votkinsk reservoir was carried out on the basis of the data of field observations for a number of years by both scientific organizations and water management bodies.

Keywords: sand-gravel mixture, shoreline change, shore processing.

Территория Пермского края с сильно развитой речной системой является мощной транзитной артерией песчано-гравийного материала, выносимого со склонов Урала, Предуралья и возвышенностей западных склонов Восточно-Европейской платформы. Из-за особой специфики строения Пермского края, а именно: геологии, неотектоники, геоморфологии и прочего, происходило осаждение материала и формирование месторождений ПГС, что привело к накоплению больших запасов песчано-гравийного материала в нашем крае. С развитием инфраструктуры и необходимостью строительства дорог, различных общественных и административных сооружений в Пермском крае возникла потребность в обеспечении строительства песчано-гравийными материалами.

В данной статье рассматривается разработка карьеров ПГС как один из факторов, влияющих на разрушение берега. Для рассмотрения были взяты два месторождения: Хмелевское и Сукманское. Имея данные о величине добываемого ими материала, а также о состоянии береговой полосы на рассматриваемом участке, можно проследить зависимость между добычей и разрушением.

Прежде всего, стоит отметить, что наблюдения за состоянием берегов Камского и Воткинского водохранилищ проводились и проводятся на протяжении всего периода их эксплуатации.

При изучении современных процессов, определяющих состояние русел и берегов водных объектов, на территории региона приоритет отдается «процессам переработки побережий камских водохранилищ». Дело в том, что они включают весьма разнообразный комплекс процессов внешней геодинамики. Это, прежде всего, абразионные, эрозионно-овражные, склоново-гравитационные, оползневые, карстовые, суффозионно-просадочные и аккумулятивные процессы.

При рассмотрении геодинамики берегов и ложа водохранилища в региональном плане как единой, взаимосвязанной, замкнутой геодинамической системы акватория - берег - побережье, отчетливо обнаруживается ее двойственный характер. Водоохранилище прямо (абразия, эрозия) или косвенно (транспорт и аккумуляция наносов, смачивание грунтов) воздействует на берег. В свою очередь, берег, реагируя на это воздействие, разрушается оползнями, обвалами, осыпями и т.п. Исходя из этого, основной упор при изучении и поиске естественной делимости берегов, ложа и акваторий водохранилищ необходимо делать, прежде всего, на учете и использовании причинно-следственных взаимосвязей в системе «водоем - берег».

Наблюдения за развитием экзогенных геодинамических процессов на побережьях Камских водохранилищ показывают, что абрадируемые или

эродируемые берега разрушаются в одних случаях обвалами, в других – осыпями, в третьих – оползнями и т.д. Проявляясь в виде гидравлических ударов волн, ударов обломками пород, а также химического растворения, абразия является процессом, выводящим склон из состояния равновесия. Широкое развитие при этом получают обвалы, осыпи и т.п.

В связи с тем, что нижние и верхние бьефы водохранилищ отличаются особенностями в морфологии, морфометрии участков, спецификой формирования водного режима на них, то именно это, в первую очередь, необходимо учитывать при расположении карьеров.

В нижние бьефы крупных водохранилищ поступает осветленная вода, так как все наносы задерживаются в водохранилище. По мере удаления от плотины расход наносов постепенно возрастает, а при впадении притоков – возрастает скачком. Стоит также отметить, что на приплотинном участке, по ряду причин, происходит естественный процесс понижения уровней воды. Это, вместе с малым стоком наносов, делает необходимым проектирование и возведение сооружений, предотвращающих понижение уровня при разработке карьера.

Пример: Ольховское месторождение нерудных строительных материалов (НСМ) в нижнем бьефе Воткинского гидроузла. Карьер разрабатывается с начала 90-х гг., оценка влияния на русловые процессы на данном участке незарегулированного русла р. Кама (до г. Сарапул) не проводилась. Лицензия на разработку Ольховского месторождения выдана 22.10.2015 г., разработка по ней еще не начата, имеется также участок в нераспределенном фонде. Понижение уровня является проблемой для обеспечения условий судоходства на данном участке, ограничение по дну – отметка порога Воткинского шлюза. Согласно Правил использования водных ресурсов Камского и Воткинского водохранилищ на р. Кама через Воткинский гидроузел, величина обязательного попуска для обеспечения судоходства, в редакции 1965 г. – 800 м³/сек., в редакции 2017 г. – 1200 м³/сек., на сегодняшний день и этого объема попуска недостаточно. Складывается парадоксальная ситуация: нерудные строительные материалы (НСМ) относятся к общераспространенным, лицензия на их добычу выдается уполномоченными органами Субъекта РФ, а проблемы, связанные с добычей (посадка уровней в НБ, переработка берегов, обеспечение устойчивости гидротехнических сооружений), становятся «головной болью» Росводресурсов, Росречфлота и Русгидро. По моему мнению, необходимо существенно ограничить или запретить добычу нерудных материалов в карьерах, расположенных в нижних бьефах гидроузлов, без выполнения

прогнозных расчетов русловых деформаций и посадки уровня на участке влияния карьера и в условиях лицензии установить обязательное требование проведения мониторинга переработки берега ниже по течению.

При наличии больших запасов НСМ в побочные и экономической целесообразности разработки карьеров значительных размеров, для предотвращения негативных последствий необходимо предусматривать опережающее развитие карьера строительство продольной дамбы, обеспечивающей поддержание необходимых отметок уровня в межень.

Расположение карьеров в верхних бьефах низконапорных гидроузлов и в зонах переменного подпора уровней наиболее рационально, с точки зрения влияния добычи НСМ на уровенный режим реки. Здесь не требуется возведение специальных сооружений защитного порядка, а кроме того, карьеры могут быть отработаны наиболее полно, что улучшает экономические показатели.

Как и в реках, залегающие в русловых водохранилищах запасы НСМ обычно включают очень малое количество мелких частиц. В отличие от свободной реки, здесь наблюдается резкое снижение уклонов свободной поверхности в межень, что позволяет иметь большую свободу в выборе места расположения карьера. В верхних бьефах карьеры можно располагать в пределах залегания НСМ без ограничения по длине.

В зонах переменного подпора уровней расположение карьеров также практически не имеет ограничений, кроме требований сохранения берега от разрушения.

Согласно Информационным бюллетеням о состоянии геологической среды на территории Пермской области и Коми-Пермяцкого автономного округа за 1977-2002 гг., Воткинское водохранилище было поделено на 3 зоны: Верхнюю (участок Пермь-Усть-Нытва), Среднюю (участок Усть-Нытва-Оса) и Нижнюю (участок Оса-Чайковский).

Для дальнейшей оценки влияния разработки карьеров на формирования берегов Воткинского водохранилища подробнее была рассмотрена Верхняя зона. Этот выбор обусловлен наличием большого количества карьеров НСМ на данной территории.

Для наблюдения за данными месторождения был выбран временной интервал в 25 лет (1977-2001 гг.), выбор которого объясняется тем, что в связи с реорганизацией наблюдательной сети мониторинга ЭГП в 2001 г. проведение работ по оценке территориальной активности оползневых процессов не представляется возможным (по данным Информационного бюллетеня...2002 г.) [4].

Проанализировав данные наблюдений, замечено, что пики оползневых процессов приходятся на 1979, 1983, 1987 и 1989 гг.

Используя данные, взятые из Государственного баланса месторождений полезных ископаемых, составлена таблица суммарного объема выработки песчано-гравийных смесей по месторождениям за временной период в 25 лет (1977-2001 гг.). Видно, что 1978, 1982, 1986 и 1988 гг. характеризуются максимальными объемами добычи ПГС. Также хорошо прослеживается связь между рассматриваемыми величинами. Например, активизация добычи в 1978 г. привела к большому числу оползней в 1979 г. Такие же пары наблюдаются в 1982-1983, 1984-1985, 1986-1987 и 1988-1989 гг.

Для оценки влияния были выбраны Хмелевское и Сукманское месторождения песчано-гравийных смесей. Выбор этих двух месторождений неслучаен. Прежде всего, стоит отметить, что на данных участках происходили активные процессы берегоразрушения, поэтому в пос. Новоильинский был установлен створ наблюдений. Изучением занимались ФГУ «Камводэксплуатация», «Пермкомвод» и ФГУП «Пермгеолмониторинг». Наблюдения велись с 1986 по 2007 гг. Позднее, в 2007 г., на данном участке было возведено берегоукрепление, и наблюдения прекратились. Кроме того, выбранные месторождения расположены таким образом, что оказывают наибольшее влияние на разрушение берега.

Для дальнейшего рассмотрения данных месторождений будет учитываться суммарное значение их добычи (табл. 1).

Таблица 1

Суммарный объем добычи ПГС на Сукманском и Хмелевском месторождениях за 16 лет

Год	Суммарный объем добычи ПГС (тыс. м ³)
1986	3241
1987	2602
1988	3887
1989	3100
1990	2710
1991	1617
1992	1086
1993	1119
1994	953
1995	619
1996	12
1997	20
1998	229
1999	29
2000	622
2001	288

Как уже было сказано ранее, наблюдения на данном створе ведутся с 1986 г. разными организациями. Наблюдения велись посредством визуальной оценки один раз в год, с использованием ориентиров на местности.

Таблица 2

Величина отступления берега в районе п. Новоильинский

Год	Отступление берега (м)
1986	0,5
1987	0,45
1988	0,65
1989	0,55
1990	0,7
1991	0,6
1992	0,5
1993	0,5
1994	0,4
1995	0,5
1996	0,35
1997	0,45
1998	0,5
1999	0,35
2000	0,4
2001	0,3

Был построен сравнительный график хода суммарной добычи ПГС на выбранных месторождениях и хода величины отступления берега за рассматриваемый период в 16 лет (1986-2001 гг). В результате проделанной работы был получен коэффициент корреляции, показывающий, насколько суммарная добыча ПГС рассматриваемых месторождений влияет на отступление берега на конкретно взятом створе в пос. Новоильинский. Величина коэффициента корреляции составляет 0,72, что указывает на тесную связь является сильной.

Следовательно, можно считать, что интенсивная разработка карьеров НСМ ниже по течению оказывает влияние на устойчивость берегового склона.

Список литературы

1. Атлас единой глубоководной системы европейской части РСФСР, 1984. М 1:25000.
2. Водоохранилище Воткинской ГЭС на р. Каме / под ред. Ю. М. Матарзина. – Пермь: [б. и.], 1968. – 203 с.
3. Ильин Н.И. Русловая добыча и перевозка нерудных строительных материалов. – М.: Транспорт, 1987. 232 с.
4. Информационные бюллетени о состоянии геологической среды на территории Пермской области и Коми-Пермяцкого АО за 1977-2002 гг. Пермь: ФГУДП «Перм-геомониторинг», 2003. Вып. 7.
5. Комплексные исследования Воткинского водохранилища и оценка его влияния на природу: монография / Под ред. С.А. Двинских, А.Б. Китаева. - Перм. ун-т. Пермь, 2007. С. 31–63.
6. Лоцманская карта Воткинского водохранилища, 1963.
7. Лунев Б.С., Кропачев А.И. Месторождения гравия, песка и глин в Пермской области, 1959.

8. Мацкевич И. К. Особенности гидрологического режима Воткинского водохранилища в связи с его положением в каскаде. // Автореф. дис... канд. геогр. наук, Пермский ун-т, 1973. 19 с.
9. Михайлов А. В., Китаев А. Б. Защитные и берегоукрепительные сооружения Пермского края. 2-е изд. // ПГУ, 2009.
10. Назаров Н.Н. Геодинамика побережий водохранилищ Пермского края. ЗАО «Полиграфкомплект», Пермь, 2008.
11. Отчет лаборатории геологии осадочных месторождений полезных ископаемых естественнонаучного института.
12. Руководство по проектированию русловых карьеров. Мероприятия по предотвращению понижения уровней воды. М.: Транспорт, 1987.
13. Фондовые материалы Пермского филиала ФГУ «Территориальный фонд информации по природным ресурсам и охране окружающей среды МПР России по Приволжскому федеральному округу»,
14. Чекренев А. И., Гришанин К. В. Водные пути. М.: Транспорт, 1976.

© Михайлов А.В., 2019

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ РИСКОВ СОСТОЯНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОТЕНЦИАЛА ВОДОХРАНИЛИЩ

Матвеева Л.Г.^{1,2}, Чернова О.А.^{1,2}

¹Южный Федеральный Университет, г. Ростов-на-Дону

²Российский информационно-аналитический и научно-исследовательский
водохозяйственный центр, г. Ростов-на-Дону

Аннотация. В статье показана взаимосвязь понятий определенности, риска и потерь. Рассматриваются 2 группы рисков – чистые и спекулятивные. Приводятся категории рисков, связанных с функционированием водохранилищ. Подробно описаны 4 этапа методики оценки состояния и использования потенциала водохранилищ.

Ключевые слова: неопределенность, риск, потери, потенциал водохранилища, чистые риски, спекулятивные риски.

METHODS OF ESTIMATING RISKS OF THE STATE AND USE OF RESERVOIRS' POTENTIAL

Matveeva L.G.^{1,2}, Chernova O.A.^{1,2}

¹Southern federal university, Rostov-on-Don

²Russian Information-Analytic and Research Water Economy Centre, Rostov-on-Don

Abstract. In the article, an inter connection between the notions of uncertainty, risks and losses is shown. Two groups of risks are considered – netrisk and speculative risks. The categories of risks connecting with functioning and using reservoirs are given. Four stages of the methods for estimating the state and use of reservoirs' potential are described in detail.

Keywords: uncertainty, risk, losses, reservoir potential, netrisky, speculative – risks.

В рамках общенациональных императивов ресурсосбережения и ресурсоэффективности, в орбиту которых включаются все виды ресурсов, особенно базовых (в том числе водных), глобальная проблема рационального использования ограниченных водных ресурсов бассейнов, в существенной степени, определяется структурой и масштабами источников воды в каждом конкретном регионе. В данном контексте следует отметить, что в структуре водохозяйственных систем региона особое значение имеют водохранилища, которые, выполняя системообразующие функции, позволяют обеспечить рациональное использование водных ресурсов, а в некоторых случаях – решить проблемы их дефицита. На территории одного только ЮФО насчитывается более 8 тыс. водохранилищ и прудов, многие из которых (в основном очень малые водохранилища, емкостью до 1 млн. м³) находятся в неудовлетворительном состоянии [1]. Это обуславливает научно-практическую значимость исследования проблематики оценки рисков состояния и использования ресурсного потенциала водохранилищ.

В настоящее время оценка состояния водохранилищ осуществляется с позиций критериев экологической безопасности. В частности, в соответствии с методикой, разработанной специалистами Института водных проблем РАН совместно с ОАО «Институт гидропроект», основными индикаторами состояния водохранилищ выступают компоненты водной и наземной экосистемы, изменение которых можно рассматривать как изменение равновесных условий с качественными изменениями в окружающей среде (рис. 1). Можно заметить, что существующая методика оценки предполагает учет техногенных воздействий окружающей среды на состояние потенциала водохранилищ. Соответственно, риски состояния и использования потенциала водохранилищ определяются в контексте влияния принимаемых в экономике региона технологических решений на приведенные показатели.

Водохранилищам, как и любой другой эколого-экономической системе, функционирующей в условиях высокой неопределенности внешней среды (как природного, так и экономического и др. характера), а также изменчивости факторов внутреннего окружения (состояние, взаимосвязи, проводимая экономическая и экологическая политика и т.д. и т.п. хозяйства водохранилища), присущи разного рода риски. Так, в частности, ненормативный режим использования водных ресурсов, высокий уровень износа механизмов и конструкций может привести к аварийным ситуациям, имеющим катастрофическое значение для экосистемы региона.

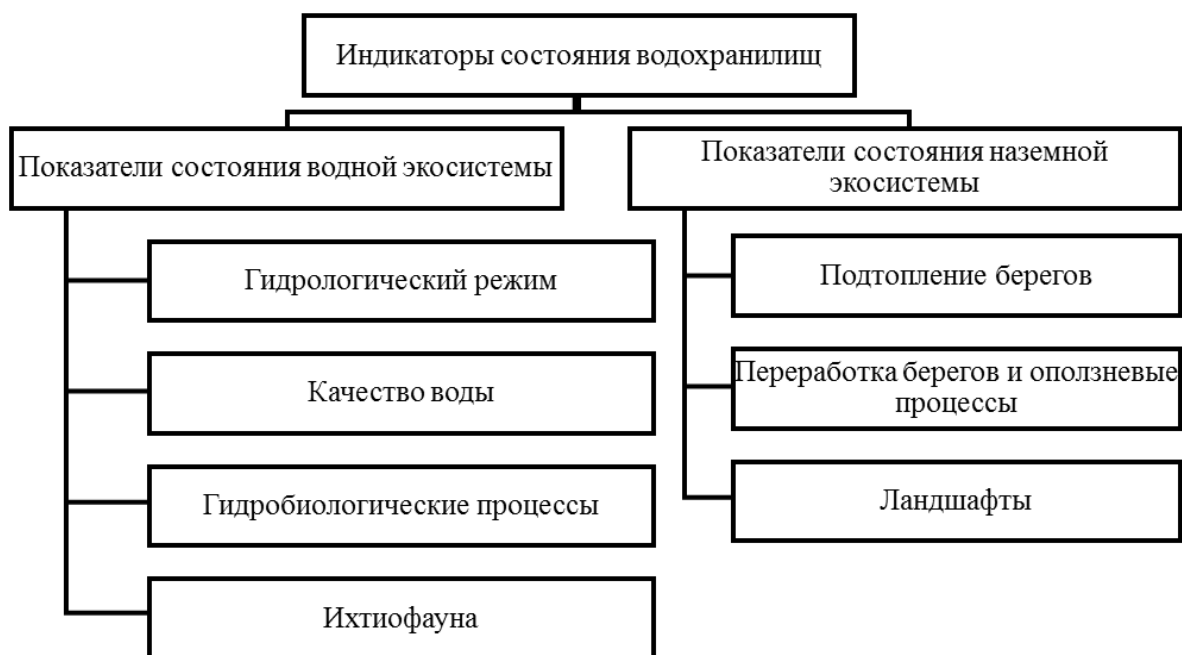


Рис. 1. Индикаторы состояния водохранилищ

В общем виде взаимосвязь понятий неопределенности, риска и потерь представлена на рис. 2.



Рис. 2. Последовательность взаимосвязи понятий неопределенности, рисков и сопряженных потерь

В зависимости от возможного итога (рискового события), риски можно поделить на две группы: *net* (чистые) и *speculative* (спекулятивные).

«Netrisks (чистые риски) означают возможность получения отрицательного или нулевого результатов использования потенциала водохранилища в анализируемый период. К этим рискам относятся следующие: природно-естественные, экологические, политические, транспортные и часть коммерческих рисков (имущественные, производственные, торговые).

Speculativerisks (спекулятивные риски) выражаются в возможности получения как положительного, так и отрицательного результатов функционирования водохранилища в анализируемый период. К этим рискам относятся экономические, финансовые, репутационные, юридические риски, являющиеся частью коммерческих рисков» [3].

Существует также большое количество рисков, с которыми сопряжено функционирование водохранилищ, здесь же только отметим, что в зависимости от основной причины возникновения рисков (базисный или природный риск), они делятся на следующие категории: природно-естественные, экологические, политические, транспортные, коммерческие риски. При этом следует учитывать, что показатели состояния водохранилищ имеют не только важное экологическое, но и социально-экономическое значение, детерминируя как природные, так и значительные хозяйственные риски. Это, прежде всего, относится к регионам локализации водохранилищ, на функционирование которых потенциал водохранилищ оказывает самое непосредственное влияние.

Так, для экономики региона потенциал водохранилищ выражается в следующем:

- *хозяйственный потенциал* – возможности развития сельского и прудового хозяйства, а также других видов водоемких производств;
- *энергетический потенциал* – развитие энергетической инфраструктуры региона (в том числе, в соответствии с Энергетической Стратегией 2030; - выполнение функций инфраструктуры, поддерживающей инновационные процессы в производственной, социальной и других сферах регионального хозяйства), а также возможности установки малых электростанций;
- *рекреационный потенциал* – возможности развития туристического бизнеса, формирования санаторно-курортных зон и зон отдыха;
- *жилищно-коммунальный потенциал* – обеспечение пресной водой населенных пунктов региона.

На территории Южного федерального округа функционирует множество хозяйствующих субъектов, использующих водные ресурсы малых водохранилищ (объемом до 10 млн. м³) для обеспечения собственных потребностей в орошении, разведении прудовых рыб, водоплавающих птиц, а также для нужд сельского хозяйства и многочисленных предприятий малого и среднего масштабов. Другую большую группу составляют «водохранилища, обладающие значительным энергетическим потенциалом и используемые для установки малых ГЭС» [4]. Несмотря на то, что в энергетическом балансе региона

данные электростанции не играют существенной роли, тем не менее, их потенциал довольно широко используется при проведении сезонных сельскохозяйственных работ, что имеет особое значение для южнороссийских регионов, учитывая их профиль и специализацию.

Таким образом, совершенно очевидно, что нарушение состояния водных ресурсов водохранилищ разного масштаба может привести к значительным социально-экономическим издержкам (наряду с ущербом окружающей среде). Поэтому методика оценки рисков состояния и использования потенциала водохранилищ наряду с оценкой угроз для экосистемы региона должна включать оценку хозяйственных рисков.

К числу наиболее значимых хозяйственных рисков состояния и использования потенциала водохранилищ следует отнести те, «которые связаны с возникновением сбоев в системах получения информации об изменении объема водных ресурсов, связанных с климатическими факторами и гидрогеологической изменчивостью» [5].

Следующей проблемой, обуславливающей хозяйственные риски, является необходимость обеспечения качества водных ресурсов водохранилищ требуемым характеристикам.

Риск несоответствия может быть вызван техногенными факторами, приводящими к росту концентрации в водоемах загрязняющих веществ. Особо значимым этот вид риска является для сельскохозяйственного производства и прудового хозяйства, где превышение предельно допустимых концентраций загрязняющих элементов может привести к гибели рыбы, сельскохозяйственных культур и т.д. Загрязнение прибрежной зоны водохранилища отрицательно сказывается на развитии рекреационного комплекса региона и ведет к негативным мультипликативным эффектам во всей региональной системе [2, 6].

Таким образом, хозяйственные риски являются неотъемлемым компонентом рисков состояния и использования потенциала водохранилищ.

Для комплексной оценки рисков, влияющих на состояние и использование потенциала водохранилища, важное значение имеет этап получения и обработки необходимой, достаточной и объективной информации. Взаимосвязь между риском и качеством информации, по которой осуществляется его оценка, показана в табл. 1.

Таблица 1

Оценка используемой информации в риск-менеджменте водохранилищ

Характеристика	Критерий оценки (качество)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Достоверность (корректность) информации										
Объективность информации										
Однозначность										
Порядок информации										
Полнота информации										
Релевантность										
Актуальность информации										
Количественная оценка качества информации как среднеарифметическое значение (+ 10)										

Таким образом, для оценки рисков состояния и использования потенциала водохранилищ предлагается сопряженное использование количественных и качественных показателей. Количественные показатели позволяют получить объективную картину о состоянии водных объектов и также в дальнейшем могут быть использованы для проведения факторного анализа. Качественная оценка может базироваться на использовании экспертных методов и помимо оценки состояния водных объектов, может оценивать вероятность наступления рискованного события, а также степень его значимости для устойчивого развития экономики региона.

В общем виде методику оценки состояния и использования потенциала водохранилищ можно представить следующим образом.

На *первом* этапе выделяются основные экономические сферы использования ресурсов водохранилищ в экономике региона. При этом для каждой сферы следует указать возможные риски нарушения водоснабжения и дать оценку возможному ущербу (экономическому, социальному, экологическому).

На *втором* этапе предполагается выявить и проранжировать факторы и условия, которые могут привести к возникновению рискованных ситуаций. На данном этапе следует соотнести отдельные элементы факторов риска с

возможными последствиями. Это позволит сформировать целевые ориентиры развития системы водохранилищ в регионе и увязать их со стратегическими задачами развития экономики региона.

Третий этап сопряженной (использование потенциала водохранилищ и уровень социально-экономического развития региона их локализации) оценки предполагает прогнозирование возможных изменений в экосистеме региона, которые могут повлиять на состояние водохранилищ, и разработать возможные корректирующие воздействия.

Поэтому следующим, *четвертым*, этапом проведения оценки потенциала водохранилищ будет формирование программных мероприятий и их встраивание в отраслевые и региональные документы.

В общем виде предлагаемая методика может быть представлена в виде следующей последовательности действий (рис. 2).

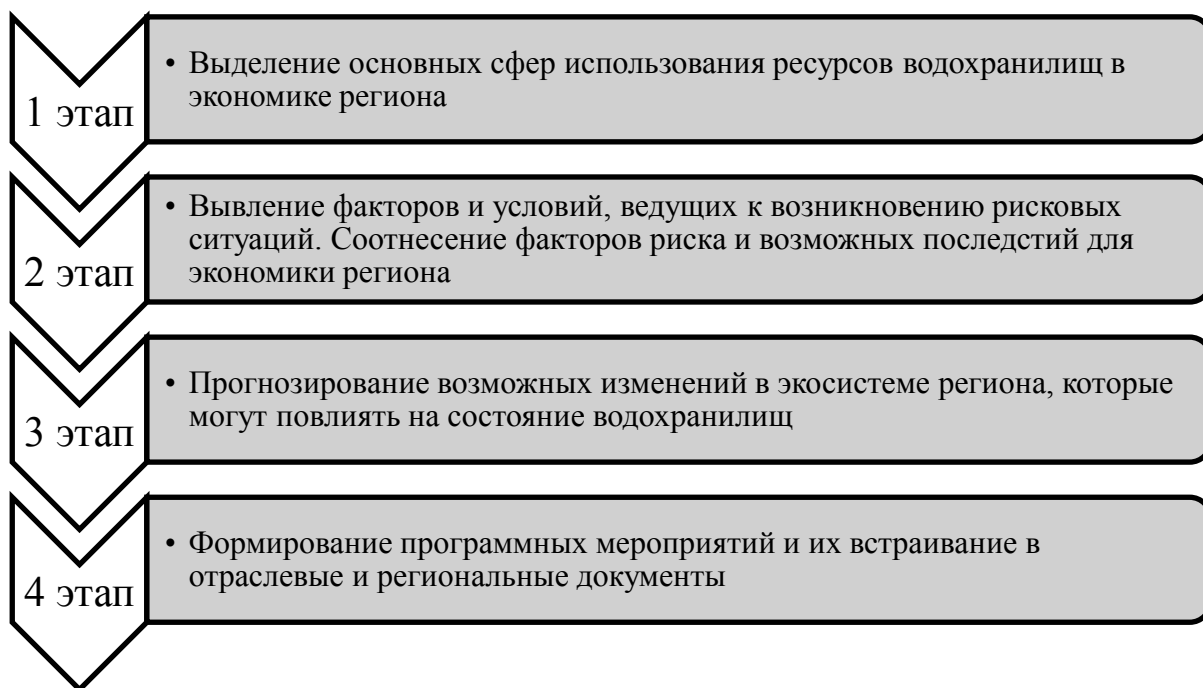


Рис. 2. Методика сопряженной оценки состояния и использования потенциала водохранилищ

Для построения кривой риска и определения уровня потерь, определяемых качеством деятельности менеджмента водохранилища по управлению рисками, выделяются определенные области или зоны риска в зависимости от величины потерь (табл. 2).

Таблица 2

Основные области рисков, сопряженных с функционированием водохранилища в условиях неопределенности

ПОТЕРИ				ВЫИГРЫШ		
5	4	3	1	1		0
Г1	В1	Б1	А1 О А	Б	В	Г
Область недопустимого риска	Область критического риска	Область повышенного риска	Область минимального риска	Безрисковая область		

Обобщая вышеизложенное, отметим, что предлагаемый подход к оценке состояния и использования потенциала водохранилищ в значительной степени повысит научную обоснованность и практическую значимость существующих инструментов оценки потенциала водохранилищ. Кроме того, он позволит усилить целевую ориентацию стратегий развития водохозяйственного комплекса на решение задач социально-экономического развития регионального хозяйства.

Список литературы

1. Авакян А.Б., Подольский С.А. Водохранилища и животный мир: сосуществование и противостояние // Вода России. М., 2000. № 10 (105). С. 6-7.
2. Гузий Д.С., Антошкина Е.В. Рекреационный потенциал водохранилищ // Курортно-рекреационный комплекс в системе регионального развития: инновационные подходы. 2013. № 1. С. 120-124.
3. Матвеева Л.Г., Никитаева А.Ю., Чернова О.А., Щипанов Е.Ф. Управление проектами в условиях риска и неопределенности. Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2015. 258 с.
4. Пташкина-Гирина О.С., Гусева О.А. Гидроэнергетический потенциал напорных гидроузлов Челябинской области [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.eecca-water.net/file/Ptashkina-girina-O.S.-Gidroenergeticheskiy-potencial.pdf>
5. Чернова О.А. Информационные риски в управлении водохозяйственным комплексом региона // Управленец. 2018. № 5. С. 40-47.
6. Шарапаев И. В. Оценка рекреационного потенциала водохранилищ Брянской области // Вест. Брянского гос. ун-та. 2010. № 4. С. 258-261.

© Матвеева Л.Г., Чернова О.А., 2019

ОЦЕНКА ПОТЕРЬ ВОДЫ ИЗ ВОДОХРАНИЛИЩ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Бортин Н.Н.

ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Дальневосточный филиал, г. Владивосток
E-mail: nbortin@mail.ru

Аннотация. Предложена методика расчета испарения с водной поверхности водохранилищ Дальнего Востока. Рассмотрены потери воды из водохранилищ на испарение, льдообразование и фильтрацию.

Ключевые слова: водохранилища, потери воды, испарение, льдообразование, фильтрация.

ESTIMATING WATER LOSS FROM THE RESERVOIRS OF THE FAR EAST

Bortin N.N.

FSBI «Russian Scientific Research Institute of integrated use and protection, Far Eastern branch», Vladivostok, Russia
E-mail: nbortin@mail.ru

Abstract. The calculation technique of evaporation from the water surface of the Far East is proposed. Water loss from the reservoirs through evaporation, ice formation and filtering are considered.

Keywords: reservoirs, water loss, evaporation, ice formation, filtering.

Хозяйственное освоение Дальневосточного региона невозможно в отрыве от решения проблем водохозяйственного устройства его территорий.

Неустойчивость водного режима дальневосточных рек, часто повторяющиеся наводнения предопределили для региона задачи по регулированию стока рек для целей водоснабжения, орошения, гидроэнергетики и борьбы с наводнениями (минимизации ущерба от данного вида риска)

В настоящее время на Дальнем Востоке насчитывается порядка 180 водохранилищ различной ёмкости и назначения. Водохранилища Дальнего Востока – руслового типа, за исключением очень мелких. Почти половина всех водохранилищ Дальнего Востока (45 %) построена на малых реках и имеет водосборные площади до 50 км². В среднем, площадь водного зеркала при НПУ занимает 2,5 % от площади водосбора. Подавляющее количество водохранилищ относится к мелководным (90 % от общего числа), их средняя глубина не превышает 5-10 м. Исключение составляют отдельные водохранилища с полезным объёмом от 100 и более млн. м³. По степени проточности лишь 35 % водохранилищ являются сильно проточными, 20 % – непроточные, остальные – средне- и слабопроточные [1].

Известно, что водохранилища различного хозяйственного назначения должны иметь регулирующий объём больше, чем требуется для удовлетворения только хозяйственных нужд и экологических попусков, поскольку в процессе наполнения и эксплуатации водохранилища неизбежны потери некоторого его объёма. К основным потерям относятся потери воды на испарение, ледообразование и фильтрацию. Количественные показатели потерь воды должны устанавливаться на основе тщательного изучения местных природных условий.

Несмотря на большое внимание к проблеме испарения с водной поверхности, она, в силу большой сложности, всё ещё недостаточно изучена, особенно на Дальнем Востоке.

Для определения скорости испарения с водной поверхности существует целый ряд зависимостей: теоретических, эмпирических и полуэмпирических (включая расчет составляющих теплового баланса) [2-4]. Не останавливаясь на анализе этих зависимостей, следует отметить, что наиболее распространенными являются полуэмпирические зависимости, полученные на материалах натуральных наблюдений и основанные на законе Дальтона, вида:

$$E = c \cdot (l_0 - l) \cdot (1 + ku), \quad (1)$$

где E – слой испарившейся воды, мм/сут; c – коэффициент испарения, характеризующий поправку на общее воздействие различных факторов, не учтенных формулой; l_0 – максимальная упругость водяного пара при данной температуре поверхности воды в мб; l – среднесуточное значение упругости водяного пара на высоте H'_{cp} над уровнем моря, в мб; u – скорость ветра, в м/с; k – ветровой коэффициент.

Широко используемые в водохозяйственных расчетах формулы этого вида и другие подходы для расчета испарения с водной поверхности водохранилищ подробно были освещены ранее в работах Дальневосточных ученых [5-6]. В этих работах, при определении температуры испаряющей поверхности авторами использованы: метод связи среднемесячных значений температур воды и воздуха и, следовательно, не учтен суточный характер изменения этой величины, а также метод расчета декадных значений испарения с водной поверхности, по данным испарителей ГГИ-3000, с переходом на показания испарительного бассейна 20 м^2 , основанным на связи испарения со среднедекадными величинами температуры, дефицита влажности воздуха и скорости ветра на высоте флюгера по континентальным станциям без пересчета этих показателей на высоту 200 см, что заведомо обуславливает погрешности в определении искомой величины испарения.

Учитывая вышеизложенное, нами в течение ряда лет (с мая по октябрь) проводились специальные исследования за испарением с водной поверхности малых водохранилищ с площадями зеркала водной поверхности до 0,5 км², расположенных в Приморском крае и Сахалинской области [7-8].

Цель исследований заключалась в определении различий испарения с испарометров ГГИ-3000, установленных на суше и водохранилищах на плавучих водноиспарительных установках; выявлении связи температуры испаряющей поверхности с температурой воздуха на высоте 200 см; подборе параметров в расчетной формуле (1) для определения фактического испарения с водной поверхности малых водохранилищ.

Наблюдения за испарением на водохранилищах проводились на плавучих водноиспарительных установках, расположенных в пределах 100-150 м от берега и укомплектованных испарометрами ГГИ-3000, психрометрическими будками, стойками для градиентных наблюдений. Параллельно, в те же периоды и сроки (7 и 19 ч. местного среднесолнечного времени) проводились наблюдения за испарением с водной поверхности по испарометрам ГГИ-3000, установленным на метеоплощадках стационаров, работавших в летне-осенний период по программе станций Росгидромета третьего разряда.

Результаты выполненных исследований показали, что суточные значения испарения по испарометру ГГИ-3000, расположенному на плавучей водноиспарительной установке, существенно выше (за исключением мая), чем по испарометру, расположенному на суше. Наибольшие различия внутрисуточных величин испарения наблюдаются в дневное время суток, в ночное – происходит некоторое выравнивание измеренных величин. В первые две декады мая испарение по испарометру, установленному на суше, значительно выше, чем на плавучей водноиспарительной установке, к концу месяца удельный расход влаги на испарение по обоим испарометрам существенно не отличается. В целом, за период параллельных наблюдений испарение по испарометру, установленному на плавучей установке, было выше, чем испарение по испарометру, установленному на суше, на 25-35 %.

Различия в испарении испарометров, установленных в разных условиях окружающей среды (вода-суша), определяются рядом факторов, главными из которых являются: режим турбулентности приземного слоя воздуха, зависящий от шероховатости испаряющей поверхности водоема и суши, что приводит к нарастанию скорости ветра над водоемом до 2-3 м и способствует тем самым увеличению испарения; разница в температурном режиме приземного слоя воздуха и температуре испаряющей поверхности. Так, на высоте 0,5 м различия среднесуточных значений температур воздуха над водной поверх-

ностью и сушей составляли $1,5^{\circ}\text{C}$ при температуре воздуха до 20°C и постепенно выравнивались к 30°C . Температура поверхности воды в испаромере, установленном на плавучей установке, в большинстве случаев в пасмурные и дождливые дни (и в осенний период) выше, чем в испаромере, установленном на суше, на $1-3^{\circ}\text{C}$.

Для выявления различий в температурном режиме испаряющей поверхности водоема и испаромера, установленного на плавучей установке, и оценки влияния окружающей среды на температурный режим испаряющей поверхности были проведены наблюдения за температурой поверхности воды в испаромере, у плавучей установки и по всей площади водоема по трем равноудаленным поперечникам на глубинах $0,01$ и $0,1$ м.

Установлено, что среднесуточная температура поверхности воды в испаромере на плавучей установке близка к температуре воды водоема, измеренной у плавучей водноиспарительной установки, а также температуре, измеренной по всей площади зеркала водохранилища. Наибольшие различия не превышают 1°C (прибрежная $0,5$ м полоса) и в большинстве случаев составляют десятые доли градуса. Следовательно, можно считать, что температурный режим испаряющей поверхности испаромера, установленного на плавучей установке, и температурный режим водной поверхности водохранилища практически одинаковы, а температура воды, измеренная в испаромере на плавучей установке, может быть принята за фактическую температуру испаряющей поверхности водохранилища.

Установлена тесная связь среднесуточных температур водной поверхности в испаромерах, расположенных на плавучей водноиспарительной установке (t_{nl}) и суше (t_c). Связь выражается зависимостью вида:

$$t_{nl} = 0,9 \cdot t_c + 2,5. \quad (2)$$

Для выявления расчетной зависимости температуры испаряющей поверхности водоема (t_g) от температуры воздуха на высоте 200 см (T_{200}) анализировались связи среднесуточных, среднедекадных и среднемесячных значений температур воздуха, измеренных термографом на метеоплощадках стационаров, расположенных в $1,5$ км от водохранилища, и температурой воды водохранилищ.

Получены следующие уравнения для различных сезонов теплого периода:

$$\text{весна (IV – V)} \quad t_g = 1,13 \cdot T_{200} - 1,3, \quad (3)$$

$$\text{лето (VI – VIII)} \quad t_g = 1,06 \cdot T_{200} + 0,72, \quad (4)$$

$$\text{осень (IX)} \quad t_g = 1,13 \cdot T_{200} + 2,2, \quad (5)$$

Отклонения вычисленных по формулам (3-5) среднесуточных величин температуры поверхности воды водохранилища от наблюдаемых в 90 % случаев не превышает 10 %, а среднедекадных и месячных – 6 %.

Для выявления связи скорости испарения с метеоэлементами и подбора параметров к формуле (1) проведена систематизация исходного материала, проанализированы связи суточных величин испарения с дефицитом влажности воздуха, температурой испаряющей поверхности и скоростью ветра на высоте 200 см.

Наиболее тесная зависимость среднесуточных величин испарения от факторов, его определяющих, получена при анализе дефицитов влажности воздуха и скорости испарения как функции скорости ветра, осредненной в пределах интервалов 1-2; 2-3; 3-4 и т.д., м/с.

В результате обобщения материалов экспериментальных исследований получены расчетные зависимости для определения среднесуточных значений испарения (E) с водной поверхности водоемов, следующего вида:

а) для материковой части Дальнего Востока

$$E = 0,27 \cdot (l_0 + l_{200}) \cdot (1 + 0,33u_{200}), \quad (6)$$

б) для островной части

$$E = 0,15 \cdot (l_0 - l_{200}) \cdot (1 + u_{200}) \quad (7)$$

где l_0 – максимальная упругость водяного пара при данной температуре испаряющей поверхности водоема, мб; l_{200} – среднесуточное значение упругости водяного пара на высоте 200 см, мб; u_{200} – среднесуточная скорость ветра над водоемом на высоте 200 см, м/с.

Проверка зависимостей (6, 7) показала достаточно хорошую сходимость результатов с материалами полевых наблюдений [7-8]. В 90 % случаев ошибка определения суточных величин испарения по формуле (6) не выходит за пределы 15 %, в то время как по [2] ошибка расчета составляет 20-40 %.

Таким образом, в летне-осенний период суточные величины испарения с малых водоемов выше суточных величин испарения, измеренных по испаромеру ГГИ-3000, установленному на суше; за теплый период эти различия составляют от 25 до 35 и более %; температура испаряющей поверхности водохранилища за летне-осенний период на 1-3° выше температуры воды в испарителе ГГИ-3000, установленном на суше.

Считается, что расчетные формулы являются достоверными лишь для тех районов, для которых они получены. Поэтому для дальневосточных районов нами проведены контрольные сопоставления рассчитанных величин испарения по формуле (6) с данными фактических наблюдений Росгидромета за

испарением с водной поверхности по озерным станциям материковой части Дальнего Востока (см. табл.): Бомнак (Амурская область); Беклемешево (Забайкальский край); Арыктах (Якутия). Результаты расчетов показали более высокую точность формулы (6) по сравнению с методикой, изложенной в [2].

Рассчитанные величины испарения с водной поверхности водоемов по предлагаемой региональной методике (формула 6) и Указаниям [2] и их отклонение от наблюдаемых (табл.).

Таблица

Величины испарения с водной поверхности водоемов, рассчитанные по региональной методике и Указаниям, и их отклонение от наблюдаемых

Годы	Значение	Наблюд. испарение, мм	Рассчит. по региональной методике, мм	Разница, %	Рассчит. по Указаниям [2], мм	Разница, %
Бомнак, Амурская область						
1959-1978	Мин.	275	222	2,2	138	22
	Сред.	353	317	10	202	44
	Макс.	466	421	19	267	51
Беклемешево, Забайкальский край						
1963-1985	Мин.	149	186	0,3	127	-1,4
	Сред.	348	331	1,2	255	25
	Макс.	446	444	-40	361	38
Арыктах, Якутия						
1969-1985	Мин.	220	227	0,3	185	8
	Сред.	286	303	-4	243	17
	Макс.	392	391	-18	322	25

Погрешность определения испарения по вышеизложенной методике составила, в среднем за расчетный период, по озерной станции Бомнак – 10 %, Беклемешево – 1,2 %, Арыктах – -4 %; в то время, как по [2] она равна, соответственно, 44, 25 и 17 %.

Запас воды, аккумулированный в ледяном покрове в водохранилище, является временной потерей (весной эти запасы возвращаются), но он может повлечь за собой снижение суммарного объема отдачи в зимний период.

При сезонном регулировании стока объем воды, аккумулированный в ледяном покрове, определяются по известной зависимости вида [5]:

$$W = K * Y_l * h_l * (F_1 - F_2) \quad (8)$$

где K – коэффициент, учитывающий постепенное нарастание толщины льда за зимний период, равный 0,65; Y_l – объемный вес льда (0,91 т/м³); h_l – наибольшая толщина льда в водохранилище к концу зимы; F_1 и F_2 – площади зеркала водохранилища в начале ледостава и перед весенним половодьем.

Толщина льда определяется по сумме отрицательных температур за период зимней сработки водохранилища. Для застойных водоёмов юга Дальнего Востока можно использовать следующие расчетные зависимости [5]: в зоне вечной мерзлоты $h_{л} = 2,8 * (\sum t^{\circ})^{0,5}$; в зоне многолетней и сезонной мерзлоты – $h_{л} = 2,4 * (\sum t^{\circ})^{0,5}$. Здесь $\sum t^{\circ}$ – сумма среднесуточных отрицательных температур воздуха за расчетный период.

Потери на ледообразование учитываются только при расчете сезонной составляющей баланса водохранилища в зимне-весенний период.

Величина фильтрационных потерь чаши водохранилища зависит от его гидрогеологических условий, характера напластования водоносных слоев, ширины плотины и её конструкций (плотности затворов) и напора воды в водохранилище. Фильтрационные потери вычисляются при среднем уровне наполнения водохранилища. При приближенных расчетах потери на фильтрацию относят к единице площади или объема водохранилища и принимают постоянными. Воднобалансовые расчеты фильтрационных потерь водохранилищ питьевого назначения в Приморском крае: Артёмовского, Богатинского, Пионерского (многолетнего регулирования) при соответствующих фильтрационных расходах, равных 5684 м³/сут; 663,6 м³/сут; 188,6 м³/сут, показали, что потери на фильтрацию в % при соответствующих объемах водохранилищ при НПУ, равных 118; 14,2; 6,1 млн.м³, не превышают 2 % за год, что характеризует гидрогеологические условия чаш водохранилищ как хорошие.

Список литературы

1. Эльясберг С.Е., Бортин Н.Н., Матвеева Ф.И. Вопросы проектирования плотин водохранилищ для водоснабжения на Дальнем Востоке. Владивосток, 2000. 416 с.
2. Указания по расчету испарения с поверхности водоемов: Утв. Гл. упр. гидрометслужбы при Сов. Мин. СССР 04.09.69. (Введены в действие с 01.01.70). Л.: Гидрометеиздат, 1969. 83 с.
3. Руководство по гидрологическим расчетам при проектировании водохранилищ. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 283 с.
4. Рекомендации по проектированию прудов. М., 1981. 207 с.
5. Черненко В.Г., Маврина Л.М. Расчет испарения с поверхности прудов и водохранилищ Дальнего Востока // Сб. науч. работ / ДальНИИС. 1962. Вып. 2. С. 102-109.
6. Рекомендации по расчету испаряемости в Приморском крае / ДальНИИГиМ; Сост. Г.И. Шестопапов. Владивосток, 1977. 20 с.
7. Бортин Н.Н., Шевченко Г.Н. Исследование испарения с водной поверхности водохранилищ сельскохозяйственного назначения в Приморском крае // Материалы науч. конф. проблемам гидрологии рек зоны БАМ и Дальнего Востока, 1986. С. 334-339.
8. Бортин Н.Н., Шевченко Г.Н., Алексеев А.М. К методике расчета испарения с водной поверхности малых водоемов на юге Дальнего Востока // Повышение эффективности мелиорации и водного хозяйства на Дальнем Востоке. Итоги и перспективы исследований: Тезисы докл. IV зональной науч.-техн. конф. Уссурийск, 1987. Ч. 2. С. 50-51.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ НОВОСИБИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Борисенко В.И., Мальцев В.С.

Верхне-Обское бассейновое водное управление

E-mail: vobvu@vobvunsk.ru

Аннотация. Водные ресурсы Новосибирского водохранилища используются комплексно: в настоящее время – для целей коммунального и промышленного водоснабжения, речного транспорта, гидроэнергетики, рыбного хозяйства, сельского хозяйства, в противопаводковых и рекреационных целях.

Ключевые слова: Новосибирское водохранилище, комплексное использование, предвесенняя сработка.

UTILIZATION OF THE NOVOSIBIRSK RESERVOIR WATER RESOURCES UNDER EXISTING CONDITIONS

Borisenko V.I., Mal'tsev V.S.

Upper Ob' basin water administration

Abstract. Water resources of the Novosibirsk reservoir are comprehensively used for domestic and industrial water supply, river transport, hydraulic power engineering, fishing, farming, for flood-control and recreation purposes.

Keywords: Novosibirsk reservoir, multipurpose use, presowing drawdown.

Новосибирское водохранилище является единственным в России очень крупным водохранилищем [1], которое не работает в каскаде и не может осуществлять не только многолетнее, но и глубокое сезонное регулирование [2].

Новосибирское водохранилище и гидроэлектростанция введены в эксплуатацию в 1956 г. Нормальный подпорный уровень (НПУ) 113.50 м достигнут весной 1959 г.

Современные основные параметры водохранилища установлены в 2011 г. [3]: площадь акватории водохранилища составляет 1082 км², полный объем – 7.78 км³, полезный – 4.36 км³, степень водообменности – 0.15. Основные характеристики стока р. Обь в створе плотины ГЭС: среднемноголетний годовой сток равен 52.7 км³, средний объем весеннего половодья – 38.3 км³, максимальный – 52.8 км³ (1969 г.).

Незначительные регулирующие возможности водохранилища и противоположные, плохо сочетаемые требования основных водопользователей к уровенному режиму в верхнем и нижнем бьефах, по сезонам и амплитуде сезонных и внутрисуточных колебаний; перманентная посадка уровней в нижнем бьефе (рис. 1); возрастающая социальная нагрузка прибрежной рекреаци-

онной зоны в нижнем бьефе представляют сложный комплекс задач, которые приходится решать в процессе регулирования использования водных ресурсов водохранилища.

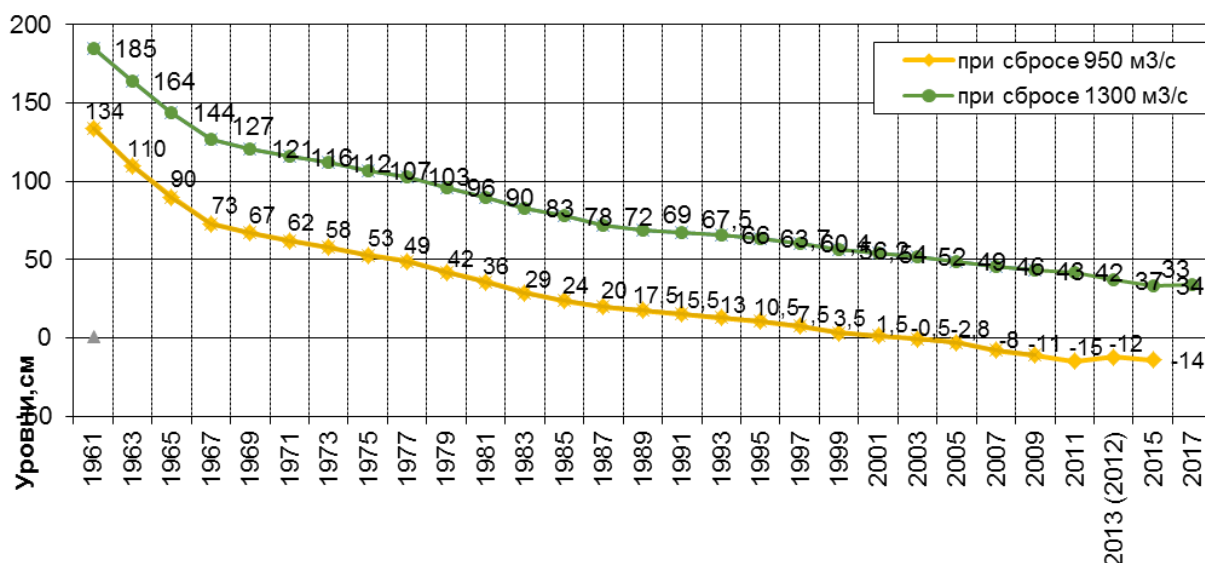


Рис. 1. Посадка уровня по НВП за 1961-2017 гг. (открытое русло)

Водные ресурсы Новосибирского водохранилища используются комплексно: в настоящее время – для целей коммунального и промышленного водоснабжения, речного транспорта, гидроэнергетики, рыбного хозяйства, сельского хозяйства, в противопаводковых и рекреационных целях.

Типовой график изменения уровня водохранилища (использования) показан на рис. 2 и характеризуется следующими этапами в разрезе водохозяйственного года:

– заполнение водохранилища избыточным стоком весеннего половодья и трансформация расходов притока с использованием противопаводковой призмы (форсированием отметки НПУ на 0.20 м) в целях уменьшения затопления и подтопления пойменных территорий города в средневодные и многоводные годы – садово-дачных обществ, постепенно преобразующихся в жилой сектор;

– поддержание уровней водохранилища на отметке НПУ в летний период;

– сработка водохранилища в летне-осеннюю межень для обеспечения навигации на р. Обь при притоке менее 1300-1500 м³/с (по заявке речного транспорта) и ее ограничением при достижении отметки 113.00 м попусками в режиме сбросов в нижний бьеф «по притоку»;

– сработка водохранилища в осенне-зимнюю межень попусками, гарантирующими работу коммунальных водозаборов г. Новосибирск (450-950 м³/с);

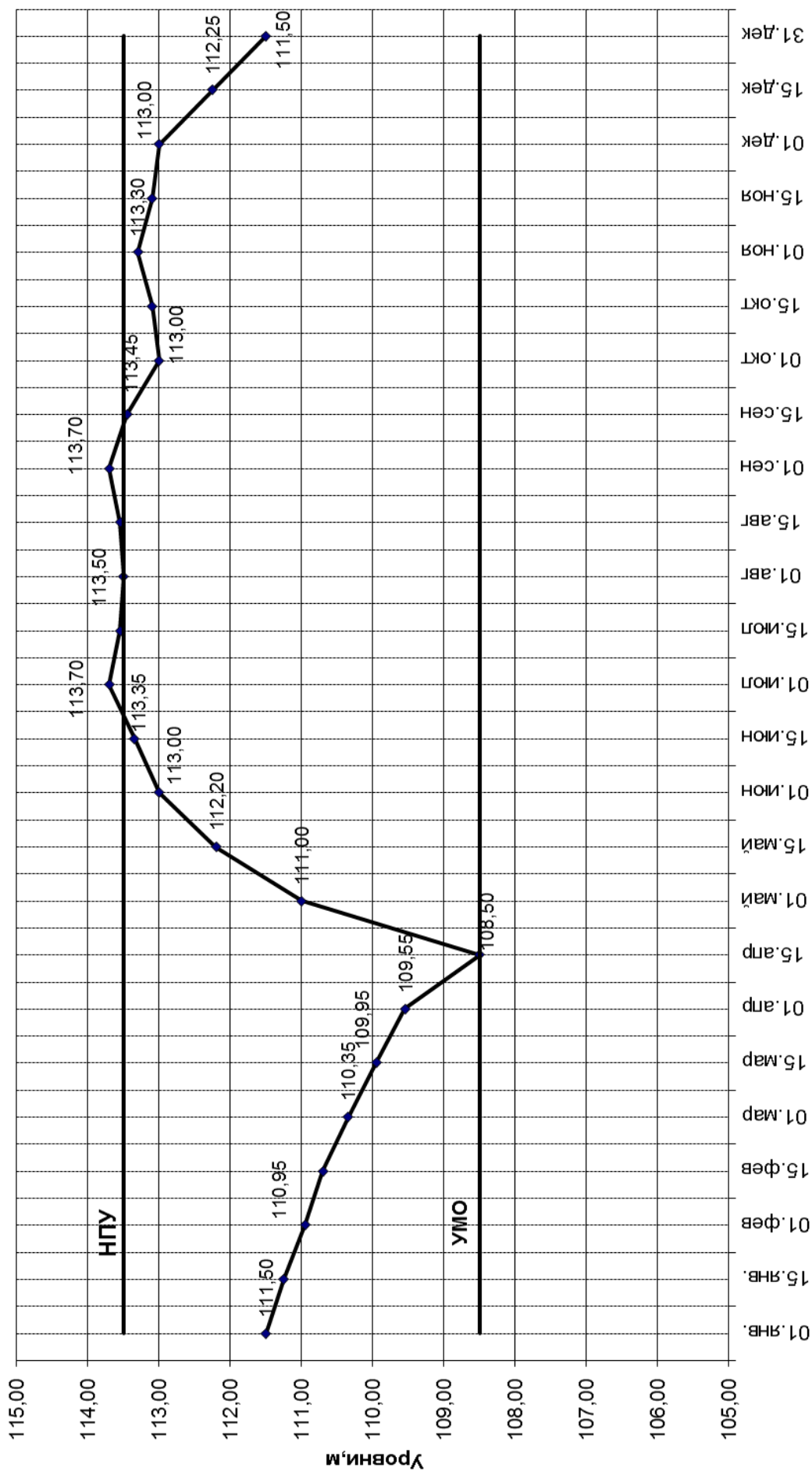


Рис. 2. Типовой график уровней Новосибирского водохранилища

– предвесенняя сработка водохранилища до уровня мертвого объема (УМО) 108.50 м, при этом фактический график изменения уровней в части сработки водохранилища до УМО соответствует типовому только в годы с обеспеченностью водности осенне-зимней межени менее 60 %; при обеспеченности от 60 % до 80 % допускается сработка водохранилища до отметки 107.50 м – уровень гарантированной работы водозабора г. Бердска.

В отдельные годы водохранилище вынужденно сбрасывается и ниже отметки 107.50 м: 1981 г. – 107.22 м, 1982 г. – 106.62 м, 1998 г. – 106,94 м, 2012 г. – 106.92 м. Основная цель – коммунальное и промышленное водоснабжение г. Новосибирск, основные причины – дефицит полезной емкости Новосибирского водохранилища в объеме до 1.5 км³ в годы с водностью осенне-зимней межени обеспеченностью 85-95 % и с неблагоприятными гидрометеорологическими условиями – вскрытие р. Обь в январе-феврале, поздние сроки начала весенних процессов.

Согласно расчетам Верхне-Обского БВУ (табл.1), водохранилище в годы с экстремально неблагоприятными гидрометеорологическими условиями, отвечающими интегральному стечению всех негативных природных факторов (маловодная осенне-зимняя межень 99.5 % обеспеченности, теплая с ледоставом не более 45 суток и затяжная до 20 апреля зима), может быть сработано практически полностью.

Таблица 1

Расчеты Верхне-Обского БВУ

Дата	01.10	01.11	01.12	01.01	01.02	01.03	01.04	22.04
Уровень вдхр, м	113.00	111.70	109.90	108.70	107.65	106.15	101.10	98.40
Приток, м ³ /с	415	200	215	185	175	195	340	
Сброс, м ³ /с *	880	810	550	450	520	800	880	
Объем, км ³	7.250	5.975	4.440	3.570	2.877	2.340	0.412	0.120

* – минимальный фактический попуск, обеспечивающий работу городских водозаборов в неблагоприятных гидрометеорологических условиях.

Данный вывод подтверждается и анализом, выполненным Институтом водных и экологических проблем СО РАН [4].

За 60 лет эксплуатации Новосибирского водохранилища требования к использованию водных ресурсов водохранилища, которое создавалось, в первую очередь, для целей энергетики, а также судоходства, водоснабжения и рыбного хозяйства, многократно изменялись. В 1990-е гг., после передачи функции управления водным хозяйством государственным органам приоритетность использования водных ресурсов Новосибирского водохранилища существенно изменилась: водообеспечение; энергетика; речной транспорт; сельское хозяйство; рыбное хозяйство.

С 2007 г. Водным кодексом Российской Федерации особое значение придано использованию водохранилищ в целях рыбного хозяйства. Однако в середине 2010-х гг., в связи с разработкой Правил использования водных ресурсов Новосибирского водохранилища одной из приоритетных задач становится противопаводковая функция, добавилась рекреация, вместе с тем, сельскохозяйственные требования практически утратили свое значение в связи с реконструкцией Чеминской оросительной системы.

В настоящее время значение водопользования Новосибирского водохранилища ранжируется в следующем порядке: водообеспечение; противопаводковая функция; рыбное хозяйство; речной транспорт; гидроэнергетика; рекреация; сельское хозяйство.

Водоснабжение

Для хозяйственно-питьевого водоснабжения гг. Новосибирск и Бердск из Новосибирского водохранилища и р. Обь в последние годы забирается 20-22 млн.м³ воды в год.

В связи с продолжающейся посадкой уровней воды в нижнем бьефе с интенсивностью 1.0-1.5 см в год, в осенне-зимний период в целях обеспечения гарантированных уровней в р. Обь для работы городских водозаборов приходится сбрасывать расходы воды, значительно больше проектных, которые составляли 450 м³/с, равнялись санитарному попуску и соответствовали +45 см по Новосибирскому водпосту (НВП). В настоящее время, после реконструкции водозаборных сооружений минимальный уровень снижен до – 35см НВП в условиях ледостава и –25 см НВП – без ледостава, что осенью соответствует 900÷920 м³/с, а в зимний период, в зависимости от ледовых условий, – 450÷850 м³/с. При этом из-за посадки уровней попуски для поддержания гарантированных уровней ежегодно увеличиваются, в среднем, на 10-15 м³/с.

В зимних условиях требования к уровенному и ледовому режимам в целях водоснабжения пересекаются с интересами энергетики в части суточного регулирования мощности ГЭС, которое негативно отражается на состоянии ледового покрова и приводит к его искусственному разрушению раньше естественных сроков, с последующим увеличением сбросов воды и, соответственно, выработки электроэнергии.

Противопаводковая функция водохранилища

В связи с развитием рекреационной функции Новосибирского водохранилища, проявлявшейся в снижении максимальных уровней воды в нижнем бьефе и их повторяемости и, как следствие, в освоении поймы р. Обь, постепенно возникла необходимость защиты рекреационной зоны нижнего бьефа.

Новосибирское водохранилище осуществляет неглубокое сезонное регулирование стока р. Обь, так как его полезная емкость составляет менее 10 % от максимального объема весеннего половодья 1969 г. Однако с учетом опытной эксплуатации дополнительной призмы (+ 0.20м к НПУ), которая была введена. Основными положениями правил использования водных ресурсов Новосибирского водохранилища 1969 г. в интересах энергетики, практически ежегодно удается срезать 2-3-дневные максимумы пиков половодья на 2000-3000 м³/с и уменьшать максимальные уровни в нижнем бьефе на 1.0-2.5 м (рис. 3). Последний раз жилой фонд г. Новосибирск затапливался в 1969 г. Опыт пропуска весенних половодий показывает, что при объемах притока до 30 км³ (обеспеченность 25 %), как правило, удается регулировать режим работы водохранилища без затопления рекреационной зоны в нижнем бьефе Новосибирского гидроузла.

Однако сохранить эту отметку в проекте правил использования водных ресурсов Новосибирского водохранилища (ПИВР) 2012 г. (до настоящего времени проходит стадию согласований) удалось только в результате придания этой отметке значения противопаводковой функции.

Рыбное хозяйство

Оценка водохранилища с точки зрения рыбохозяйственных интересов крайне противоречива. С одной стороны, среднемноголетние уловы из водохранилища составляют около 30 % от объемов улова по Новосибирской области, в целом, с колебаниями от 15 % до 40 %, а с другой стороны, нарушилась среда обитания проходных видов рыб; практически прекратилось, начиная с конца 70-х гг., обводнение поймы в нижнем бьефе, что привело к снижению продуктивности пойменных озер. За последние 35 лет пойма нижнего бьефа частично затапливалась только 4 раза: в 1993, 2001, 2010 и 2015 гг. В естественных условиях пойма в эти же годы затапливалась бы 2 раза в 3 года.

Достаточно жесткие требования к уровенному режиму водохранилища и р. Обь в нижнем бьефе, предъявляемые рыбным хозяйством (наполнение до отметки НПУ к 20-25 мая, запрет до 10 июня на снижение уровня водохранилища в период нереста и резкие колебания уровней воды в нижнем бьефе) не соответствуют интересам других водопользователей и практически исключают возможность эффективного использования возможностей водохранилища в противопаводковых целях.

Однако изменение приоритетов, в первую очередь, увеличение роли противопаводковой функции Новосибирского водохранилища, явилось серьезным основанием для смягчения требований рыбного хозяйства и включения в проект ПИВР пункта о превентивной сработке Новосибирского водохранилища

перед второй волной половодья, а также исключения требования о наполнении водохранилища до НПУ до конца мая.

Водный транспорт

В связи с посадкой уровня в ПИВР, гарантированные попуски базового расхода в нижний бьеф в летне-осеннюю межень увеличены с 1300 м³/с до 1500 м³/с с одновременным уменьшением навигационной призмы отметкой 113.00 м, при этом более ранние сроки вскрытия р. Обь в нижнем бьефе Новосибирской ГЭС в сравнении с естественным состоянием позволяют, в среднем, увеличить продолжительность навигации на 15-20, в отдельные годы до 40 суток. При этом необходимо учитывать возможность надежного долгосрочного планирования сроков и объемов навигации. Наиболее яркий пример – 2012 г. с обеспеченностью стока в период апрель-сентябрь около 99 %. Удалось разработать долгосрочный режим минимальных навигационных попусков (1200 м³/с) на весь период навигации и обеспечить перевозку пассажиров и грузов практически в плановом объеме.

Водохозяйственные расчеты показали, что для выполнения условий приоритета водоснабжения г. Новосибирск необходимо увеличить запасы водных ресурсов для гарантированной работы водозаборов в зимний период. Было принято единственное решение – уменьшить навигационную призму и ограничить сроки навигации в маловодные летне-осенние межени. В результате всестороннего анализа в 2014 г. принято решение о прекращении использования противопаводковой призмы в навигационных целях.

Однако жесткие требования речного транспорта на внутрисуточные колебания уровней накладывают ограничения на проведение суточного и недельного регулирования мощности ГЭС амплитудой колебания уровня воды в р. Обь не более 60 см.

Весна 2019 г. принесла очередной сюрприз одновременно с запланированной необходимостью строительства ледового дворца спорта (ЛДС) в пойме р. Обь с использованием речного транспорта. Фактический приток в Новосибирское водохранилище во II квартале ожидается 19.7 км³ (70 % от нормы), а по мартовскому прогнозу – 26.3 км³ (93 % от нормы). В результате компромиссного решения разработан оптимальный режим навигационных попусков, обеспечивающий наполнение водохранилища до НПУ и выполнение государственного заказа по строительству ЛДС.

Энергетика

Реконструкция агрегатов ГЭС, непрерывно проводимая энергетиками, уже позволила увеличить мощность ГЭС с проектных 400 МВт до 455 МВт с 1980 г. и до 485 МВт с 2019 г.

Опыт пропуска паводков показывает, что при объемах притока во II квартале до 25 км^3 в большинстве случаев удается избежать холостых сбросов. Однако неблагоприятное перераспределение объема паводка в соотношении более 40 % на вторую волну половодья обуславливает неизбежность холостых сбросов. При объеме притока свыше $25\text{-}26\text{ км}^3$ только исключительно благоприятное внутривартовальное распределение объема половодья дает возможность обойтись без холостых сбросов; при объемах притока более 26 км^3 средний объем холостых сбросов составляет $7,7\text{ км}^3$. В связи с жестким регламентом использования водных ресурсов водохранилища в течение всего года (водоснабжение и речной транспорт) недельное регулирование мощности ГЭС возможно проводить только в условиях высокой водности в меженный период, что наблюдается достаточно редко. Суточное регулирование осуществляется в летне-осенний период и при благоприятных гидрометеорологических условиях в зимнюю межень.

Рекреация

Несмотря на то, что Новосибирское водохранилище лишь в небольшой степени выполняет сезонное регулирование, и проектом не предусмотрен режим «срезки» пика весеннего половодья и дождевых паводков, полезной емкости водохранилища и противопаводковой призмы оказывается достаточно, чтобы существенно (до 2.5 м) снизить максимальные уровни в нижнем бьефе, при этом при пропуске объемов с обеспеченностью 25 % и более уровни по НВП не превышают отметки 400 см (рис. 3).

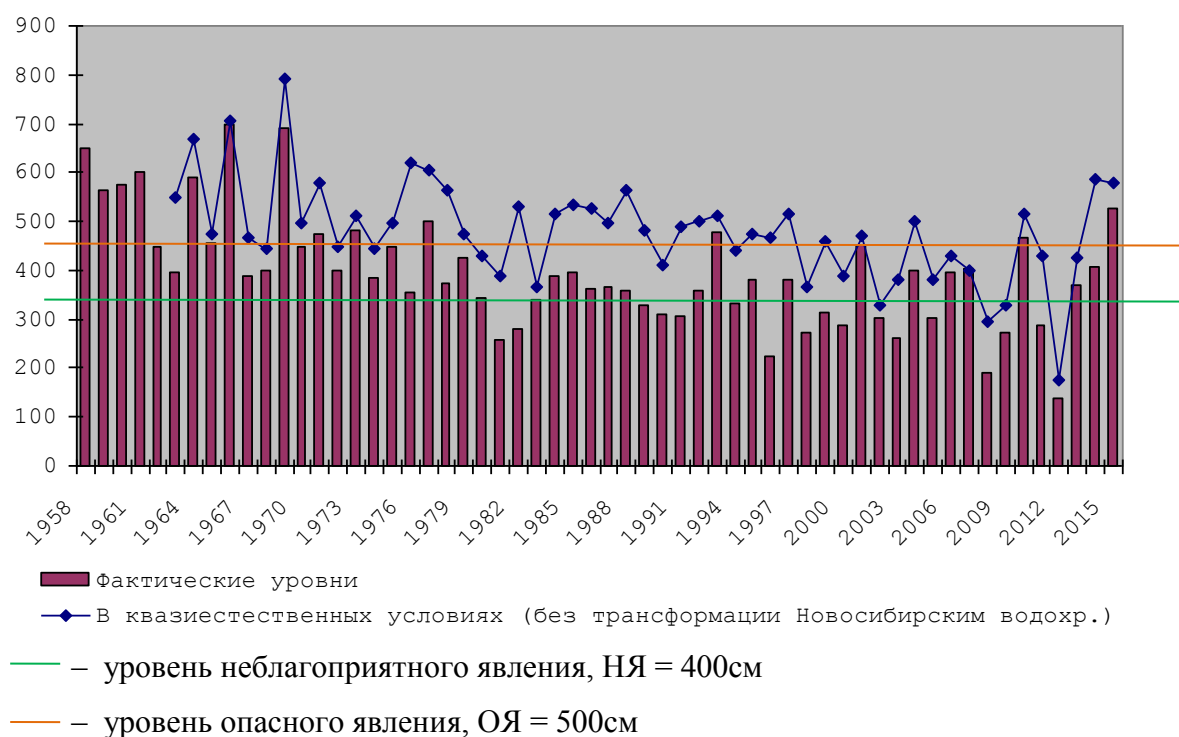


Рис. 3. Максимальные уровни р. Обь – в/п Новосибирск за 1958-2015 гг. (см)

В последние годы предпринимаются меры по защите рекреационной зоны: строительство водозащитных дамб, набережных, повышение отметок территории намывом грунта. Все эти меры обеспечат больше свободы при пропуске весенних половодий и дождевых паводков редкой повторяемости.

В заключение хотелось бы остановиться на актуальной для бассейновых водных управлений и широкого круга водопользователей проблеме ПИВР, в частности для Новосибирского водохранилища.

К сожалению, принятая и утвержденная единая для всех водохранилищ концепция Методических указаний по разработке правил использования водохранилищ, которым жестко, часто неоправданно и формально, следуют некоторые согласующие органы, выхолащивает живой механизм управления сложной водохозяйственной системой, которой являются водохозяйственные комплексы на основе крупных водохранилищ. Например, из проектов исключены всякие упоминания о Межведомственных рабочих группах по регулированию режимов работы водохранилищ (МРГ), на которых вырабатываются компромиссные схемы и решения как оперативные, так и на длительные периоды, связанные с пропуском половодий или работой в маловодные сезоны. Еще в работе [4] отмечено, что «при использовании практического опыта эксплуатации водохранилища, показавшего возможность уменьшения попусков в зимнее время (при ледовом покрове)», сработка водохранилища при неблагоприятных гидрометеорологических условиях оказывается меньше почти на 2 м, чем «с использованием диспетчерских графиков», и что «при первом варианте задания попусков (использование диспетчерских графиков) понижение уровня ниже допустимого могло бы иметь место в 22 случаях за указанный ретроспективный период (108 лет)», а при втором и третьем вариантах (с использованием опыта эксплуатации) – только в 12 и 7 случаях, соответственно.

Исходя из этого самого практического опыта эксплуатации, следует ожидать, что после утверждения ПИВР резко проявятся все негативные стороны противоречий основных водопользователей, которые удавалось устранять на заседаниях МРГ еще до принятия решений. Нет никаких сомнений, что резко увеличатся объемы холостых сбросов и, соответственно, уменьшится выработка электроэнергии, увеличится площадь и продолжительность затоплений рекреационной зоны, значительные трудности будут у водного транспорта с планированием сроков навигации и, соответственно, объемов перевозок, увеличатся частота и глубина сработки водохранилища ниже УМО.

Список литературы

1. Авакян К.Я., Салтанкин В.П., Шарапов В.А. и др. Водохранилища. М.: Мысль, 1987. 325 с.
2. Савкин В.М. Эколого-географические изменения в бассейнах рек Западной Сибири (при крупномасштабных водохозяйственных мероприятиях). - Новосибирск: Наука, Сиб. изд. фирма РАН, 2000. 152 с.
3. Хабидов А.Ш. Уточнение морфометрических характеристик Новосибирского водохранилища: государственный контракт № 20/08 от 08.06.2008 г.- Барнаул: ИВЭП СО РАН, 2010. 8 с.
4. Васильев О.Ф., Атавин А.А., Пичугина С.В. Гидрологические особенности эксплуатации Новосибирского гидроузла в зимний период». – Барнаул: ИВЭП СО РАН, 2006. 8 с.

© Борисенко В.И., Мальцев В.С., 2019

ИРКУТСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ КАК ИСТОЧНИК ВОДОСНАБЖЕНИЯ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Сутурин А.Н., Фирсова А.Д.

Лимнологический институт СО РАН, Россия, Иркутск

E-mail: san@lin.irk.ru

Аннотация. Иркутское водохранилище за полвека своего существования претерпела трансформацию гидрологического, гидробиологического и гидрохимического состояний. В водохранилище сформировались 3 гидрохимические подзоны: стрежневая, с сохранением температуры, гидрохимических показателей и качества байкальской воды; прибрежная, с изменением химсостава воды от верхнего к нижнему участку водохранилища; подзона заливов, с температурой и гидрохимической стратификацией, и микробиологическим загрязнением. Водозабор гг. Иркутск и Шелехов, расположенный в одном из заливов нижней части водохранилища, показывают постоянное снижение качества воды. В водопроводной воде гг. Иркутск, Шелехов и Ангарск постоянно отмечаются сине-зеленые водоросли, патогенная микрофлора и тригалометаны. Застойная вода заливов водохранилища не является источником чистой воды. Стрежневая часть водного потока водохранилища поставляет чистую байкальскую воду к глубинной зоне плотины. В нижнем бьефе вода полностью соответствует байкальским параметрам. Водозабор в нижнем бьефе сможет обеспечить чистой байкальской водой не только гг. Иркутск, но и Шелехов и Ангарск по специальным трубопроводам. Появляется стабильный источник водоснабжения без сложных систем водоочистки.

Ключевые слова: Иркутское водохранилище, байкальская вода, биологический, гидрохимический мониторинг, качественное водоснабжение, водоподготовка.

IRKUTSK RESERVOIR AS A WATER SUPPLY SOURCE: PROBLEMS AND WAYS OF THEIR SOLUTION

Suturin A.N., Firsova A.D.

Limnological Institute of RAS SB, Russia, Irkutsk

E-mail: san@lin.irk.ru

Abstract. During 50 years of its existence, the state of Irkutsk reservoir was transformed from hydrological, hydrobiological and hydrochemical viewpoints. Three hydrochemical subzones formed in the reservoir: the basic one with conservation of temperature, hydrochemical parameters and the Baikal water quality; near-shore one with changes in water chemical composition from upper to lower reservoir part; a vents subzone with thermal and hydrochemical stratification and microbiological pollution. Water intake for Irkutsk and Shelekhov Cities situated in one of the vents in the reservoir lower part shows constant decrease of water quality. In the tap water of Irkutsk, Shelekhov and Angarsk Cities, blue-green algae, pathogenic microflora and trihalomethanes occur permanently. The stagnant water in the reservoir vents is not a source of pure water. The basic part of reservoir water flow supplies pure Baikal water towards the deep zone of the dam. In the tail-water area, the water meets Baikalian parameters completely. Water diversion in the tail-water area can provide pure Baikal water not only Irkutsk City, but also Shelekhov and Angarsk Cities using special pipes. A stable water supply source without complete purification systems appears.

Keywords: Irkutsk reservoir; Baikal water; biological; hydrochemical monitoring; water supply of good quality; water treatment.

Иркутская ГЭС за полвека своего существования оказала значительное влияние на окружающую среду. Основная масса последствий связана с созданием водохранилища и их компенсация была предусмотрена в проекте строительства ГЭС. После заполнения водохранилища, в процессе эксплуатации ГЭС возникают различные угрозы окружающей среде вследствие смены гидрологического и гидрохимического режимов [1,2].

Самая большая группа негативных последствий создания водохранилища – затопление и подтопление земель, изменение береговой линии, преобразование теплового режима реки и микроклимата, смена растительности на подтапливаемых берегах – были в той или иной мере предусмотрены в проекте. В современный период эти факторы стабилизировались.

Берегопереработка в водохранилище наиболее интенсивно проходила в первые тридцать лет работы Иркутской ГЭС. В значительной мере был преобразован правый берег. Абразия берегов обусловила образование значительных масс рыхлых пород. Заиление привело к переформированию русла, особенно в нижнем приплотинном участке. Основной поток воды в приплотинной части пошел вдоль правого берега. Поток чистой воды минует левобережный городской водозабор.

Гидрохимический режим водохранилища, исходя из анализа предыдущих материалов и оригинальных исследований, стабилизировался.

В водохранилище сформировались три гидрохимические подзоны: стрежневая, с сохранением температуры, гидрохимических показателей и качества байкальской воды; прибрежная, с изменением гидрохимического режима от верхнего к нижнему участку водохранилища; подзона заливов, с температурной и гидрохимической стратификацией. Качество воды, соответствующее байкальской, сохраняется в глубинной части стрежневой зоны водохранилища, в том числе и в потоке глубинной воды, который поступает в турбины ГЭС и сбрасывается затем в отводящий канал нижнего бьефа. Вода из нижнего бьефа по микробиологическим показателям и гидрохимическим характеристикам соответствует категории «чистая» вода. Тенденция ухудшения качества воды из прибрежных участков и заливов сохраняется.

Биомониторинг состояния Иркутского водохранилища по бактерио-, фито- и зоопланктону, а также макрозообентосу показал, что состав гидробионтов стабилизировался и подразделился по количественным и качественным показателям на стрежневую зону и зону заливов [3, 4].

Бактериопланктон предыдущие исследования рассматривали только как начальное звено трофической цепи. Качественные характеристики воды Иркутского водохранилища, являющегося источником водоснабжения двух городов – Иркутск и Шелехов – можно оценить при анализе всех характеристик бактериопланктона: количества колиформных, гетеротрофов, общего числа микроорганизмов и т.д. Отбор проб для полного микробиологического анализа проводился в верхнем и нижнем бьефах плотины, подтвердил высокий уровень качества воды в нижнем бьефе и в стрежневой части приплотинной зоны.

Для определения тенденции изменения качества воды в водохранилище проводится изучение количественных и качественных характеристик бактериопланктона в стрежневой части, рипали и заливах, его распределение на поверхности воды и по глубине.

Фитопланктон в водохранилище в части доминирующего комплекса видов на протяжении последних десятилетий стабилизировался. Сине-зеленые водоросли, характеризующие загрязнение водоемов, в Иркутском водохранилище получили распространение только в приплотинной зоне и в заливах. По величинам биомассы фитопланктона водохранилище относится к олиготрофному типу. Воды стрежневой части Иркутского водохранилища по составу индикаторных организмов характеризуются как чистые. Общий индекс сапробности равняется 1,2, т.е. соответствует чистым. Некоторые повышения уровня трофии по фитопланктону отмечается в заливах водохранилища.

Отрицательного воздействия агрегатов ГЭС на фитопланктон не обнаружено. Численность биомассы фитопланктона в нижнем и верхнем бьефах

имеет сходные величины. Признаков физического разрушения клеток диатомовых водорослей после прохождения через турбины ГЭС не выявлено.

Зоопланктон Иркутского водохранилища в значительной (до 36 %) части представляют виды байкальского происхождения. Индексы сапробности по всей акватории водохранилища находятся в пределах значений 0,1-1,12, что в значительной мере соответствует олигосапробному водоему. Вода в водохранилище и в нижнем бьефе по гидробиологическим показателям (зоопланктон) в период исследований характеризуется как чистая. Зоопланктон в нижнем бьефе ГЭС представлен тем же комплексом видов, что и в глубинных горизонтах приплотинной части. Повреждения планктонных животных при прохождении через турбины ГЭС имеют механический характер. В подавляющем числе летних проб отмечается всего 1-2 % гибели животных. Следов воздействия кавитации на зоопланктон в нижнем бьефе не обнаружено.

Макрозообентос является одним из самых удобных индикаторов состояния водной экосистемы. Для нижней части плотины характерны невысокие значения индексов Гуднайта-Вителя и Тодераша – чистый класс качества воды. Лучшим показателем характеристик качества воды является видовое разнообразие доминирующих групп макрозообентоса. На него оказывают влияния такие негативные факторы, как застройка береговой зоны, увеличение числа маломерных судов, загрязнение заливов и прибрежных участков нефтепродуктами. Форсирование уровня водохранилища, особенно его понижение, приводят к тому, что прибрежные участки, где обитает макрозообентос, высыхают и промерзают, сопровождаясь гибелью многих обитателей и снижением кормовой базы водоема.

Ихтиофауна Иркутского водохранилища претерпела смену реофильных видов характерных для р. Ангара, на лимнофильные. В составе верхнего участка водохранилища преобладают хариус и елец; среднего – елец, плотва и хариус; нижнего – плотва и окунь. Гидроакустические наблюдения показали, что наибольшая-концентрация рыб, в том числе и в приплотинном участке, расположена в верхнем пятиметровом слое воды. В глубинных слоях отмечается крайне разреженное распределение рыб.

Катастрофическое влияние турбин ГЭС на фито-, зоопланктон, ихтиофауну проходящего потока воды не отмечено. Это связано, с одной стороны, с тем, что поток формируется из глубинных горизонтов воды, обедненных гидробионтами, а с другой – тем, что интенсивность влияния кавитации, турбулентности, механического повреждения захватывает малую часть потока воды. В связи с этим, зафиксированное количество гибели представителей фито- и зоопланктона составляет 1-2 %, изредка достигая 30 %.

Травмированных покатной молодежи рыб также не было обнаружено. Отлов двух особей голомянки только подтверждает транзитный поток представителей байкальской флоры и фауны по стрежневой зоне водохранилища.

Нижний бьеф плотины ГЭС представляет собой уникальное воспроизводство абиотических и биотических факторов, характерных для каменистой литорали оз. Байкал. Поступление воды, по всем параметрам соответствующей байкальской, генетический дрейф, обеспечивающий появление байкальского зоо- и фитобентоса, привел к формированию на искусственной каменной насыпи отводного канала биологических сообществ по биомассе и биоразнообразию, соответствующих каменистой литорали оз. Байкал. Существование этой искусственной литорали подтверждает высокое байкальское качество воды, поступающей из агрегатов ГЭС в нижний бьеф.

Режимные высокоточные исследования гидрофизических и гидрохимических параметров воды позволили выявить современную зональность водного тела водохранилища. Дано объяснение резкому снижению качества воды в Иркутском водозаборе. Установлено подледное цветение воды, характеризующее антропогенное влияние.

Парадокс водоснабжения гг. Иркутск, Ангарск и Шелехов заключается в том, что имея крупнейший в мире источник чистой питьевой воды – оз. Байкал – вода на водозаборах этих городов не соответствует даже 1 категории качества. При строительстве Иркутской ГЭС предполагалось, что качество воды на левом берегу р. Ангара сохранится. За 50 лет существования плотины Иркутской ГЭС санитарно-гигиенические характеристики воды в районе Ершовского водозабора серьезно ухудшились. В настоящее время существующий водозабор и минимальная схема водоподготовки недостаточны для снабжения высококачественной питьевой водой гг. Иркутск и Шелехов. Недостаток качества воды компенсируется избыточным хлорированием. Санитарно-гигиенический, альгологический и хроматографический анализы воды в домах г. Шелехов, Ангарск и Иркутск показали, что вода из крана не соответствует санитарно-гигиеническим нормам. Количество водорослей, включая и сине-зеленые, достигает 4000 клеток в литре, содержание остаточных хлорорганических соединений в воде по хлороформу достигает 46 мкг/л, четыреххлористому – углероду 0.8 мкг/л и трихлорэтилену – до 56 мкг/л.

Исследования качества воды Иркутского водохранилища, а также в верхнем и нижнем бьефе плотины показали, что состав воды в заливах водохранилища и особенно в Ершовском заливе, поблизости от водозабора не соответствует 1 категории качества. Гидрофизические и гидрохимические исследования водохранилища показали, что за период формирования в его

пределах сформировалась стрежневая зона, поставляющая неизменную глубинную байкальскую воду высшего качества от истока к верхнему бьефу ГЭС. В нижнем бьефе вода характеризуется высоким качеством, отсутствием патогенной микрофлоры и других антропогенных загрязнений. Вода дополнительно аэрируется в турбулентном потоке, происходит кавитационная и ультразвуковая деструкция микроорганизмов. Ершовский водозабор находится за пределами стрежневой зоны водохранилища и обречен на постоянное снижение качества воды из-за эвтрофикации, подтока органических загрязнителей и цветения водорослей. Увеличение интенсивности хлорирования воды от этих проблем не избавляет. Нарастает проблема загрязнения воды микроорганизмами вирусной и бактериальной этиологии, а также простейшими, гельминтами и альготоксинами.

Водопроводная сеть г. Иркутск требует ремонта, она не в состоянии обеспечить качественной водой город, в том числе новые микрорайоны и строящийся пригород. Города Иркутск, Шелехов не имеют резервных источников питьевого водозабора. Любые нештатные ситуации на Ершовском водозаборе нарушат экологическую безопасность почти половины населения области.

Бодензее (ФРГ) и оз. Анси (Франция) обеспечивают высококачественной питьевой водой миллионы жителей этих стран. Новая сеть водоснабжения с учетом опыта альпийских и скандинавских стран в качестве базовой системы предполагает прокладку по руслу р. Ангара магистральных пластиковых трубопроводов высокого давления с ответвлениями для снабжения водой микрорайонов городов Приангарья. Это предложение позволит сократить стоимость строительства новой водоводной сети, повысить эффективность эксплуатации и обеспечит сохранение качества воды для населения.

Список литературы

1. Воробьева С.С. Фитопланктон водоемов Ангары / РАН СО. Лимнол. ин-т. Новосибирск. 1995. С. 126.
2. Кожова О.М. Фитопланктон Иркутского водохранилища. М.: Наука, 1964. С. 41-114.
3. Фирсова А.Д., Сутурин А.Н., Поповская Г.И. [и др.]. Мониторинг влияния ГЭС на Иркутское водохранилище // Сб. тр. Всерос. науч. конф. 'Устойчивость водных объектов, водосборных и прибрежных территорий; риски их использования', г. Калининград, 25-30 июля 2011г. – Калининград: Капрос: Изд-во «Терра Балтика». 2011. С. 429-432.
4. Popovskaya G.I., Firsova A.D., Bessudova A.Yu., Sakirko M.V., Suturin A.N., Likhoshway Ye. V. Phytoplankton of the Irkutsk Reservoir As an Indicator of Water Quality // Oceanological and Hydrobiological Studies. 2012. Vol. 41, No. 2. 2012. pp. 29-38.

ИЗМЕНЕНИЯ РЕЖИМА УРОВНЯ ВОДЫ ОЗ. БАЙКАЛ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА СОСТОЯНИЕ ГИДРОБИОНТОВ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ

Потемкина Т.Г., Кравцова Л.С., Потемкин В.Л.

ФГБУ Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск

E-mail: tat_pot@lin.irk.ru

Аннотация. Исследованы колебания уровня озера Байкал в многолетнем плане. Выявлены ключевые периоды изменения гидрологического режима озера в связи со строительством каскада ГЭС на р. Ангара. Установлено, что наибольшая амплитуда колебаний уровня Байкала приходится на второй период (1963-2000 гг.), в это же время отмечены наименьшие показатели количественного развития макрозообентоса в прибрежной зоне вдоль открытых побережий озера.

Ключевые слова: гидрологический режим, макрозообентос, оз. Байкал.

CHANGES IN THE WATER LEVEL MODE OF THE BAIKAL LAKE AND ITS INFLUENCE ON THE HYDROBIONTS CONDITION OF THE LITTORAL ZONE

Potemkina T.G., Kravtsova, L.S., Potemkin V.L.

Limnological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk

E-mail: tat_pot@lin.irk.ru

Abstract. Long-term fluctuations of the Baikal lake level were investigated. The key periods of the hydrological regime change in the lake connected with constructing the cascade of hydroelectric power stations on the Angara River were revealed. It was shown that the highest amplitude of level fluctuations in the Baikal was observed in the second period (1963-2000). The low values of macrozoobenthic abundance in the littoral zone along the lake open coasts were noted at the same time period.

Keywords: hydrological regime, macrozoobenthos, Baikal Lake.

Среди внутриконтинентальных водоемов мира в отдельный класс выделяются озера тектонического происхождения, характеризующиеся глубоководностью, крутыми подводными склонами, наличием узких мелководий. К таким озерам относится и Байкал, являющийся самым глубоким озером Земли (1634 м) и крупнейшим мировым резервуаром пресной воды (23 тыс. км³). Современная береговая зона Байкала состоит из двух, тесно взаимосвязанных элементов – берега и прибрежной зоны (надводного и подводного береговых склонов). Байкальская береговая зона отличается сложным геологическим строением, резко расчлененным рельефом побережья и подводного склона. Подводная часть береговой зоны – прибрежная зона – является самой динамичной зоной озера. В ней происходят разнообразные и интенсивные процессы изменения вещества литосферы, рельефа дна, жизнедеятельности гидробионтов. Вот уже около 60 лет береговая зона Байкала находится в условиях искусственно повышенного и зарегулированного уровня воды в результате

строительства каскада ГЭС на р. Ангара, первая из которых – Иркутская – была построена в 1958 г. Поднятие уровня воды в Байкале происходило с 1959 по 1962 гг. после подпора плотиной Иркутской ГЭС, в связи с чем уровень озера зависит теперь не только от соотношения выпавших в его водосборном бассейне осадков и притока поверхностных и подземных вод, испарения и стока р. Ангара, но и от режима эксплуатации Иркутской ГЭС. Этот фактор оказывает определенное влияние на процессы рельефо- и осадкообразования, формирования экологических особенностей береговой зоны, изменчивость биоты. В многолетнем режиме уровня воды оз. Байкал можно выделить три периода (рис. 1).

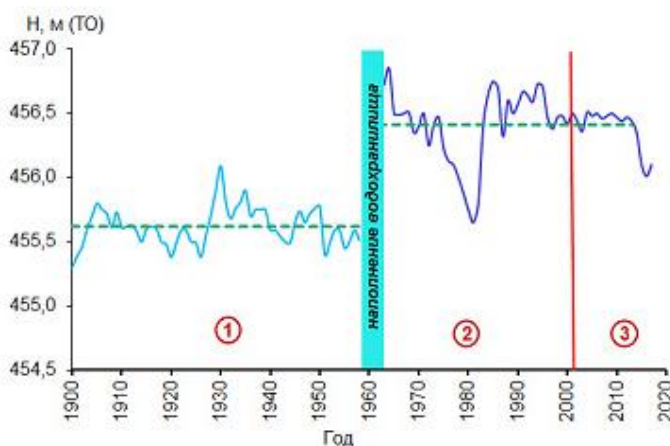


Рис. 1. Многолетние изменения среднегодовых уровней воды оз. Байкал (ТО). Среднегодовые уровни воды в период естественного режима озера (1), зарегулированного (2) и зарегулированного с ограничением колебаний уровня в диапазоне 1 м (3)

Первый (1901-1958 гг.) характеризуется естественным режимом уровня, второй (1963-2000 гг.) – искусственно повышенным, в среднем, на 0,8 м в результате сооружения Иркутской ГЭС, третий (с 2001 г.) – ограничением колебаний уровня воды в 1 м диапазоне (456-457 м ТО), установленном постановлением Правительства Российской Федерации от 26 марта 2001 г. № 234. В 2016 г. в условиях экстремально низкой водности, постановлением Правительства РФ от 01.07.2016 № 626 внесены корректировки минимального и максимального значений уровня воды в озере для 2016-2017 гг., соответствующие отметкам 455,54 и 457,85 м (ТО).

Годовой ход уровня оз. Байкал в условиях подпора (с 1963 г.), в целом, сохранился близким к естественному режиму. Зарегулированность проявилась в увеличении амплитуды колебаний уровня (с 80 до 113 см) и сдвиге в сторону запаздывания сроков наступления наибольшего наполнения и сработки водоёма [1]. Внутригодовой ход уровня оз. Байкал характеризуется плавным повышением до отметок, близких к нормальному подпорному уровню

(в мае-сентябре), стабилизацией максимальных уровней в октябре и непрерывным понижением – с ноября по апрель.

Во втором периоде (1963-2000 гг.) экстремальное маловодье на Байкале наблюдалось в 1975-1982 гг., а в третьем – в 2014-2017 гг. (рис. 1). В периоды маловодья урез воды отступает и осушается часть прибрежной зоны, а в периоды многоводья, наоборот. При этом разнообразные процессы в прибрежной зоне изменяются и границы их проявления смещаются.

Среднемноголетние колебания уровня воды в летние месяцы (июль-август), в целом, отражают ход его среднегодовых значений (рис. 2). Наши исследования показали, что в третьем периоде, в условиях экстремального маловодья на Байкале (2014-2017 гг.), уровень озера в летние месяцы был ниже его среднего многолетнего значения (456,43 м ТО). Колебание ширины осушенной части прибрежной зоны можно проследить на примере западного и восточного бортов южной котловины Байкала. Так, у западного борта в июле ширина осушенной прибрежной зоны варьировала от 2,2 до 2,8 м. У восточного борта южной котловины, с более пологим дном, ширина осушенной прибрежной зоны изменялась от 5,7 до 7,2 м. Третий период 2003 г. также был маловодным. Ширина осушенной прибрежной зоны в этот год у западного борта изменялась от 2,3 м (июль) до 1,0 м (август), а у восточного – от 6,0 м до 2,5 м, соответственно.

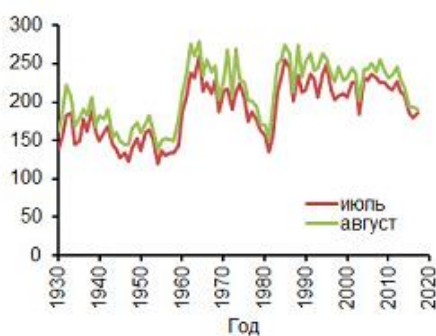


Рис. 2. Многолетние изменения средних уровней воды оз. Байкал в июле-августе

В остальные годы третьего периода уровень озера в июле-августе был выше среднего многолетнего значения, вследствие чего происходило подтопление надводной части береговой зоны. Ширина подтопления к августу увеличивалась и её максимальное значение – 11,5 м – отмечалось у восточного борта в 2008 г.

Очевидно, что прибрежная зона Байкала в диапазоне глубин 0-5 м наиболее подвержена колебанию уровня воды. Игнорирование этого параметра может привести к искажению представлений о временной и пространственной изменчивости сообществ гидробионтов и к неверной оценке антропо-

погенного воздействия. Условия обитания гидробионтов в этой зоне нестабильны, однако их динамичность обусловлена не только влиянием сезонных и межгодовых колебаний уровня воды, но и комплексом сопряженных с ним других факторов: изменением глубины, давления, интенсивности гидро- и литодинамики и др. В частности, подъем уровня оз. Байкал после пуска в эксплуатацию Иркутской ГЭС привел к переформированию внешней косы Посольского сора, изменению водообмена и ветрового перемешивания с водами озера, минерализации вод [2]. В Посольском соре произошли структурные перестройки как планктонных, так и бентосных сообществ (увеличилось число байкальских элементов), отмечена тенденция снижения его продуктивности [3]. Снижение биомассы макрозообентоса (рис. 3) наблюдается также вдоль открытых побережий южной котловины Байкала, в зоне глубин 0-5 м, во втором ключевом периоде гидрологического режима Байкала, характеризующегося наибольшим разбросом амплитуды колебаний уровня (см. рис. 1). В третьем периоде, с относительно небольшим разбросом колебаний уровня озера, биомасса макрозообентоса стала вполне сопоставимой с таковой при естественном режиме уровня в первом периоде.

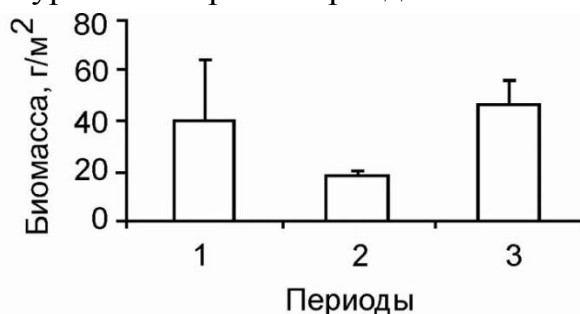


Рис. 3. Средние многолетние показатели биомассы макрозообентоса, рассчитанные для ключевых периодов гидрологического режима озера Байкал по оригинальным и литературным данным [4-7]

Поэтому в дальнейшем изучение влияния абиотических факторов на пространственно-временную динамику гидробионтов требует проведения углубленных мониторинговых наблюдений, особенно в условиях нестабильности климата и растущего антропогенного воздействия на береговую зону оз. Байкал.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований грант № 19-05-00398 А.

Список литературы

1. Государственный доклад «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2017 году». Иркутск: АНО «КЦ Эксперт», 2018. 340 с.

2. Рогозин А.А. Динамика берегов Селенгинского побережья. В кн.: Продуктивность Байкала и антропогенные изменения его природы (отв. ред. О.М. Кожова). Иркутск, 1974. С. 43–53.
3. Бекман М.Ю. Изменение донного населения мелководных заливов после подъема уровня озера. В кн.: Лимнология прибрежно-соровой зоны Байкала (отв. ред. Н.А. Флоренсов). Новосибирск, 1977. С. 222–234.
4. Кожов М.М. Биология озера Байкал. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – 315 с.
5. Каплина Г.С. Макрозообентос каменистых грунтовлиторалей оз. Байкал и его сезонная динамика (данные 1963-1968 гг., район Больших Котов). В кн.: Продуктивность Байкала и антропогенные изменения его природы (отв. ред. О.М. Кожова). Иркутск, 1974. С. 126–137.
6. Кожова О.М., Кравцова Л.С. Мониторинг бентоса в районе Байкальского целлюлозно-бумажного комбината. В кн.: Природные ресурсы, экология и социальная среда Прибайкалья. Т. II. Иркутск, 1995. С. 63–69.
7. Кравцова Л.С., Тимошкин О.А., Рожкова Н.А., [и др.] Сезонные флуктуации макрозообентоса как основа прогнозирования экологических процессов в прибрежной зоне озера Байкал. В кн.: Аннотированный список фауны озера Байкал и его водосборного бассейна (отв. ред. О.А. Тимошкин). Новосибирск: Наука, 2009. С. 827–842.

© Потемкина Т.Г., Кравцова Л.С., Потемкин В.Л., 2019

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ МАЛЫХ РЕК БАСЕЙНА РЕКИ ДОН*

Беляев А.И., Пугачёва А.М., Власенко М.В.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук», г. Волгоград
E-mail: info@vfanc.ru

* Выполнена в рамках проекта № 78-НИР/ФЦП-2018 «Долгосрочный прогноз изменения водных ресурсов для целей обеспечения устойчивого функционирования водохозяйственного комплекса бассейна реки Дон»

Аннотация. Современные экологические проблемы малых рек бассейна р. Дон связаны с высокой антропогенной нагрузкой, указывающей на интенсивную хозяйственную деятельность и использование водных ресурсов для обводнения, водоснабжения и водоотведения. Это такие виды деятельности, как рыбное хозяйство, орошение, регулирование русла, сельскохозяйственное и промышленное водоснабжение, рекреационная и другие виды хозяйственной деятельности. К деградации малых рек ведет высокий уровень зарегулирования стока, способствующий отложению наносов, накоплению в воде загрязняющих веществ. Регулирование стока в бассейнах малых рек осуществляется прудами и водохранилищами, большинство из которых не используются, некоторые используются как мера борьбы с ростом оврагов и предохраняют русловое заиливание. Ликвидация и переоборудование прудов не инженерного типа в бассейнах

малых рек будет способствовать предупреждению засорения, заиления и истощения водных ресурсов.

Ключевые слова: малые реки, бассейн реки Дон, речная сеть, антропогенная нагрузка, овражность.

CURRENT STATE AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS SMALL RIVERS DON BASIN

Belyaev A.I., Pugacheva A.M., Vlasenko M.V.

Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Center for Agroecology, Complex Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences»,
Volgograd
E-mail: info@vfanc.ru

Abstract. Modern environmental problems of small rivers of the river basin. Don are associated with a high anthropogenic load, indicating intense economic activity and the use of water resources for watering, water supply and sanitation. These are activities such as fisheries, irrigation, riverbed regulation, agricultural and industrial water supply, recreational and other types of economic activity. High river regulation leads to the degradation of small rivers, which contributes to sediment deposition and the accumulation of pollutants in the water. Flow regulation in small river basins is carried out by ponds and reservoirs, most of which are not used, some are used as a measure to combat the growth of ravines and protect channel siltation. The elimination and conversion of non-engineering ponds in small river basins will help prevent clogging, silting and depletion of water resources.

Keywords: small rivers, the basin of the don river, river network, anthropogenic load, ravine.

На территории Донского бассейна насчитывается 4 крупные (Дон, Хопер, Северский Донец, Медведица), 30 средних и 1703 малых рек. Общее количество водотоков – 1737. Территория бассейна отличается сложным рельефом, развитой овражно-балочной сетью и усиленно проявляющимися процессами водной эрозии. Формирование речного стока и качество воды крупных водных артерий во многом определяют малые реки, образующие вместе с балками сеть с массой долин, обрамленных склонами, холмами и скалами.

Для малых рек бассейна р. Дон характерно неравномерное по сезонам распределение стока и прохождение в весеннее половодье до 80 % годового объема стока. Длительность половодья зависит от зимних запасов снега и весенних дневных температур и составляет до 8 дней в юго-западной, южной и восточной частях (в феврале-марте), до 12 дней в центральной части (в марте-апреле) и до 20 дней в северной части (в марте-апреле) бассейна. Пик половодья удерживается по времени в пределах суток. Малые реки Нижнего Дона характеризуются тем, что на них в летний период не обеспечивается санитар-

ная проточность, некоторые из них (Средний Егорлык, Кагальник Донской и др.) пересыхают, зарастают водной растительностью [1-3].

Показатели овражности водосборов и балочных систем малых рек в западной, северной части и в центре бассейна р. Дон составляют по Верхнедонскому бассейну – 0,14, Среднедонскому бассейну -1,17, Манычскому бассейну – 0,003, Калитвенскому бассейну – 0,38. Наиболее густо расчленен овражной сетью Среднедонской бассейн (5,83 км/км²), где плотность оврагов составляет 28 шт./км²; наименее густо расчленен – Манычский бассейн (0,11 км/км²), здесь плотность оврагов составляет 0,98 шт./км². Изрезанность склонов лощинами здесь составляет от 0,31 до 1,77 шт./км. Наиболее изрезаны лощинами склоны малых рек Калитвенского бассейна, наименее – Манычского бассейна (табл. 1).

Таблица 1

Овражность балочных систем и водосборов, густота лощин малых рек бассейна р. Дон

Показатели	Верхнедонской бассейн	Среднедонской бассейн	Калитвенский бассейн	Манычский бассейн
овражность	0,14	1,17	0,38	0,003
густота расчленения овражной сетью, км/км ²	0,89	5,83	2,44	0,11
овражность, га/км ²	1,54	10,92	3,30	0,17
плотность оврагов, шт./км ²	8,53	28,0	13,33	0,98
протяженность линии стока, м	482,1	643,1	949,9	2200,0
стокоударность границ, м/км	7,27	6,84	6,87	1,40
пересеченность склонов рек лощинами, шт./км	1,31	1,37	1,77	0,31

Современные экологические проблемы малых рек бассейна р. Дон связаны с тем, что здесь наблюдается высокая антропогенная нагрузка, указывающая на напряженную хозяйственную деятельность и использование водных ресурсов для обводнения, водоснабжения и водоотведения. Масштаб и характер антропогенных факторов обуславливают негативные последствия работ. Это такие виды деятельности, как рыбное хозяйство, орошение, регулирование русла, сельскохозяйственное и промышленное водоснабжение, рекреационная и другие виды хозяйственной деятельности. Одним их главных факторов годового перераспределения стока является регулирование русла, когда запасы воды могут меняться до десятков % стока за год. Так, суммарный слой

испарений на малых реках в южной части бассейна может составлять около 1,0 м при их средней глубине 1,8 м, что может привести к эвтрофированию водоёмов. Значительно на уменьшение стока в бассейнах малых рек р. Дон влияют такие агромероприятий, как распашка земель, которая воздействует на процессы трансформации осадков в поверхностный сток. При этом с водосборной площади возрастают потери на испарение, изменяется внутригодовое распределение стока. Высокий процент (до 90 %) распаханности на малых реках ведет к исчезновению половодья и паводков, что отрицательно отражается на режиме русла. Существенно истощает водные ресурсы малых рек орошение. С орошаемых полей в бассейнах рек дополнительное испарение составляет десятки процентов от естественного значения. Напряженная антропогенная нагрузка на малые реки бассейна р. Дон сказалась на качестве и чистоте водных ресурсов, привело к заилению большого числа естественных русел, к утрате водотоками дренирующей способности, заболачиванию пойм, подъёму уровня грунтовых вод и другим негативным процессам.

Загрязняют малые реки бассейна р. Дон животноводческие комплексы, промышленные предприятия, оросительные системы (левобережные притоки Нижнего Дона, Средний Егорлык, Большой Егорлык, их притоки). На качество вод оказывает влияние также нерегулируемый смыв загрязняющих веществ с сельскохозяйственных и урбанизированных территорий в зоне крупных промышленных узлов (притоки Северского Донца, Тузлова, Воронежа).

В связи с влиянием хозяйственной деятельности, а также различием геологических и почвенно-климатических особенностей, водные ресурсы малых рек бассейна отличаются большим разнообразием по химическому составу. Общая минерализация водных ресурсов повышается вместе со снижением водности рек и увеличением засушливости климата с севера на юг. Малые реки северной части бассейна имеют наименьшую минерализацию (100-300 мг/дм³ в половодье, 400-700 в межень летом). Минерализация малых рек Среднего Дона составляет 200-300 мг/дм³ в половодье и 700-1000 мг/дм³ в летнюю межень. Вода малых рек Донецкого кряжа относится к сульфатно-натриевой группе и имеет минерализацию 300-700 мг/дм³ в половодье и 1500-3000 мг/дм³ в межень. Существенно повышают минерализацию сбросы шахтных вод (Тузлов, Кундрючья и др.).

Наиболее загрязненными водами (умеренно-загрязненная, загрязненная, грязная и чрезвычайно грязная) отличаются водотоки малых рек Нижнего Дона, где шахтные воды, отходы сельского хозяйства и промышленных предприятий сделали опасными для использования воды рек Тузлов, Грушевка

Аюта, Кадамовка, Малый Несветай. Напряженная экологическая обстановка создалась на р. Темерник, где вода «чрезвычайно-грязная».

К деградации малых рек ведет высокий уровень зарегулирования стока, способствующий отложению наносов, накоплению в воде загрязняющих веществ. Регулирование стока в бассейнах малых рек осуществляется прудами и водохранилищами: в р. Тузлов 368 (их объем 40,67 млн.м³), в р. Кагальник Азовский – > 200, в р. Кундрючьей 115. Большинство прудов не используются, некоторые используются как мера борьбы с ростом оврагов и предохраняют русловое заиление. Основная масса прудов построены с помощью примитивных водосбросных сооружений без соблюдения действующих норм производства строительных и специальных работ. Их полная емкость составляет 100-200 тыс. м³. В бассейне р. Тузлов таких прудов 291, р. Сал – 447, р. Кагальник Азовский – 160, р. Деркул – 69, р. Калитва – 244, р. Средний Егорлык – 110. Плотины таких прудов при эксплуатации размываются паводками, приводя реки к заилению. Эти пруды являются испарителями и тем самым снижают водность рек. Пруды емкостью около 1 млн. м³ обычно спроектированы и построены специализированными организациями и используются для рыборазведения, орошения и других целей. Ликвидация и переоборудование прудов не инженерного типа в бассейнах малых рек будет способствовать предупреждению засорения, заиления и истощения водных ресурсов.

Заключение. С целью улучшения экологического состояния малых рек бассейна р. Дон необходимо проводить мероприятия, направленные на восстановление и поддержание качества водных ресурсов, в том числе проводить очистку акваторий водоемов, берегоукрепительные работы и другие организационно-хозяйственные мероприятия. Основными видами работ рекультивационных мероприятий является расчистка малых рек от заиления и зарастания в сочетании с водоохранными мероприятиями в поймах и на водосборах. На настоящий момент в бассейне р. Дон в расчистке нуждаются участки малых рек протяженностью около 7,3 тыс. км.

Список литературы

1. Киреева М.Б., Фролова Н.Л. Современные особенности весеннего половодья рек бассейна Дона // Водное хозяйство России, 2013. № 1. С. 60-76.
2. Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Киреева М.Б. Современные изменения водного режима рек в бассейне Дона // Водные ресурсы, 2013. Т. 40. № 6. С. 544-556.
3. Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Милюкова И.П., Кашутина Е.А., Барабанова Е.А. Современные и сценарные изменения речного стока в бассейнах крупнейших рек России. Часть 2. Бассейны рек Волги и Дона. М.: МАКС Пресс, 2014. 214 с.

СЕКЦИЯ II.

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ПРОВЕДЕНИЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ДНА, БЕРЕГОВ И ВОДООХРАННЫХ ЗОН ВОДОХРАНИЛИЩ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ (ДЗЗ) И БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ (БЛА)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЛЬЕФА ДНА ДОЛИННЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ

Калинин В.Г., Ковязина И.А.

Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь

E-mail: vgkalinin@gmail.com

Аннотация. Проведен сравнительный анализ пространственно-временных изменений рельефа дна на двух участках Камского водохранилища по данным разновременных материалов съемок. За период 1956-2009 гг. на озеровидном участке в районе с. Висим выявлено увеличение количества донных отложений в направлении от берегов к старому руслу р. Кама, прирост отметок дна составил 4,0-6,0 м. Объем участка сократился на 20,29 %. На вытянутом и глубоководном участке в районе г. Добрянка интенсивные процессы седиментации (до 6,0 м) отмечены на пойме в северной части. Объем участка сократился на 15,64 %.

Ключевые слова: водохранилище, седиментация, повторные промеры глубин, цифровая модель рельефа (ЦМР), формирование рельефа дна.

RESULTS OF RESEARCHES OF BOTTOM RELIEF FORMATION PROCESSES IN VALLEY RESERVOIRS

Kalinin V.G., Koviagina I.A.

Perm State University, Perm

Abstract. A comparative analysis of spatial and temporal changes in the bottom relief at two parts of the Kama reservoir according to the data of different-time measurement materials was carried out. For the period of 1956-2009 an increase in the amount of bottom sediments in the direction from coasts to the old bed of the Kama River at the lake-like part near the Visim village was detected, the increase in bottom marks was 4,0–6,0 m. The volume of the part decreased by 20,29 %. Intensive sedimentation processes (up to 6.0 m) are marked on the flood plain in the northern part in the extended and deep-water part near the city of Dobryanka. The volume of the part decreased by 15,64 %.

Keywords: reservoir, sedimentation, repeated depths measurements, Digital Relief Model (DRM), bottom relief formation.

Формирование ложа и берегов водохранилища представляет собой сложный процесс, который происходит под воздействием многочисленных геологических, гидрогеологических и гидрологических факторов.

Образование, распределение и накопление донных отложений водохранилищ определяются двумя группами факторов. К первой группе относится совокупность источников грунтообразующего материала: сток взвешенных наносов, продукты размыва берегов и дна, продукция фитопланктона и высшей водной растительности. Вторая группа определяет интенсивность поступления наносов: уровенный, скоростной, ветро-волновой режимы и режим регулирования водохранилища [1].

Интенсивность накопления донных отложений в искусственных водоемах изменяется как в пространстве, так и во времени. В период становления ложа водохранилища наблюдаются ускоренные процессы седиментации, и наносы аккумулируются, преимущественно, в прибрежной части в связи с берегообрушением, в то время как после стабилизации подводного рельефа наибольшие изменения отмечаются в глубоководной зоне, где основным поставщиком материала становится сток с водосбора [2].

В разных частях водохранилищ формирование ложа и берегов идет с разной интенсивностью. Так, в озеровидных расширениях наблюдается активизация процессов абразии. Продукты берегообрушения перераспределяются по дну сложной системой течений, заполняя понижения рельефа, и способствуют образованию аккумулятивных отмелей.

Анализ публикаций российских и зарубежных исследователей, посвященных изучению процессов формирования рельефа дна и донных отложений в водохранилищах, позволил выделить следующие методы их изучения: оценка объемов обрушенного материала на береговых стационарах [3, 4]; расчет поступления донных отложений с твердым стоком по рекам [5-7]; отбор проб грунта дна [5, 8]; разработка статистических моделей на основе регрессионного анализа [9, 10]; повторные промеры глубин [8, 11] и др.

Метод проведения повторных съемок через определенный промежуток времени позволяет оценить пространственно-временные изменения донного рельефа водохранилища на разных его участках. Этот метод впервые был применен И.А. Печеркиным [8] на Камском водохранилище.

В.Г. Калинин, Д.Н. Гайнуллиной [11] предложен метод сравнительной оценки материалов повторных съемок разных лет с использованием ГИС-технологий. Для проведения корректного анализа разновременных материалов необходимым условием является обеспечение соответствия количества и местоположения промерных точек, поскольку качество определения морфометрических характеристик участков водохранилища зависит от степени генерализации исходных данных промеров глубин.

Целью настоящей работы является сравнительный анализ пространственно-временных изменений рельефа дна на участках, расположенных в разных частях Камского водохранилища.

Исходными данными явились топографические карты до создания водохранилища (1931 г.), которые использовались для характеристики рельефа дна на момент его заполнения (1956 г.), и материалы промеров глубин (1995, 2009 гг.) для участков в районах с. Висим и г. Добрянка (рис. 1).

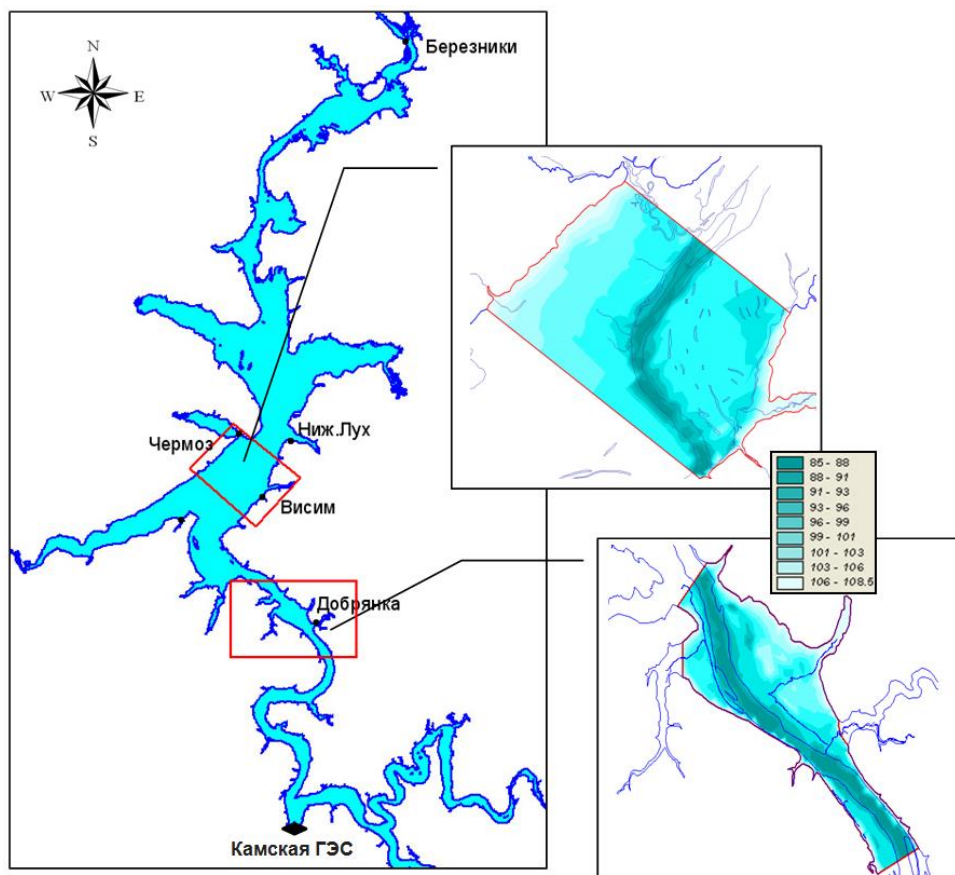


Рис. 1. Местоположение исследуемых участков Камского водохранилища. На врезках показаны: цифровые модели рельефа дна и положение старого русла р. Кама

Участок Камского водохранилища в районе с. Висим представляет собой озеровидное расширение, что способствует интенсивному развитию процессов седиментации (рис. 2 а,б). Средняя ширина участка составляет 11,5 км, а средняя глубина – 9,4 м. Правый берег на всем протяжении расчленен слабо, он ровный, невысокий и пологий, с плавно увеличивающимися глубинами. Левый берег характеризуется большей изрезанностью и более обрывистым подводным склоном. На севере участка старое русло р. Кама проходит почти по его середине, после чего, ниже по течению, поворачивает и проходит вдоль левого берега [12].

Участок Камского водохранилища в районе г. Добрянка является вытянутым и глубокоководным (рис. 2,в,г). Средняя ширина участка составляет 3,5 км (изменяясь от 2,0 до 4,0 км), а средняя глубина – 10,0 м. Береговая линия на всем протяжении этого участка усложняется небольшими глубоко врезанными заливами [12].

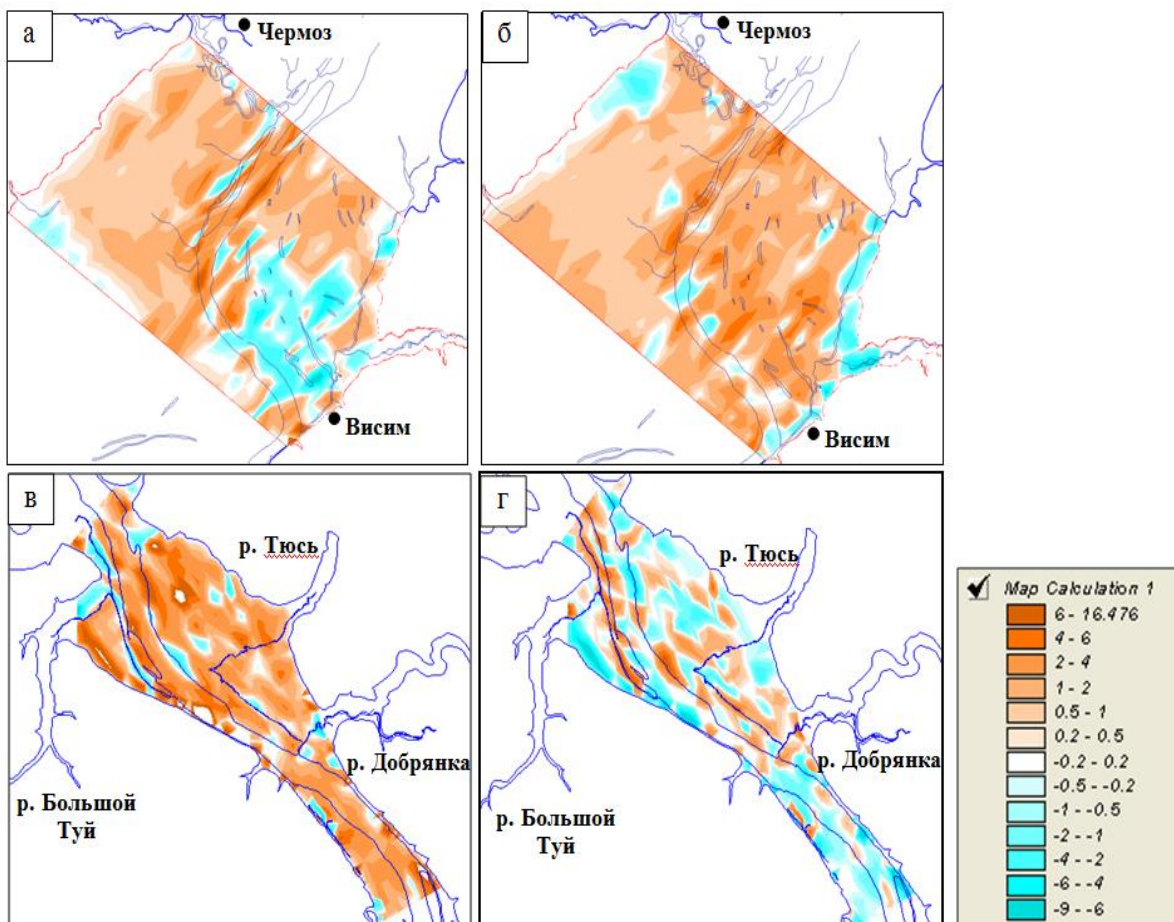


Рис. 2. Пространственно-временные деформации рельефа дна исследуемых участков: в районе с. Висим (а – 1956–1995 гг., б – 1995–2009 гг.); в районе г. Добрянка (в – 1956–1995 гг., г – 1995–2009 гг.).

Для исследования пространственно-временной динамики процессов формирования чаши водохранилища за разные годы средствами ГИС-технологий были построены цифровые модели рельефа (ЦМР) дна. Для обеспечения сопоставимости разновременных материалов съемок использован метод, описанный в [11].

Анализ произошедших изменений донного рельефа на центральном участке Камского водохранилища за период 1956–1995 гг., показал, что вдоль старого русла и прирусловых валов р. Кама (рис. 2,а) происходили интенсивные процессы аккумуляции донных отложений (6,0-8,0 м). Это связано с переносом материалов берегообрушения под воздействием волнения, течений и

колебания уровня воды, а также с наличием положительных форм рельефа (бывших островов) в старом русле р. Кама, которые способствуют замедлению проточных течений. На пойме наблюдалось увеличение количества донных отложений (на 1,0-4,0 м) в направлении старого русла р. Кама (рис. 2,а). Со стороны левого берега в результате «нивелирования» существовавших ранее положительных форм рельефа за исследуемый промежуток времени также имело место локальное уменьшение (0,5-1,0 м) абсолютных отметок дна (рис. 2,а).

За период 1995–2009 гг. тенденция к увеличению абсолютных отметок дна по направлению к старому руслу р. Кама сохранилась (рис. 2,б). На севере центрального участка величина прироста донных отложений достигла максимальных значений (до 6,0 м). В зоне левобережной поймы, в отличие от предыдущего временного промежутка, отметки дна увеличились на 2,0-4,0 м. У берегов и в зоне надпойменной террасы отмечено уменьшение абсолютных отметок дна до 1,0 м, что, по-видимому, связано с обрушением береговых уступов.

Второй исследуемый участок отличается меньшей шириной, что способствует увеличению проточности. Тем не менее, за период 1956-1995 гг. повсеместно наблюдался значительный прирост абсолютных отметок дна (рис. 2,в). Наибольшие величины аккумуляции донных отложений (4,0-6,0 м) за исследуемый период отмечались на пойме со стороны правого и левого берегов, где интенсивно протекали процессы берегообрушения. Материал, поступивший в результате абразии, частично транспортировался в сторону старого русла р. Кама. Бывшие русла притоков (Большой Туй, Тюсь и Добрянка) наименее подвержены аккумуляции наносов, вследствие промывания (восстановления) стоковых ложбин в период снеготаяния перед наполнением водохранилища [13]. В более узкой южной части прирост донных отложений был заметно меньше – до 2,0 м (рис. 2,в).

Период 1995-2009 гг. характеризовался незначительными процессами седиментации (рис. 2,г). Наибольшие величины (до 4,0 м) аккумуляции донных отложений отмечены в старом русле р. Кама и на прирусловых валах. На левобережной пойме наблюдалось неравномерное распределение наносов, что, по-видимому, связано с частичным нивелированием положительных форм рельефа. На юге исследуемого участка преобладал процесс размыва, максимальные значения которого достигали 2,0 м в зоне старого русла р. Кама (рис. 2,г).

Об интенсивности процессов седиментации свидетельствуют значения объемов, вычисленные по ЦМР дна (табл.). Из таблицы видно, что за период

1956–2009 гг. объемы водохранилища в пределах исследуемых участков существенно сократились.

Таблица

**Изменение объемов участков Камского водохранилища
за рассматриваемые промежутки времени**

Годы	Средняя глубина, м	Объем, км ³	Изменение объемов, %	
			По сравнению с 1956 г.	По сравнению с предыдущим годом
Участок в районе с. Висим				
1956	9,2	0,737	–	–
1995	8,5	0,682	-7,44	-7,44
2009	7,3	0,587	-20,29	-13,88
Участок в районе г. Добрянка				
1956	12,8	0,460	–	–
1995	10,7	0,386	-16,15	-16,15
2009	10,8	0,388	-15,64	0,62

Таким образом, использование метода, основанного на построении двух ЦМР дна с одинаковой пространственной привязкой и точным совпадением ячеек раstra, позволило выявить следующие пространственно-временные изменения подводного рельефа:

1. За период 1956-2009 гг. на участке в районе с. Висим Камского водохранилища выявлено увеличение количества донных отложений в направлении от берегов к старому руслу р. Кама, где прирост отметок дна составил 4,0-6,0 м. Это связано с переносом материала, поступившего с берегов и по основным притокам, в направлении старого русла. Аккумуляция донных отложений на пойме, в среднем, составила 2,0 м. Объем исследуемого участка сократился на 20,29 % (0,15 км³).

2. За аналогичный период на участке в районе г. Добрянка наблюдались интенсивные процессы седиментации, преимущественно в северной части, где величина аккумуляции донных отложений достигала 6,0 м на пойме. В южной – отмечалось уменьшение интенсивности процессов осадконакопления в связи с увеличением проточности. Объем исследуемого участка сократился на 15,64 % (0,07 км³).

Список литературы

1. Буторин Н.В., Зиминова Н.А., Курдин В.П. Донные отложения верхневолжских водохранилищ. Л.: Наука, 1975.160 с.
2. Матарзин Ю.М., Мацкевич И.К., Сорокина Н.Б. О формировании рельефа дна камских водохранилищ // Гидрология и метеорология. 1968. № 3. Пермь. С. 92-112.

3. Зиминова Н.А., Курдин В.П. Формирование рельефа и грунтов мелководий Рыбинского водохранилища // Биологические и гидрологические факторы местных перемещений рыб в водохранилищах. Л., 1968. С. 56-71.
4. Назаров Н.Н. Географическое изучение берегов и акваторий Камских водохранилищ // Географический вестник. 2006. №2. Пермь. С. 18-36.
5. Кузнецова Л.А. Формирование донных отложений равнинных водохранилищ (на примере Камского водохранилища). дисс. канд. геогр. наук. Пермь, 1981. 224 с.
6. Тарвердиев Р.Б. Расчет стока наносов рек, впадающих в Мингечаурское водохранилище // Комплексные исследования водохранилищ. Изд-во Моск. ун-та. 1978. №4. С. 87-94.
7. Шмакова М.В. Расчеты твердого стока рек и заиления водохранилищ: [монография]. СПб.: Изд-во ВВМ, 2018. 149 с.
8. Печеркин И. А. Геодинамика побережий Камских водохранилищ. Ч. 2: Геологические процессы. Пермь, 1969. 308 с.
9. Kosit Lorsirirat. Models for Prediction of the Effects of Hydrological and Basin Characteristics on Reservoir Sedimentation for Water Management in Thailand// International Journal of Erosion Control Engineering. 2014. Vol. 7. № 3.Р. 69-74.
10. Pingping Luo, Bin He, Kaoru Takara. Sustainability and life span of Japanese reservoirs-Statistic analysis of sedimentation condition in Japan // International Symposium on Water Resource and Environmental Protection (ISWREP). 2011. Vol. 3, P. 2125–2128.
11. Калинин В.Г., Гайнуллина Д.Н. Методические аспекты исследования пространственно-временной динамики рельефа дна долинных водохранилищ // Географический вестник. 2013. № 4 (27). С. 17-20.
12. Перевощикова О.А., Калинин В.Г. К оценке пространственных неоднородностей рельефа дна долинных водохранилищ (на примере Камского) // Географический вестник. 2014. №3 (30). Пермь: Изд-во Перм. гос. нац. исслед. ун-та. С. 18-26.
13. Калинин В.Г. О формировании подводного рельефа дна долинных водохранилищ (на примере Камского) / В.Г. Калинин, С.В. Пьянков, О.А. Перевощикова // Географический вестник = Geographical bulletin. 2018. №1(44). С. 128–137. doi 10.17072/2079-7877-2018-1-128-137.

© Калинин В.Г., Ковязина И.А., 2019

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МОНИТОРИНГ ВОДОХРАНИЛИЩ- ИСТОЧНИКОВ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Пятов А.Г., Голубихина Ю.Б., Кравец Е.А.

Федеральное государственное бюджетное водохозяйственное Учреждение
«Центррегионводхоз», г. Москва
E-mail: fgvu@inbox.ru

Аннотация. Рассмотрены данные мониторинга состояния Иваньковского водохранилища и его притоков за 2015-2018 гг. Выявлена устойчивая тенденции снижения загрязненности вод нефтепродуктами, а также уменьшение удельного комбинаторного индекса загрязнения воды в рассмотренный период. Наряду с этим обнаружены тревожные тенденции возрастания повторяемости превышений

нормативов по фенолам и содержанию растворенного кислорода. Сделаны выводы о необходимости усиления водоохранных мероприятий и усовершенствовании методов обработки и анализа данных мониторинга.

Ключевые слова: Иваньковское водохранилище, мониторинг водных объектов.

STATE MONITORING OF RESERVOIRS – SOURCES OF DRINKING WATER SUPPLY, THE IVAN'KOVO RESERVOIR AS AN EXAMPLE

Pyatov A.G., Golubikhina Y.B., Kravets E.A.

Federal state budgetary water management Institution "Tsentrregionvodkhov", Moscow

Abstract. The data of monitoring the state of the Ivan'kovo reservoir and its inflows for 2015-2018 are considered. A steady trend for reducing water pollution with oil products as well as leveraging the specific combinatory index of water pollution in the considered period are revealed. At the same time, alarming trends of the increase in the frequency of exceeding the standards for the phenols and the dissolved oxygen content have been found. The conclusions are made on the necessarily to strengthen water protection measures and improve methods of processing and analysis of monitoring data.

Keywords: Ivan'kovo reservoir, monitoring of water bodies.

ФГБУ «Центррегионводхоз» осуществляет наблюдения за состоянием качественных характеристик воды и донных отложений Иваньковского водохранилища и отдельных его притоков силами обособленных подразделений.

Дубнинская экоаналитическая лаборатория (г.Дубна) ведет наблюдения за качеством вод и донных отложений на 22 створах Иваньковского водохранилища (граница подпора с р. Волга, г. Тверь, а/д мост; р. Тверца – устье, г. Тверь; Бортниковский ручей (Кобылья лужа), выпуск сточных вод от ООО «ТверьВодоканал», г. Тверь; Верхневолжский плёс, п. Эммаус; устье р. Орша; Верхневолжский плёс, д. Старо-Мелково; Шошинский плёс, д. Тешилово; Шошинский плёс, выход из д. Жохово в р. Шоша; Шошинский плёс, оз. Безымянное; Шошинский плёс, оз. Кабановское; Шошинский плёс, о. Кабаново; устье р. Дойбица, п. Мокшино; Средневолжский плёс, д. Плоски; устье р. Донховка, г. Конаково, а/д мост; Средневолжский плёс, Конаковская ГРЭС; Средневолжский плёс, Мошковичский залив (устье); Мошковичский залив, между выпуском ГОС г. Конаково и сточных вод ОАО «Энел ОГК-5»; устье р. Созь; Нижневолжский плёс, ур. Корчева; Иваньковский гидроузел, верхний бьеф; канал им. Москвы – 1-ая паромная переправа; Иваньковский гидроузел, нижний бьеф).

Для сравнения среднегодовых результатов основных загрязняющих веществ (ОЗВ) за 2015-2018 гг. из «Обязательного перечня №1» (приложение В (обязательное) РД 52.24.643-2002 «Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям») были

использованы ОЗВ, содержание которых превысило ПДК: БПК₅, ХПК, фенолы, нефтепродукты, железо, марганец, медь, цинк, нитрит-ион. Характеристика уровня загрязненности основными загрязняющими веществами приведены по кратности превышения ПДК. Уровень загрязненности основными загрязняющими веществами по кратности превышения ПДК – низкий и средний.

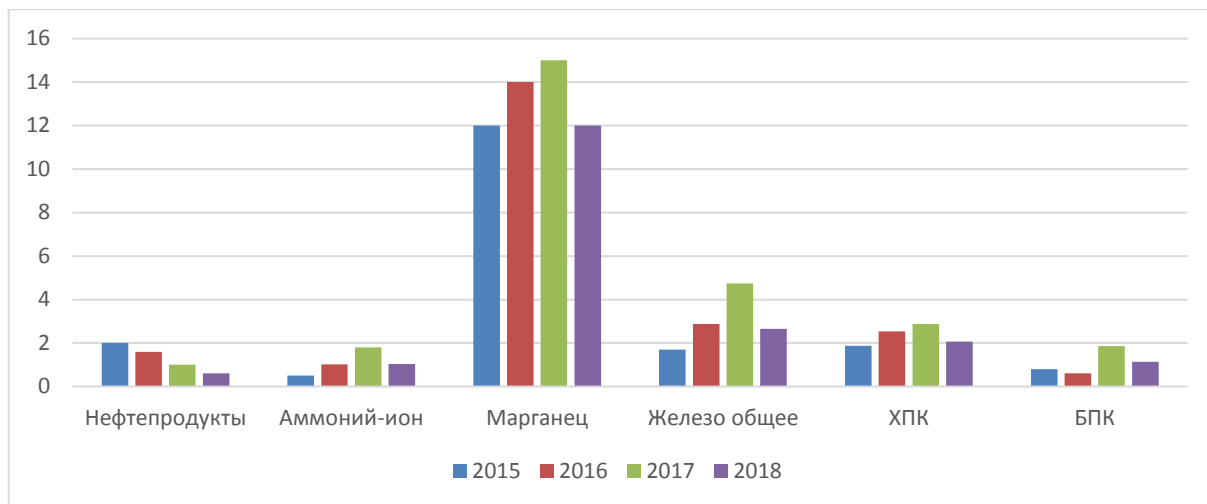


Рис. 1. Среднегодовые содержания ОЗВ в пункте наблюдения р. Волга, г. Тверь, а/д мост, 2015-2018 гг.

Если сопоставить графики на рис. 1 и 2, наблюдается устойчивая тенденция снижения загрязненности воды нефтепродуктами в данных створах и менее устойчивая тенденция возрастания загрязненности вод железом общим. В целом, загрязненность Иваньковского водохранилища в верхнем и нижнем течениях принципиально не отличается.

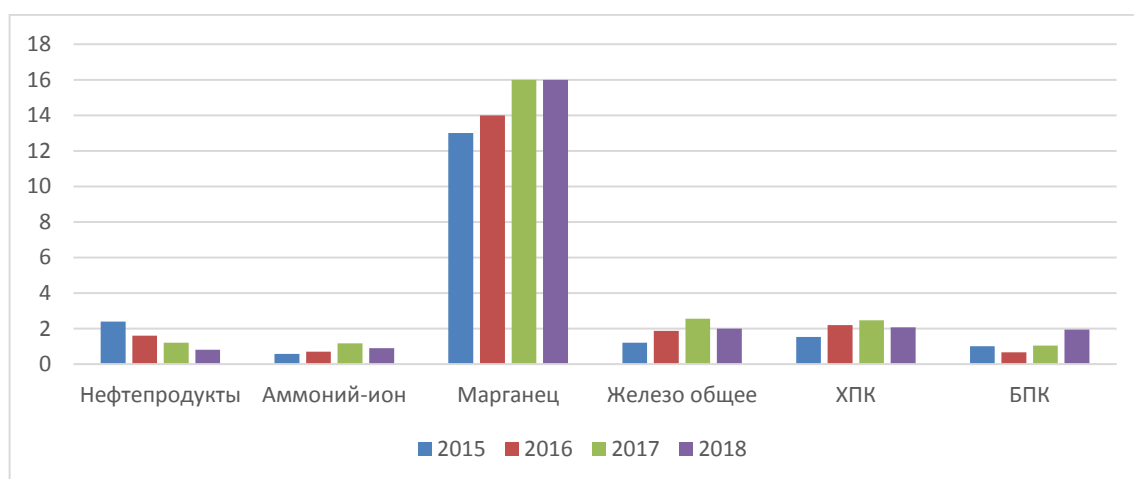


Рис. 2. Среднегодовые содержания ОЗВ в нижнем бьефе Иваньковского гидроузла, 2015-2018 гг.

Более высокая степень загрязнения ряда притоков Иваньковского водохранилища (реки: Созь – рис. 3, Донховка, Дойбица, Орша), по сравнению с

водами самого водохранилища и других притоков, обусловлена, скорее, природными факторами (протекание и питание рек в болотах), т.к. возрастают показатели содержания преимущественно марганца, железа, аммонийного азота.

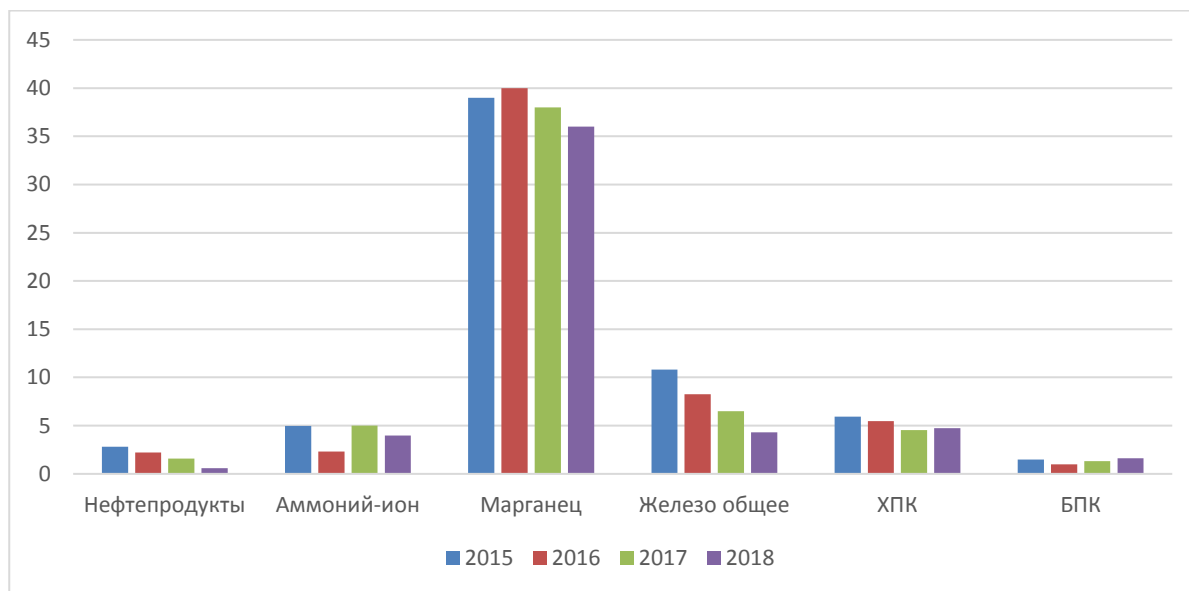


Рис. 3. Среднегодовые содержания ОЗВ в устье реки Сось, 2015-2018 гг.

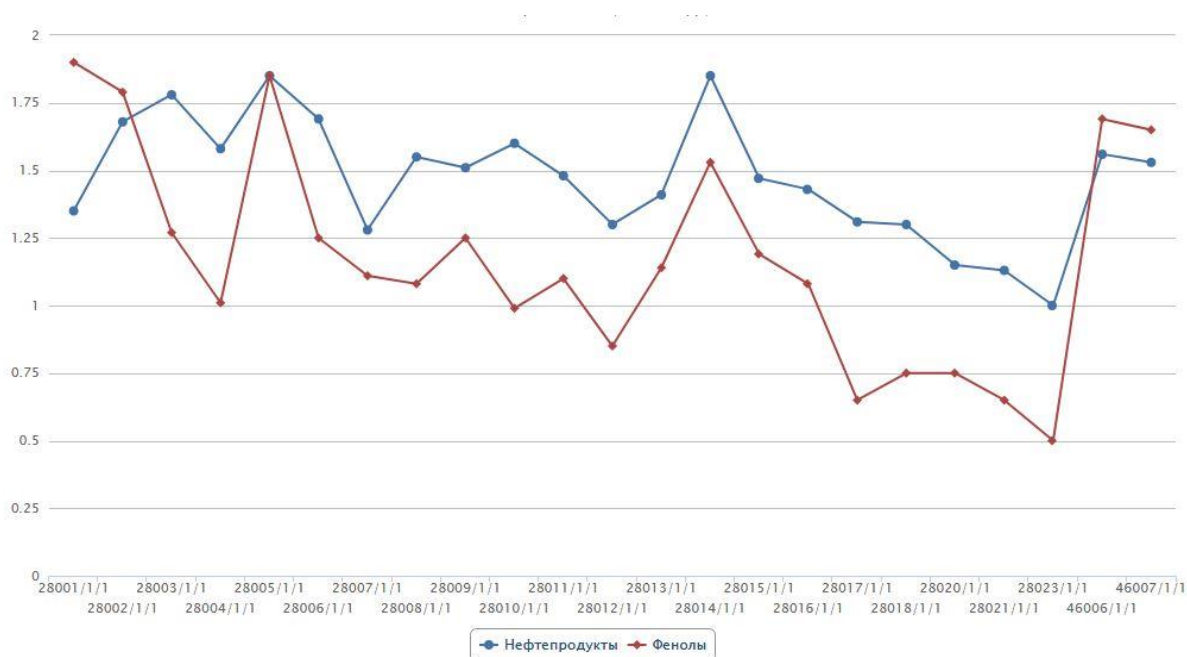


Рис. 4. Усредненное содержание нефтепродуктов и фенолов (в долях ПДК) за период 2015-2018 гг. по створам наблюдений по течению водохранилища от створа Граница подпора Ср. Волга, г. Тверь, а/д мост до створа Ивановский гидроузел, нижний бьеф

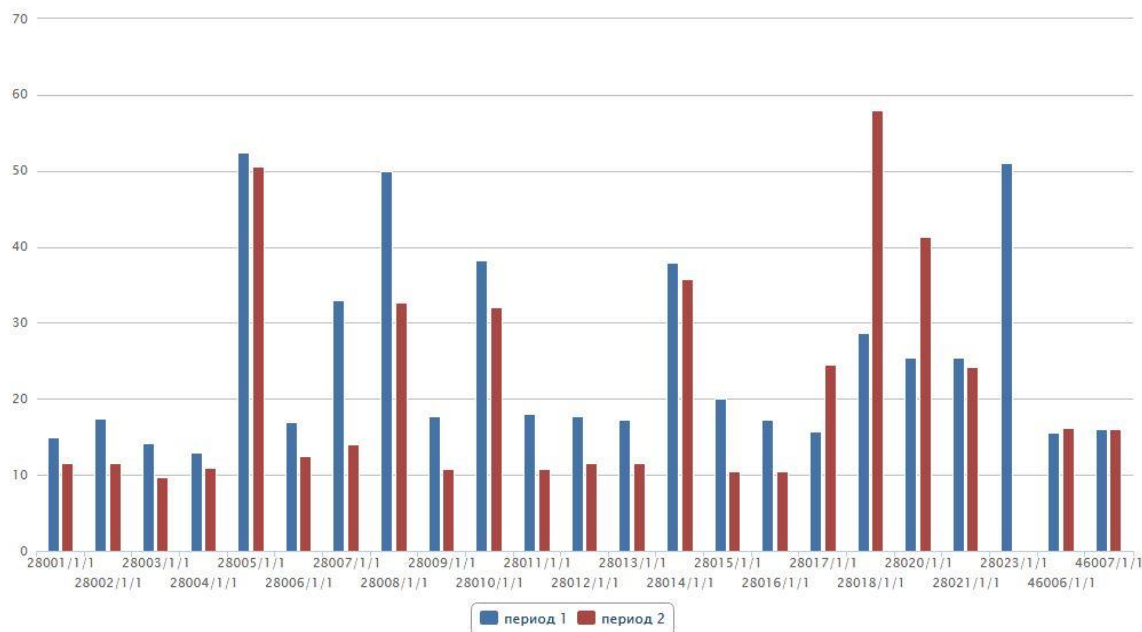


Рис. 5. Среднегодовое содержание марганца (в долях ПДК) в Ивановском водохранилище (период 1 – 2017 г., период 2 – 2018 г.) по створам наблюдений по течению водохранилища от створа Граница подпора Ср. Волга, г. Тверь, а/д мост до створа Ивановский гидроузел, нижний бьеф

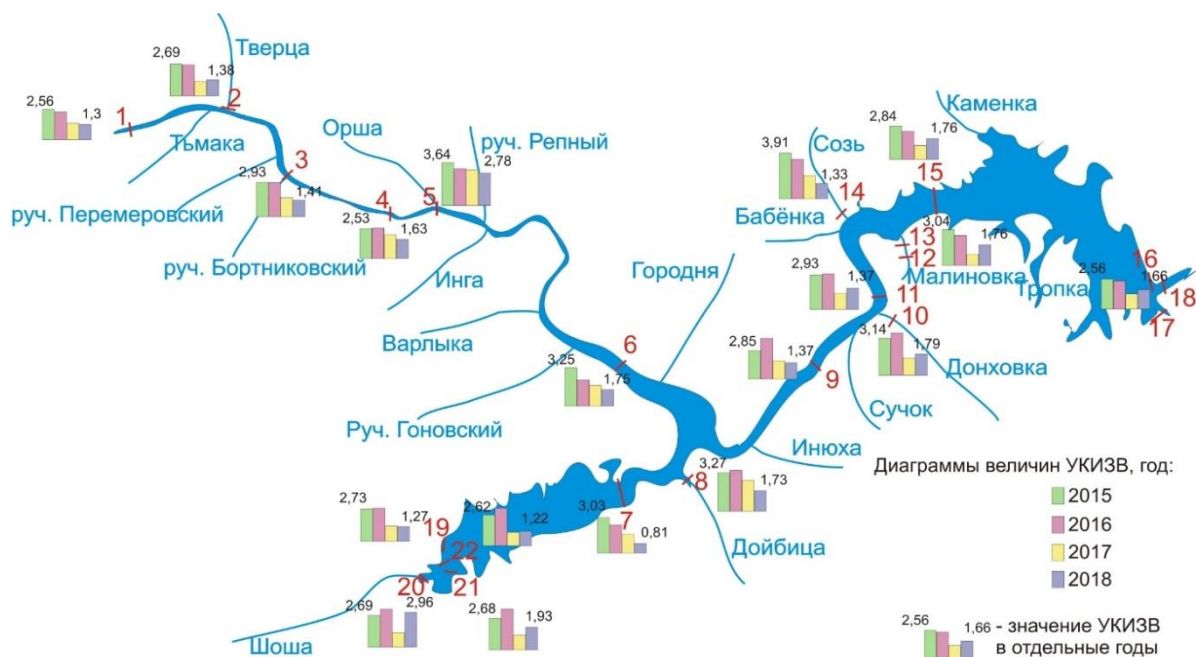


Рис. 6. Изменение удельного комбинаторного индекса загрязнения воды в 2015-2018 гг.

В 2015 и 2016 гг. в большинстве створов вода по удельному комбинаторному индексу загрязненности воды (УКИЗВ) характеризуется как «очень загрязненная» - класс 3А. В 2015 г. «грязная» вода (4А класс качества) отмечается в 3 створах, в 2016 г. – в 7 створах. В 2015-2016 гг. ни в одном из створов не наблюдается 2 класс качества.

В 2017-2018 гг. в большинстве створов вода характеризуется как «слабо загрязненная» (класс качества воды – 2). В 2017 г. «загрязненная» вода (3А класс) наблюдается в одном створе, «очень загрязненная» (3Б класс) – в двух створах. В 2018 г. «очень загрязненная» вода (3Б класс) наблюдается в двух створах.

В целом, за период 2015-2018 гг. в створах Иваньковского водохранилища наблюдается улучшение качества воды (в 2017-2018 гг. – стабилизация в большинстве створов).

В течение рассматриваемого периода времени почти во всех створах (кроме пп. наблюдения Шошинский плес, оз. Безымянное и оз. Кабановское и двух пунктов наблюдения в Мошковичском заливе) наблюдается тенденция к улучшению качества воды, что является больше естественным гидрологическим контекстом, чем водохозяйственными мероприятиями, т.к. в соответствии с данными, опубликованными в государственных докладах «О состоянии и использовании водных ресурсов» за 2015-2017 гг., в 2015 г. объем водных ресурсов бассейна Волги был на 16,8 % ниже среднееголетних значений, в то время как в 2016 г. объем водных ресурсов Волги превышал среднееголетние значения на 11,2 %, а в 2017 г. – уже на 20,6 % [1-3]; за 2018 г. данные о водности пока не поступали.

Несмотря на выраженную тенденцию улучшения качества вод по удельному комбинаторному индексу загрязнения воды (рис. 4), имеет место увеличение повторяемости случаев превышения ПДК по летучим фенолам и дефициту растворенного кислорода (табл. 1), что требует отдельных детальных исследований причин и возможных последствий. Обращает на себя внимание также обратная корреляция повторяемостей превышения ПДК по нефтепродуктам и фенолам (уменьшение повторяемости превышений ПДК по нефтепродуктам по мере возрастания повторяемости превышения ПДК по фенолам).

Таблица 1

**Повторяемость превышений ПДК по наблюдаемым показателям
в целом по Иваньковскому водохранилище, %**

Показатели качества воды	2015	2016	2017	2018
рН	0	0	1	0
Раств. кислород	6	11	23	24
Магний	-	0	0	0
Хлориды	0	0	0	0
Сульфаты	1	2	0	0
Кальций	-	0	4	0
Бихроматная окисляемость	100	100	94	91
БПК ₅	40	18	30	61
NH ₄	28	42	70	49
NO ₂	2	2	2	4
NO ₃	0	0	0	0
Фосфаты	2	11	12	8
Железо общее	45	95	97	60
Медь	0	0	1	1
Цинк	0	3	3	0,5
Никель	0	0	0	0
Хром ⁶⁺	-	0	0	0
Свинец	-	0	0	0
Кадмий	-	0	0	0
Марганец	100	100	100	100
Фенолы летучие	-	1	9	64
Нефтепродукты	93	78	53	17

Такая ситуация свидетельствует об ограниченной области применения показателя УКИЗВ и необходимости комплексного анализа всего массива данных мониторинга водных объектов. В целом, по данным мониторинга, ярко выраженного влияния точечных источников загрязнения не отслеживается, что может свидетельствовать либо о незначительном их вкладе в состояние Иваньковского водохранилища и его притоков, либо о недостаточной охваченности точечных источников загрязнения сетью мониторинга в пространственном или компонентном аспектах.

Состояние донных отложений по содержанию металлов (меди, цинка, свинца, кадмия) в целом, можно считать удовлетворительным, за исключением

повышенных концентраций меди (75,9 мг/кг сухого веса) в 2016 г. в Верхневолжском плесе у пос. Эммаус и отдельных превышений над фоновыми концентрациями для Верхней Волги.

По результатам анализов донных отложений степень загрязнения нефтепродуктами в Верхневолжском плесе, рядом с д. Тешилово в 2016 г. (979 мг/кг), в устье р. Тверца в 2017 г. (1054 мг/кг), в устье р. Донховка в 2015 – 2017 гг. (1295-853 мг/кг) соответствует уровням «грязные» (600-1000 мг/кг) и «очень загрязненные» (свыше 1000 мг/кг). Донные отложения в верхнем бьефе Иваньковского гидроузла устойчиво соответствуют категории «средне загрязненные» (200-600 мг/кг). Имеется тенденция к уменьшению загрязненности нефтепродуктами донных отложений на границе подпора с р. Волга в Твери, рядом с автодорожным мостом (от 640 мг/кг в 2015 г. до 71 мг/кг в 2018 г.). Средняя степень загрязнения донных отложений нефтепродуктами наблюдалась в 2015 г. в устье р. Созь. В остальных створах загрязненность донных отложений нефтепродуктами соответствовала уровням «чистые» или «слабо загрязненные».

Выявленные тенденции требуют дальнейшего мониторинга с применением усовершенствованных методов обработки и анализа информации, а также тщательного контроля точечных и рассредоточенных источников загрязнения.

Список литературы

1. Данные мониторинга Иваньковского водохранилища, выполняемого Дубнинской экоаналитической лабораторией ФГБУ «Центррегионводхоз» за 2015-2018 гг.
2. Данные программного комплекса Единой автоматизированной информационной системы государственного мониторинга водных объектов за 2015-2018 гг.
3. Гос. докл. «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2015 году». М.: НИА-Природа, 2016. 270 с.
4. Гос. докл. «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2016 году». М.: НИА-Природа, 2017. 300 с.
5. Гос. докл. «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2017 году». М.: НИА-Природа, 2018. 298 с.

© Пятов А.Г., Голубихина Ю.Б., Кравец Е.А., 2019

КОМПЛЕКСНЫЙ МОНИТОРИНГ УГЛИЧСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Лупанова И.А.¹, Крутенко С.А.¹, Григорьева И.Л.², Федорова Л.П.²

¹ФГУ «Управление эксплуатации Угличского водохранилища», г. Углич

²Иваньковская НИС – филиал ФГБУН «Институт водных проблем
Российской академии наук», г. Конаково

E-mail: uglich_vodochr@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты комплексного мониторинга Угличского водохранилища, проводимого силами сотрудников Управления эксплуатации Угличского водохранилища, Иваньковской НИС ИВП РАН, Дубненской экоаналитической лаборатории ФГБУ «Центррегионводхоз», ФГБУ «Верхне-Волжскводхоз». Оценено качество воды водохранилища по отдельным и химическим характеристикам их комплексу. Выявлены участки, на которых необходимо выполнить водохозяйственные мероприятия.

Ключевые слова: Угличское водохранилище, мониторинг, обрушение берегов, зарастание, качество воды.

COMPREHENSIVE MONITORING OF THE UGLICH (ESKOYE) RESERVOIR

Lupanova I.A.¹, Krutenko S.A.¹, Grigorieva I.L.², Fiodorova L.P.²

¹FSI «Management operation of the Uglich reservoir их комплексу », Uglich

²Ivankovskaya Research Station – Branch of Water Problems Institute
of Russian Academy of Sciences, Konakovo

E-mail: uglich_vodochr@mail.ru

Abstract. The results of comprehensive monitoring of the Uglich reservoir, conducted by the staff of the Directorate of the Uglich reservoir operation, Ivankovo IRS IWP RAS, Dubna ecological and analytical laboratory of the tsentregionvodkhoz, FGBU "Verhne-Volzshkvodhoz" are presented. The water quality of the reservoir is estimated by individual and complex chemical characteristics. Areas where it is necessary to perform water management activities are identified.

Keywords: Uglich reservoir, monitoring, coast collapse, overgrowth, water quality.

В соответствии с Уставом ФГУ «Управление эксплуатации Угличского водохранилища», предметом деятельности Учреждения является выполнение мероприятий по рациональному использованию, восстановлению и охране Угличского водохранилища. Угличское водохранилище, вторая ступень Волжско-Камского каскада водохранилищ, создано в 1939 г. плотиной Угличской ГЭС у г. Углич. Расположено в пределах Угличского района Ярославской области и Кимрского, Калязинского и Кашинского районов Тверской области. По его берегам расположены города: Дубна, Кимры, Калязин. Углич. Полный объем водохранилища – 1.25 км³, полезный – 0.674 км³, площадь водного зеркала – 249 км², длина – 146 км, максимальная глубина у

плотины – 23 м, средняя – 5.0 м, средняя ширина – 2.2 км, максимальная ширина – 5 км.

Средний за многолетний период приток воды в водохранилище – 10.06 км³; сток в нижний бьеф – 9.97 км³ [1]. Основными составляющими водного баланса Угличского водохранилища является поверхностный приток в водоем и сброс через Угличский гидроузел. Со стоком р. Волга в Угличское водохранилище поступает около 71 % от общего поступления воды, на долю притоков приходится около 29 % от общего поверхностного притока воды. Объем притока воды в водохранилище изменяется по годам и колеблется в значительных пределах (табл. 1).

Таблица 1

**Объем притока воды в Угличское водохранилище за 2013-2018 гг.
(тыс.м³)**

Год	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Объем	16700	5132	4896	9512	17480	12290

Угличское водохранилище относится к категории проточных водоемов. В нем отсутствует развитая пелагиаль, и глубоководные участки (более 6 м) занимают менее 20 % акватории при условной норме в 50-70 %. Водохранилище руслового типа, поскольку оно ограничено склонами долины Волги, которая в районе Угличской гряды имеет небольшую ширину. Наиболее узким является верхний беспойменный участок от Ивановского гидроузла до устья р. Медведица. Нижний приплотинный участок – более широкий за счет заливов, образованных подтоплением рек, впадающих в водохранилище. Водохранилище осуществляет сезонное регулирование стока и отличается единообразием годового хода уровней. Площадь водосбора Угличского водохранилища составляет 60020 км², из которых леса занимают 42 %, болота 11 %, озера 2 %. Боковая приточность невелика и в среднем составляет 3.360 км³. Наиболее крупными боковыми притоками водохранилища являются реки: Дубна, Хотча, Медведица, Нерль, Кашинка, Жабня.

Ежегодное уменьшение полного объема водохранилища за счет накопления донных отложений не превышает 0,03 %. Всего на дне аккумулировалось около 29 млн. т осадков, из которых примерно 75 % представлены крупнозернистыми наносами [2].

Угличское водохранилище имеет комплексное назначение. Оно используется с учетом интересов энергетики, транспорта, сельского и рыбного хозяйства, водоснабжения, рекреации и т.д. Угличское водохранилище является

основным источником водоснабжения гг. Дубна, Кимры, Углич и сельских поселков, с одной стороны, и объектов массового отдыха, с другой.

Силами Учреждения регулярно проводится мониторинг состояния берегов, дна, водоохранных зон и мониторинг степени зарастания в ряде заливов и на мелководных участках водохранилища.

Наблюдения за отступлением берега организованы на 21 участке общей протяженностью 14 км. Замеры линейного отступления берега проводятся дважды в год: после прохождения весеннего половодья в июне и после прохождения летне-осенних паводков в сентябре. Результаты замеров заносятся в Паспорт створа с указанием параметров обрушаемого участка и датой проведения измерений.

Стабильность уровня режима Угличского водохранилища, без резких колебаний, за последние 5 лет способствовала уменьшению интенсивности процессов переработки берегов. В 2018 г. отмечалось отсутствие обрушений практически по всем створам, кроме створов на участке с. Плешково и с. Соболево Кимрского района Тверской области. Здесь показатель обрушения составил от 0.2 до 1.2 м. Также незначительные обрушения берега отмечены на участке наблюдения у д. Васюсино Калязинского района Тверской области – 1.3 м, что относится к средней степени интенсивности процесса берегообрушений.

Следует заметить, что интенсивность переработки берегов водохранилища периодически снижается, а затем вновь активизируется, в зависимости от водности года и других факторов.

Мониторинг за состоянием водоохранной зоны водохранилища осуществляется путем регулярного патрулирования береговой линии по заданному маршруту. Ежегодно плановые наблюдения проводятся на территории протяженностью порядка 450 км.

Кроме ежемесячного обследования Учреждением иницируются и проводятся рейдовые мероприятия совместно с надзорными органами (Росприроднадзор, Росрыболовство, органы местного самоуправления) в предпаводковый период. Наиболее часто встречающимися нарушениями являются: выполнение работ по изменению дна и берегов без разрешительной документации, сброс недостаточно очищенных сточных вод коммунальными хозяйствами, а также ограничение доступа к водным объектам (заборы до воды). Важно отметить, что нарушений с каждым годом становится меньше.

Для наблюдения за процессами эвтрофикации и заболачивания мелководных участков водохранилища определено 8 участков – это заливы и устье-

вые участки наиболее крупных притоков. Замеры проводятся с июля по август в период активной стадии развития водной растительности. В рамках мониторинга определяются три основных показателя:

1. Площадь зарастания, га;
2. Координаты (местоположение), градусы;
3. Глубина мелководий, м.

Растительность Угличского водохранилища представлена четко обособленными фитоценозами, расположенными поясами вдоль берегового склона. Основные площади заросших мелководий сосредоточены по заливам и на защищенных участках мелководий межостровных протоков. Площадь заросших мелководий составляет 5–7 % от площади водного зеркала водохранилища при НПУ.

Перечень участков водохранилища, на которых ведутся наблюдения за зарастанием сотрудниками ФГУ УЭУВ, представлен в табл. 2.

В июле 2013 г. сотрудниками Ивановской НИС ИВП РАН было проведено обследование растительности в заливах Угличского водохранилища: напротив с. Прилуки - Струковском, Солоновском, Скулино-Михеевском заливах, Коньковом ручье и в устьях рек Медведица и Турайка. Определены видовой состав растительности и степень зарастания указанных участков водохранилища. Результаты обследования заливов свидетельствуют о высокой степени развития в них высшей водной растительности, наблюдается расширение зарослей болотных видов и рост их фитомассы, и как следствие, резкое увеличение площадей сплавинных комплексов.

Таблица 2

Перечень участков Угличского водохранилища, на которых ведутся наблюдения ФГУ «УЭУВ»

№	Наименование участка наблюдения	Площадь зарастания, м ² (%)
1	Р. Турайка, Угличский район, Ярославская область	18200 (26)
2	Залив Черная речка Угличский район, Ярославская область	660 (2)
3	Струковский залив Угличский район, Ярославская область	28152 (17)
4	Солоновский залив Калязинский район Тверская область	14490 (9)
5	Р. Медведица Кашинский район Тверская область	20400 (6)
6	Михеевский залив Кимрский район Тверская область	№ п/п
7	Скулинский залив Кимрский район Тверская область	85320 (79)
8	Р. Кимрка, г. Кимры Тверская область	117000 (45)

Государственный мониторинг за качеством воды Угличского водохранилища и его притоков в пределах Тверской области проводится Тверским УГМС в створах гг. Кимры и Калязин и р. Кашинка – г. Кашин, р. Медведица – д. Семеновское. В пределах Ярославской области Ярославский УГМС проводится мониторинг качества воды Угличского водохранилища в створе Углич и в створе Сумы на р. Корожечна.

Ведомственный мониторинг качества воды Угличского водохранилища в пределах Тверской области проводится Дубненской экоаналитической лабораторией ФГБУ «Центррегионводхоз» в створах: г. Дубна, Северная канава; устье р. Дубна; д. Абрамово, ниже г. Кимры; пос. Белый Городок; ниже г. Калязин; д. Селищи (граница с Ярославской областью). В пределах Ярославской области мониторинг проводит Федеральное государственное бюджетное учреждение «Верхне-Волжскводхоз» в двух створах: п. Прилуки, граница с Тверской областью; выше г. Углич, д. Новоселки.

В створах наблюдений Дубненской ЭАЛ в 2018 г. качество воды водохранилища относилось ко второму классу «слабо загрязненная» [3], в створах наблюдений ФГБУ «Верхне-Волжскводхоз» – к классу 3Б «очень загрязненная» (приоритетные загрязняющие вещества железо, марганец, медь и ХПК) [4]. Такое расхождение в комплексной оценке качества воды можно объяснить тем, что отбор проб воды проводился лабораториями в различные сроки.

Регулярные исследования гидрохимического режима Угличского водохранилища проводятся сотрудниками Ивановской НИС ИВП РАН совместно с сотрудниками ФГУ «УЭ Угличского водохранилища». Максимальные и минимальные концентрации основных гидрохимических показателей Угличского водохранилища за 2013-2018 гг. во входном (г. Дубна, пляж) и замыкающем створах (ВБ Угличской ГЭС), по данным Ивановской НИС ИВП РАН, представлены в табл. 3-4.

Вода водохранилища гидрокарбонатно-кальцево-магниевого состава, средне минерализованная. Анализ изменения минерализации воды и концентрации главных ионов, в среднем, за последние шесть лет по сезонам показал, что и во входном створе (г. Дубна) и замыкающем створе (верхний бьеф Угличской ГЭС, г. Углич) наибольшие концентрации наблюдаются зимой, в период наибольшей сработки уровня (табл. 3).

Наибольшие концентрации фосфора общего и аммонийного азота во входном створе отмечались в зимнюю межень маловодного 2014 г, а в замыкающем створе - осенью близкого к среднему по водности 2016 г. (табл. 4). Наибольшие концентрации нитратного азота во входном створе отмечены зимой 2016 г., а в замыкающем створе - зимой многоводного 2017 г. Максимальные концентрации железа общего были более высокими, чем в замыкающем створе и отмечались зимой 2014 г. и весной 2016 г. (табл. 4).

Таблица 3

Минимальные и максимальные концентрации главных ионов (мг/дм³) и значения минерализации воды (мг/дм³) во входном и замыкающем створах Углицкого водохранилища в период 2013-2018 гг.

№ п/п	Место отбора	Сезон	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Мин.
	г. Дубна - пляж	зима							
		min	41.9 (2018)	10.0 (2014)	0.0 (2015)	173.9 (2014)	7.3 (2018)	6.4 (2018)	255 (2018)
		max	55.9 (2015)	14.8 (2015)	2.3 (2014)	195.2 (2015)	16.8 (2014)	9.6 (2015)	298 (2015)
		весна							
		min	31.3 (2018)	9.2 (2018)	6.5 (2018)	118.9 (2015)	10.6 (2018)	8.8 (2015)	192 (2015)
		max	46.5 (2016)	12.4 (2016)	10.8 (2014)	183.1 (2016)	17.9 (2014)	12.5 (2014)	281 (2016)
		лето							
		min	32.9 (2018)	7.8 (2017)	7.8 (2016)	131.2 (2016)	13.5 (2016)	7.2 (2018)	211 (2016)
		max	36.1 (2016)	9.2 (2018)	18.0 (2017)	158.7 (2017)	19.3 (2018)	12.7 (2016)	244 (2017)
		осень							
		min	42.3 (2014)	9.7 (2015)	3.0 (2018)	168.8 (2015)	13.5 (2015)	11.4 (2014)	263 (2015)
		max	44.9 (2013)	13.3 (2014)	15.0 (2014)	195.3 (2018)	18.3 (2013)	16.6 (2013)	293 (2014)
	Углицкая ГЭС, ВБ	зима							
		min	49.9 (2014)	9.0 (2014)	3.8 (2017)	170.8 (2014)	17.0 (2017)	7.9 (2014)	274 (2014)
		max	60.9 (2017)	16.5 (2017)	6.3 (2014)	238.0 (2017)	21.7 (2014)	8.9 (2017)	353 (2017)
		весна							
		min	29.3	7.2	9.5	122.0	12.9	4.8	191
		max	29.7 (2018)	8.3 (2018)	11.5 (2018)	134.2 (2018)	10.8 (2018)	7.1 (2018)	205 (2018)
		лето							
		min	30.3 (2016)	8.4 (2016)	1.5 (2013)	118.9 (2016)	14.9 (2016)	3.5 (2013)	202 (2013)
		max	48.1 (2014)	11.6 (2014)	11.7 (2017)	176.9 (2014)	23.8 (2014)	7.4 (2014)	276 (2014)
		осень							
min	37.9 (2016)	9.4 (2016)	2.0 (2018)	164.8 (2018)	15.1 (2018)	7.7 (2016)	255 (2016)		
max	41.7 (2018)	10.2 (2018)	15.5 (2016)	177.0 (2018)	16.1 (2016)	9.2 (2018)	260 (2018)		

Максимально наблюдаемые значения БПК₅ во входном и замыкающем створах отмечены весной 2014 г. (5.0 мгО/дм³) и летом 2013 г. (5.9 мгО/дм³). Максимальное значение перманганатной окисляемости (ПО) зафиксировано зимой многоводного 2018 г. и составило 18.2 мгО/дм³. Максимальная концентрация марганца достигала 36 ПДК и была зафиксирована летом маловодного 2014 г. в замыкающем створе.

Таблица 4

Минимальные и максимальные значения биогенных элементов во входном и замыкающем створах Углицкого водохранилища за период 2013-2018 гг.

№ п/п	Точка отбора		P _{мин} , мгР/дм ³	P _{общ} , мгР/дм ³	NH ₄ ⁺ , мгN/дм ³	NO ₂ ⁻ , мгN/дм ³	NO ₃ ⁻ , мгN/дм ³	SiO ₂ , мг/дм ³	Fe _{общ} , мг/дм ³
1	г. Дубна - пляж	зима							
		min	0.046 (2014)	0.076 (2015)	0.15 (2015)	0.002 (2015)	0.61 (2014)	3.0 (2015)	0.16 (2015)
		max	0.048 (2015)	0.172 (2014)	0.72 (2014)	0.010 (2014)	0.68 (2015)	4.0 (2014)	0.36 (2014)
		весна							
		min	0.008 (2014)	0.037 (2014)	0.12 (2015)	0.002 (2015)	0.66 (2015)	0.4 (2014)	0.08 (2014)
		max	0.037 (2016)	0.077 (2016)	0.39 (2014)	0.003 (2014)	0.81 (2016)	3.2 (2016)	0.47 (2016)
		лето							
		min	0.024 (2017)	0.055 (2017)	0.18 (2016)	0.002 (2017)	0.11 (2016)	0.8 (2017)	0.09 (2017)
		max	0.081 (2016)	0.134 (2016)	0.21 (2017)	0.004 (2016)	0.23 (2017)	1.0 (2016)	0.16 (2016)
		осень							
		min	0.026 (2014)	0.063 (2014)	0.16 (2014)	0.001 (2014)	0.20 (2014)	1.0 (2015)	0.08 (2014)
		max	0.032 (2013)	0.088 (2013)	0.43 (2013)	0.002 (2013)	0.57 (2015)	1.6 (2013)	0.13 (2013)
2	Углицкая ГЭС, ВБ	зима							
		min	0.020 (2014)	0.070 (2017)	0.12 (2017)	0.004 (2014)	0.72 (2014)	4.0 (2014)	0.26 (2017)
		max	0.047 (2017)	0.129 (2014)	0.61 (2014)	0.008 (2017)	0.84 (2017)	4.2 (2017)	0.32 (2014)
		весна							
		min	0.016 (2018)	0.043 (2018)	0.30 (2016)	0.004 (2018)	0.52 (2018)	2.3 (2018)	0.17 (2018)
		max	0.027 (2016)	0.068 (2016)	0.31 (2018)	0.005 (2016)	0.70 (2016)	2.3 (2016)	0.24 (2016)
		лето							
		min	0.008 (2015)	0.057 (2017)	0.05 (2015)	0.004 (2015)	0.10 (2013)	0.53 (2016)	0.10 (2017)
		max	0.047 (2014)	0.099 (2013)	0.73 (2013)	0.036 (2014)	0.35 (2017)	1.2 (2017)	0.16 (2015)
		осень							
min	0.087 (2018)	0.117 (2018)	0.09 (2018)	0.003 (2018)	0.38 (2016)	2.3 (2016)	0.06 (2018)		
max	0.093 (2016)	0.141 (2016)	0.10 (2016)	0.004 (2016)	0.41 (2018)	2.8 (2018)	0.12 (2016)		

Выводы

Комплексный мониторинг Угличского водохранилища позволяет оценить современное экологическое состояние водоема и выявить участки, на которых требуется проведение эксплуатационных мероприятий по расчистке и дноуглублению.

Для оценки современного экологического состояния Угличского водохранилища недостаточно одних только гидрохимических показателей. Необходима также оценка по состоянию сообществ фито- и зоопланктона, макрозообентоса и ихтиофауны.

Для улучшения условий жизнеобитания и воспроизводства водных биологических ресурсов и улучшения качества воды необходимо предотвратить заболачивание мелководной зоны Угличского водохранилища посредством извлечения из водоема растительной массы. В первую очередь, это касается комплексов сильного зарастания воздушно-водной растительностью и телорезом алоэвидным. Целесообразно также проведение мероприятий по уничтожению сплавин.

Из многочисленных мелиоративных мероприятий можно рекомендовать сооружение прорезей (соединение открытой водной акватории с заливом), позволяющих восстановить водный обмен, улучшить химико-биологический режим заливов, исключить вероятность появления здесь заморных явлений. Необходимо также провести дноуглубление центральной части залива, где свободные от зарастания участки могут использоваться рыбой для нагула.

Для оптимизации комплексного мониторинга водохранилища необходимо проводить рабочие совещания различных лабораторий с целью координации сроков отбора проб воды и унификации методик химического анализа.

Список литературы

1. Экологические проблемы Верхней Волги. Ярославль, 2001. 427 с.
2. Законов В.В., Гершевский П., Законнова А.В., Кашубский М. Пространственно-временная трансформация грунтового комплекса водохранилищ Волги. Сообщение 3. Оценка изменения морфометрических характеристик в результате накопления донных отложений в Угличском водохранилище // Водное хозяйство России, 2016, № 6. С. 61-72.
3. Аналитическая записка о состоянии Угличского водохранилища за 2018 г. (зоны деятельности Дубнинской ЭАЛ). М., 2019 г., 26 с.
4. Отчет о результатах наблюдений за состоянием Угличского, Рыбинского, Горьковского водохранилищ на территориях Ярославской, Костромской и Ивановской областей в 2018, г. Иваново, 2019. 170 с.

© Лупанова И.А., Крутенко С.А., Григорьева И.Л., Федорова Л.П., 2019

ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ДНА, БЕРЕГОВ И РЕЖИМА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДООХРАННОЙ ЗОНЫ ГОРЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Костров А.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение
"Управление эксплуатации Горьковского водохранилища" г. Кострома
E-mail: fgu@uegv.ru

Аннотация. В работе подробно изложен подход к проведению наблюдений за состоянием дна, берегов Горьковского водохранилища. Даны обобщение и оценка результатов.

Ключевые слова: Горьковское водохранилище, регулярные наблюдения, состояние дна и берегов.

ORGANIZING AND CONDUCTING MONITORING THE STATE OF THE BOTTOM, SHORES AND MODE OF USING THE GOR'KY RESERVOIR WATER PROTECTION ZONE

Kostrov A. V.

Federal state budgetary institution "Management of the Gor'ky reservoir operation",
Kostroma

Abstract. In the article, an approach of carrying out observations for the Gor'ky reservoir state of the bottom and shores is described in detail. Generalization and assessment of the results are given.

Keywords: Gor'ky reservoir, regular observations, state of bottom and shores.

Нормативно-правовые основы по осуществлению государственного мониторинга водных объектов в части наблюдений за состоянием дна, берегов, состоянием и режимом использования водоохраных зон и изменениями морфометрических особенностей водных объектов или их частей:

В соответствии с Водным кодексом РФ от 03.06.2006 г. № 74-ФЗ, Постановлением Правительства РФ от 10.04.2007 г. №219 "Об утверждении Положения об осуществлении государственного мониторинга водных объектов" и Приказом Минприроды России от 08.10.2014 г. №432 "Об утверждении методических указаний по осуществлению государственного мониторинга водных объектов в части наблюдений за состоянием дна, берегов и состоянием и режимом использования водоохраных зон и изменениями морфометрических особенностей водных объектов или их частей", учреждение:

– ведет регулярные наблюдения за состоянием дна, берегов, состоянием и режимом использования водоохраных зон и изменениями морфометрических особенностей Горьковского водохранилища, расположенного на территориях 4-х субъектов Российской Федерации и использование которого

осуществляется для обеспечения питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения двух и более субъектов Российской Федерации;

– осуществляет сбор, обработку, хранение, обобщение и анализ сведений, полученных в результате наблюдений;

– проводит общую оценку изменений состояния водного объекта, его дна и берегов, а также морфометрических особенностей и водоохраных зон.

Объекты мониторинга:

Горьковское водохранилище образовано перекрытием русла р. Волга у г. Городец Нижегородской области. Наполнение Горьковского водохранилища проводилось в течение 2-х лет: осень 1955 г.; весеннее половодье 1956-1957 гг.

Тип водохранилища – русловой. Водообмен происходит около пяти раз в год. Водохранилище морфометрически делится на 3 участка: речной, озерно-речной и озерный. Речной участок – от г. Рыбинск до н.п. Некрасовское (138 км по судовому ходу). Озерно-речной – от н.п. Некрасовское до устья р. Елпать (194 км по судовому ходу). Озерный – от устья р. Елпать до гидроузла (98 км по судовому ходу). Протяженность Горьковского водохранилища по судовому ходу составляет 430 км.

Водохранилище располагается на территориях Ярославской, Костромской, Ивановской и Нижегородской областей. Протяженность береговой линии, в соответствии с «Основными правилами использования водных ресурсов Рыбинского и Горьковского водохранилищ на р. Волга», – 2168 км, по уточненным данным материалов Определения границ водоохраных зон и прибрежных защитных полос Горьковского водохранилища – 3137,92 км.

Таблица 1

Основные морфометрические характеристики при отметке НПУ=84.0 м БС

1	Площадь водного зеркала водохранилища	1591.0 км ²
2	Емкость водохранилища	8.815 км ³
3	Полезный объем водохранилища	2.782 км ³
4	Длина водохранилища	430.0 км
5	Максимальная глубина	22.0 м
6	Средняя глубина	6.0 м

Таблица 2

Площадь зеркала и объемы Горьковского водохранилища

Отметка, м БС	Объем, млн. куб. м	Площадь, кв. км
ФПУ =85.5	11420.0	1920.0
НПУ=84.0	8815.0	1591.0
УНС=82.0	6040.0	1195.0

Подпор от Нижегородского гидроузла при НПУ распространяется вверх по р. Волга до створа Рыбинского гидроузла.

Водохранилище создано в интересах питьевого водоснабжения, энергетики и судоходства. Широко используется для рыболовства и рекреации.

Ведение мониторинга

Основные морфометрические параметры водохранилища отражаются кривыми зависимости площадей зеркала и объемов от уровней воды. Данные показатели первоначально характеризуют строение ложа водохранилища и являются функцией переменной величины. Такие показатели, как глубина водохранилища и кривые площадей и объемов, отражают изменения в строении чаши водохранилища и изменяются вследствие переформирования берегов, заиления, зарастания и отшнуровывания рек боковой приточности. Интенсивный процесс отшнуровывания рек боковой приточности наблюдается в озерной части водохранилища (от устья р. Елпать до Нижегородского гидроузла).

Переформирование рек боковой приточности происходит за счет поступления взвешенных и влекомых наносов с расположенного выше речного участка, которые в результате резкого уменьшения скорости течения аккумуляруются в устьевой части. И вследствие перемещения песчаного слоя наносов отмели под действием вдольберегового течения, русла рек боковой приточности перекрываются. Береговая линия и мелководная зона подвергаются заболачиванию и зарастанию прибрежными водными растениями. Признаками интенсивного заболачивания и, как следствие, загрязнения водоема являются: высокий уровень донного илистого осадка, мутность воды, неприятный запах, периодические заморы рыб, неконтролируемое размножение фитопланктона.

По материалам наблюдения ФГУ «УЭ Горьковского водохранилища» за состоянием дна и берегов Горьковского водохранилища, насчитывается порядка 40 фактически отшнурованных рек боковой приточности, из них 25 ручьев.

Для сохранения экосистемы водного объекта, восстановления кислородного режима и механизмов биологического самоочищения, улучшения гидрологического режима, сохранения водности водохранилища, а также восстановления параметров морфометрических характеристик возникает острая необходимость проведения работ по расчистке Горьковского водохранилища и отшнурованных устьевых участков рек боковой приточности.

Учреждением ежегодно вносятся предложения в материалы бюджетных проектов для финансирования за счет средств федерального бюджета в рамках федеральных целевых программ.

Наблюдения за состоянием дна

Для предупреждения возникновения чрезвычайных ситуаций вследствие подтопления прилегающих территорий; изменения основных русловых форм (заиление, занесение и зарастание); охраны и экологической реабилитации водохранилища, Учреждением выполняются измерения на 33-х поперечных створах, в том числе в границах: Ярославской области – 8, Костромской области – 8, Ивановской области – 6, Нижегородской области – 11.

Местоположение створов с твердой географической привязкой выбирается, исходя из морфометрических особенностей участков водохранилища, на которых возможно образование заторных, зажорных явлений, а также наблюдается процесс отшнуровывания рек боковой приточности. Наблюдаемые параметры включают: географические координаты, глубина (м), температура воды (°С), скорость течения (м/мин).

Рекогносцировочное обследование выполняется при помощи эхолотационного оборудования – эхолота Lowrance, оснащенного узкоспециализированным гидролокатором со специальным модулем - структурсканером. Перед началом проведения рекогносцировочного обследования в Яндекс-картах формируется маршрут движения, который содержит сведения о подпорах рек боковой приточности, легитимных водопользователях (по данным 2,5-ГВР), затопленные и полузатопленные плавсредства и их части, створы наблюдений за состоянием дна. Получившиеся карты преобразуются в формат grx и переносятся в эхолоты (фото 1).



Фото 1. Рекогносцировочное обследование эхолотом Lowrance

В период проведения обследования наглядно выявляются нелегитимные водопользователи, границы проведения обследования по рекам боковой точности. При наблюдении за состоянием дна в маршруте движения по уже сформированным трекам происходит запись эхограммы.

Эхограмма с эхолота преобразуется с помощью компьютерных программ Sonar Viewer 2.1.2 и Global Mapper v17.0 в файл формата CVC, на основании которого с использованием программы AutoCAD Civil 3D выстраивается графическое изображение профиля дна обследуемого участка, а при помощи программного обеспечения ReefMaster создаются собственные карты с глубинами.

Структурсканер дает возможность исследовать структуру дна в трехмерном изображении. Данные измерения позволяют определить толщину залегающих древхлама, а также определить наличие посторонних предметов на дне водохранилища.

Наблюдения за состоянием берега

Наблюдения за изменением берега осуществляются с целью определения необходимости проведения мероприятий по стабилизации береговой полосы, сохранения прибрежных территорий и защиты водохранилища от загрязнений.

Учреждением определены 39 участков, на которых установлены 119 пунктов наблюдения, в том числе: 13 участков в Ярославской области – 51 пункт, 8 участков в Костромской области – 25 пунктов, 11 участков в Ивановской области – 29 пунктов, 7 участков в Нижегородской области – 14 пунктов.

Пункты наблюдения за береговыми деформациями установлены в местах расположения инженерных, жилых и хозяйственных объектов в целях своевременного предупреждения угрозы разрушения. Пункт имеет планово – географическую привязку к стационарным сооружениям (здания, опоры ЛЭП, репера).

Визуально-инструментальное наблюдение осуществляется при помощи геодезического оборудования - теодолита VEGA TEO-20 и тахеометра Sokkia CX105L. Полученные данные при помощи тригонометрических формул обрабатываются, определяются наблюдаемые параметры, на основании которых выстраивается графическое изображение поперечного профиля обследуемого участка берега с использованием программы AutoCAD Civil 3D (фото 2).



Фото 2. Визуально-инструментальное наблюдение

Результаты

По результатам проведенных обследований полученные данные камерально обрабатываются, проводится сравнительный анализ с предыдущими периодами (фото 3).

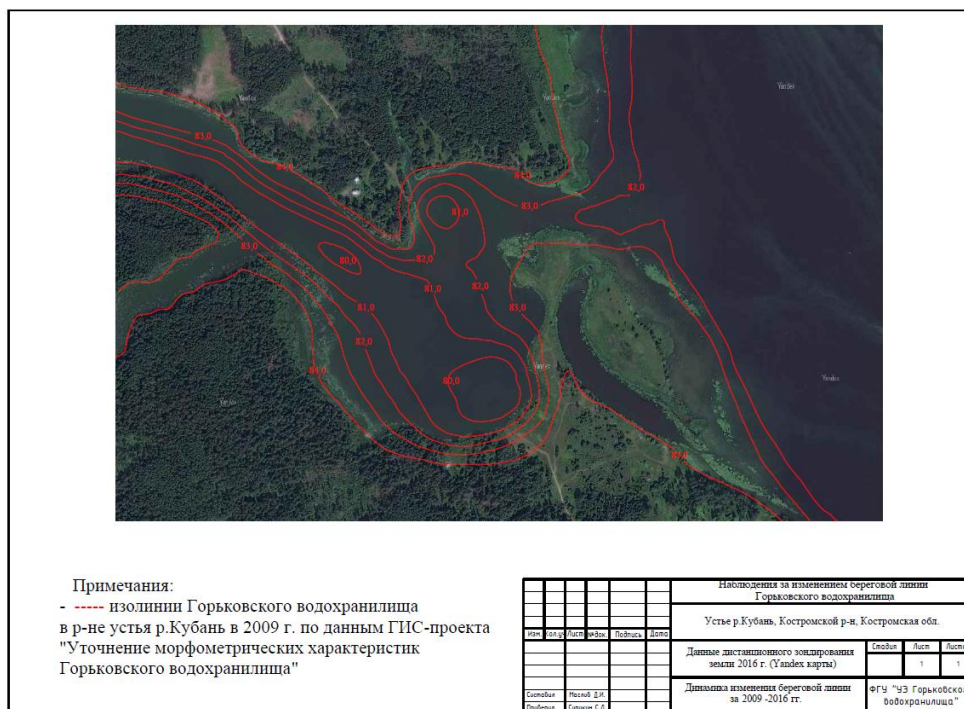


Фото 3. Наложение данных ДЗЗ

Результаты преобразуются в поперечные профили, формируются в табличные формы информационных бюллетеней и заносятся в Автоматизированную информационную систему государственного мониторинга водных

объектов – АИС ГМВО – с целью ведения мониторинга и внесения предложений в федеральные целевые программы для предотвращения загрязнения, засорения и истощения Горьковского водохранилища и рек боковой приточности, а также уменьшения площади мелководий.

Таблица 3

Данные о состоянии дна водных объектов информационного бюллетеня за 2018 г.

Наименование и код водного объекта	Положение пункта (участка) наблюдений	Виды наблюдений	Период наблюдений	Характерные формы рельефа, местоположение, относительное превышение	Изменение рельефа, ΔZ м/год	Значение для гидрологического режима, русловых и других процессов в водном объекте	Инородные объекты на дне		
							Вид объекта	Размер	Потенциальная опасность
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Код (00.00.00) и наименование гидрографической единицы - 08.01.03 Волга ниже Рыбинского водохранилища до впадения Оки									
Код (00.00.00) и наименование водохозяйственного участка - 08.01.03.004 Волга от г. Кострома до Горьковского г/у (Горьковское в-ще) без р. Унжа									
Наименование субъекта Российской Федерации - Нижегородская область									
Горьковское водохранилище КАС ВОЛГА	р. Ломня 779 км с.х., л.б. <i>Поперечник I-I</i> н. N57°15'03.36" E43°13'01.31" к. N57°15'58.18" E43°13'28.71"	Определение изменения дна (занесение, заиление) водохранилища	В зависимости от интенсивности занесения. Не реже 1 раза в год	*ср. глубина -2.5 м * песок средней крупности	Изм. нет		-	-	-
	Вашкинский залив (руч. Троица) 834 км с.х., пр.б. <i>Поперечник I-I</i> н. N56°47'00.48" E43°14'00.37" к. N56°47'13.30" E43°13'59.26"			*ср. глубина -2.5 м * песок средней крупности			Изм. нет	-	-

Изменения рельефа дна показывают динамику около 10 см в год, за исключением участков гидромеханической и механической расчистки (объекты расчистки участков Горьковского водохранилища).

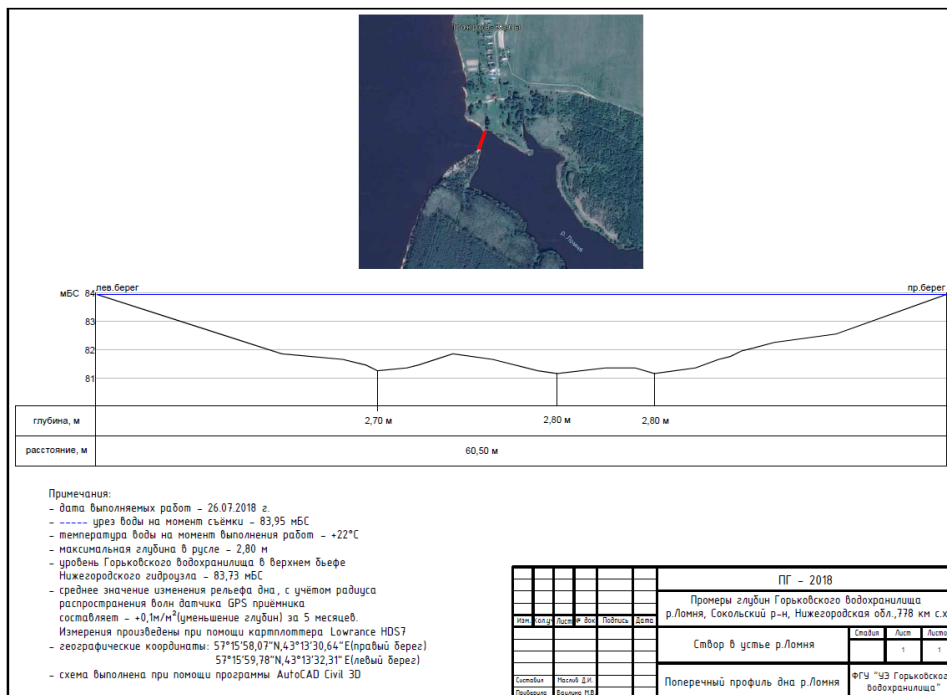


Фото 4. Поперечный профиль дна

При выполнении функции заказчика-застройщика при помощи структурсканера осуществляется контроль за выполненными объемами работ Подрядчиков, соответствие участков и глубин проектно-сметной документации.

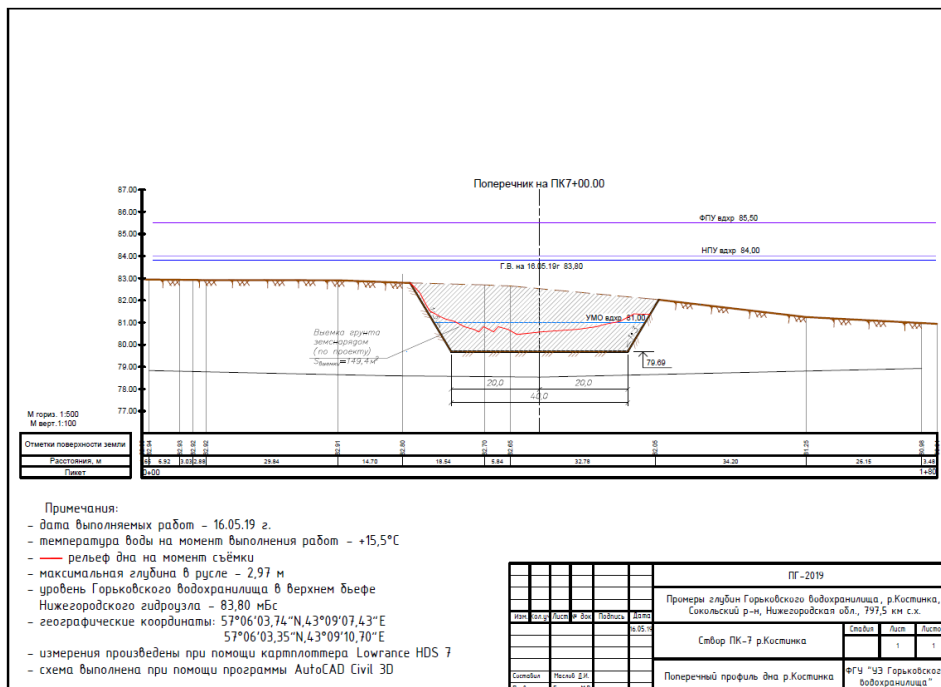


Фото 5. Сравнение фактических показателей выполнения работ Подрядчиком с проектными показателями

Средняя переработка берега составляет 0.1 м в год. Наиболее интенсивное переформирование берегов отмечается на участках в границах Нижегородского водохранилища.

родской области - н.п. Покров - Валы – 0,63 м, н.п. Стрелка – 0,45 м., н.п. Копытово - 0,5 м.; Ивановской области - н.п. Козлятьево – 1,1 м.

Таблица 4

Характеристика берегов водных объектов за 2018 г.

Наименование и код водного объекта	Положение створа (участка) наблюдений	Виды наблюдений, период проведения наблюдений	Изменение положения береговой линии, за период наблюдений, Δx , м (для водных объектов на которых осуществляются регулярные наблюдения - средняя скорость изменения положения береговой линии, м/год	Площадь подтопленных участков, S м ² и ее изменение ΔS м ²	Площадь заболоченных участков, S м ² и ее изменение ΔS м ²	Причины (процессы в водном объекте, водоохранных зонах и на водосборной территории)	Последствия и потенциальная опасность
Код (00.00.00) и наименование гидрографической единицы - 08.01.03 Волга ниже Рыбинского водохранилища до впадения Оки							
Код (00.00.00) и наименование водохозяйственного участка - 08.01.03.004 Волга от г. Кострома до Горьковского г/у (Горьковское в-ще) без р. Унжа							
Наименование субъекта Российской Федерации - Нижегородская область							
Горьковское водохранилище КАС ВОЛГА	н.п. Сокольское 792 км с. х., лев. б; Координаты: N 57°08'46.08" E 43°09'19.98"	1. Определенные изменения положения береговой линии, динамики и интенсивности переработки берегов. 2. В зависимости от водохозяйственной обстановки на водохранилище и интенсивности переработки, но не менее 2-х раз в год.	0,05	-	S = 2699400 м ²	Основным фактором переработки берегов служат русловые, ветроволновые и ледовые процессы, геологическое строение склонов, современная хозяйствующая деятельность в водоохранной зоне Горьковского водохранилища	Ущерб окружающей среде, загрязнение продуктами эрозии, материальный ущерб, вследствие нарушения жизнедеятельности человека
	н.п. Юркино 804,5 км с. х., лев. б; Координаты: N 57°02'18.18" E 40°10'3.36"		0,3				
	н.п. Копытово 812,0 км с. х., лев. б; Координаты: N 56°59'37.20" E 43°13'59.16"		0,5				
	н.п. Стрелка 813,5 км с. х., лев. б; Координаты: N 57°01'41.40" E 43°11'48.00"		0,45				

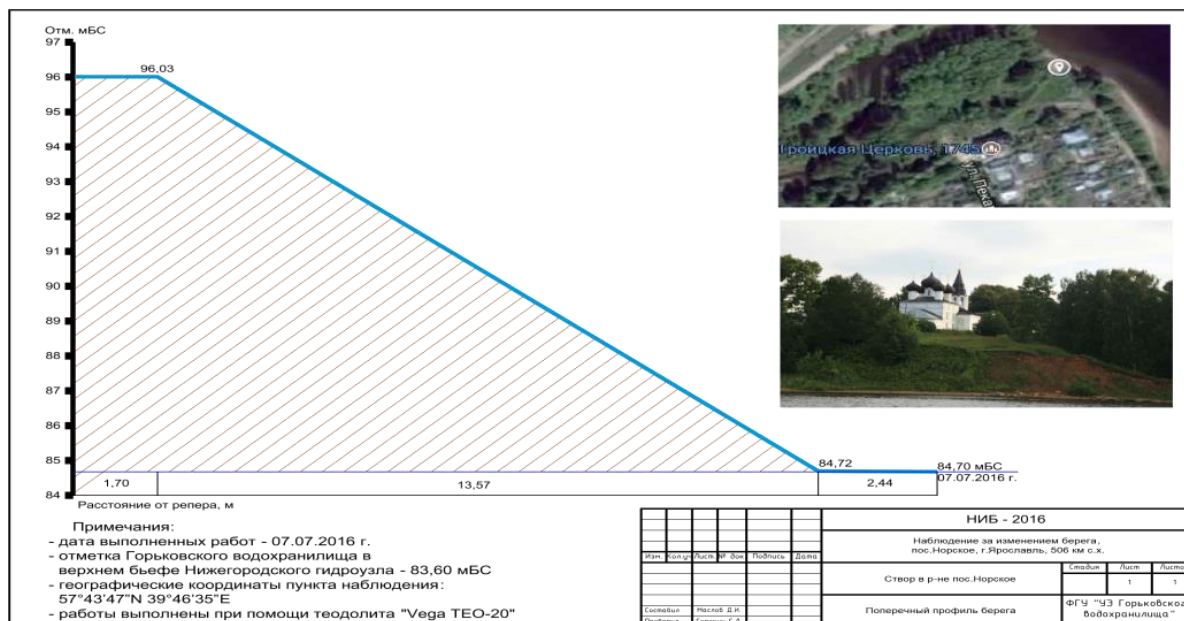


Фото 6. Поперечный профиль берега

Полученная информация обобщается, анализируется и предоставляется (в виде отчетов) в Верхне-Волжское бассейновое водное управление Федерального агентства водных ресурсов с целью ведения мониторинга и внесения предложений в федеральную целевую программу и национальный проект «Экология» по восстановлению морфометрических характеристик и предотвращению загрязнения, засорения и истощения Горьковского водохранилища и рек боковой приточности, а также уменьшения площади мелководий.

© Костров А.В., 2019

ОЦЕНКА МИКРОПЛАСТИКОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ И ОЗЕР – НЕОБХОДИМЫЙ ЭЛЕМЕНТ СОВРЕМЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Поздняков Ш.Р., Иванова Е.В., Гузева А.В., Ревунова А.О., Тихонова Д.В.

Институт озераведения РАН, г. Санкт-Петербург

E-mail: tbgmaster@mail.ru

Аннотация. Негативное антропогенное воздействие на водные объекты в настоящее время характеризуется все более значительными объемами загрязнения пластиком. До последнего времени основные исследования этого типа загрязнения проводились, в основном, в Мировом океане. В то же время для обеспечения экологической безопасности людей требуется изучение состава и поведения частиц микропластика в водах пресных водных объектов – в озерах и водохранилищах как основных внутриконтинентальных приемниках данного вида загрязнений.

Ключевые слова: микропластик, пластик в мировом океане, внутриконтинентальные водные объекты.

ESTIMATION OF MICROPLASTICS POLLUTION IN LAKES AND WATER RESERVOIRS AS AN IMPORTANT PART OF CURRENT ECOLOGICAL MONITORING

Pozdnyakov Sh.R., Ivanova E.V., Gyzeva A.V., Revynova A.O., Tihonova D.V.

Institute of limnology RAS

E-mail: *tbgmaster@mail.ru*

Abstract. Now, negative anthropogenic impact on water bodies is characterized by more significant volumes of plastics pollution. Many different investigations of this problem have been done mostly in the World, ocean. Meanwhile, for the reasons of people's ecological safety it is necessary to research into microplastics particles content and behavior in fresh water systems – in lakes and water reservoirs as main inland receiving water bodies for this kind of pollution.

Key words: microplastics, plastic in the World Ocean, inland water bodies.

Производство изделий из пластика имеет почти двухсотлетнюю историю. За это время объемы их изготовления росли в геометрической прогрессии. При этом большая часть изделий из пластика являются одноразовыми и очень быстро оказываются в окружающей среде в виде бытовых или промышленных отходов. Негативное влияние данного вида отходов на природную среду усиливается по мере их измельчения под влиянием различных физико-химических факторов среды. При этом, в отличие от отходов, подверженных биоразложению, пластик распадается на мелкие частицы, сохраняя полимерную структуру. В конечном счете, измельченные частицы попадают в водные объекты. Кроме того, частицы микропластика, входящие в составы различных косметических и моющих средств, попадают в водотоки и водоемы через канализационные сети. Частицы микропластика оказываются также в воде в результате стирки синтетических тканей. Вся эта масса частиц пластика оказывается в терминальных водоемах – внутриконтинентальных водохранилищах и озерах и, в конечном счете, в Мировом океане. В настоящее время данный процесс привел к образованию 6-ти огромных скоплений пластикового мусора в океанских водах, носящих название «мусоровороты», каждый из которых связан с одной из основных систем глобальных океанических течений (рис. 1) [7, 4].

В последние годы был проведен ряд исследований о негативном физическом воздействии пластикового мусора на морских обитателей [8, 9]. Кроме того, микропластик в водных объектах имеет тенденцию обрастать биопленкой, сорбирующей на себе токсичные вещества из водной толщи, а также

служащей средой для размножения колоний микроорганизмов, в том числе патогенных [5, 6].

Первоначально ситуация с новой экологической проблемой – загрязнением пластиковым мусором – исследовалась на морских акваториях и Мировом океане. В то же время следует констатировать, что основная масса пластика поступает в Мировой океан с суши, и доминирующими транспортерами его являются реки. В свою очередь, имеющиеся в бассейнах этих рек озера и водохранилища являются временными или конечными накопителями данного вида загрязнений.



Рис. 1. Основные районы скопления пластикового мусора в Мировом океане

С учетом того факта, что большинство водохранилищ используются как источники питьевого водоснабжения населения, актуальность и важность исследования данной проблемы становится очевидной. При этом наибольшую важность представляют исследования микропластикового загрязнения (т.е. частицами менее 5 мм). Связано это с тем, что с одной стороны, такие частицы пластика являются наиболее опасными, с точки зрения потенциальной способности переноса загрязнений при проникновении в живые организмы, причем степень опасности увеличивается с уменьшением их размеров [1, 2]. С другой стороны, мельчайшие частицы являются наименее изученными, поскольку требуют для исследований высокотехнологичных методик, находящихся зачастую в стадии разработки.

В настоящее время в Институте озероведения РАН организованы целенаправленные исследования микропластикового загрязнения в континентальных

водоемах. На первом этапе работ в качестве методической основы для сравнения результатов исследований использована методика NOAA [3], с некоторой корректировкой и модернизацией для ее возможного использования в специфических условиях водных объектов суши. В рамках данной методики разработана система отбора проб воды с использованием специального оборудования, исключающая попадание посторонних пластиковых фрагментов (рис. 2). Таким образом, обеспечивается необходимая корректность выполнения отборов проб воды.

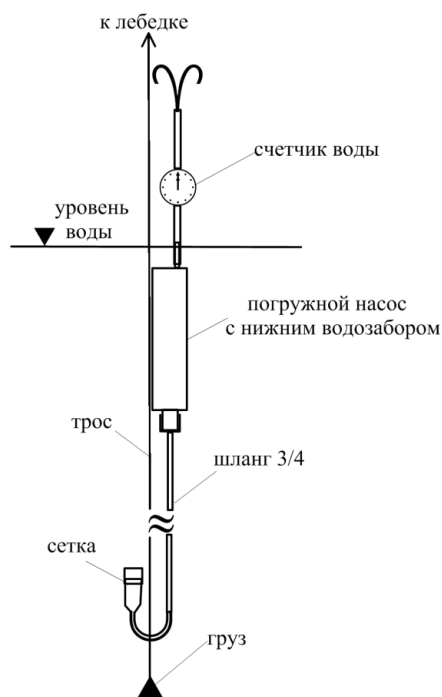


Рис. 2. Схема устройства для отборов проб воды для определения содержания микропластика

Отобранные пробы анализируются на оптическом микроскопе для выделения частиц, предварительно идентифицируемых как пластик. Дальнейший анализ выполняется с использованием ИК и Рамановской спектроскопии для получения информации о химическом составе частиц.

Предварительные результаты работ по отбору и идентификации микропластиковых частиц в водной толще, выполненных ИНОЗ РАН на Куйбышевском и Волховском водохранилищах, подтвердили их наличие во всех пробах. Предварительный анализ был проведен при помощи оптического микроскопа. В качестве примера на рис. 3 и 4 показаны фрагменты проб воды с обнаруженными микропластиковыми частицами в районе гг. Зеленодольск и Казань на Куйбышевском водохранилище.

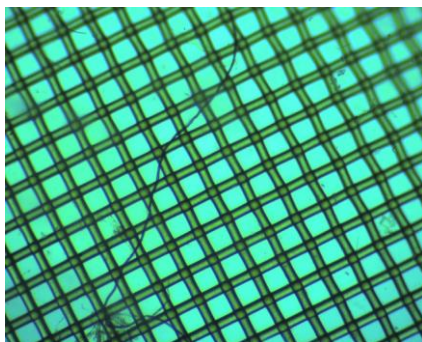


Рис. 3. Нитевидные фрагменты пластиковых частиц в пробе воды в районе г. Зеленодольска на Куйбышевском водохранилище

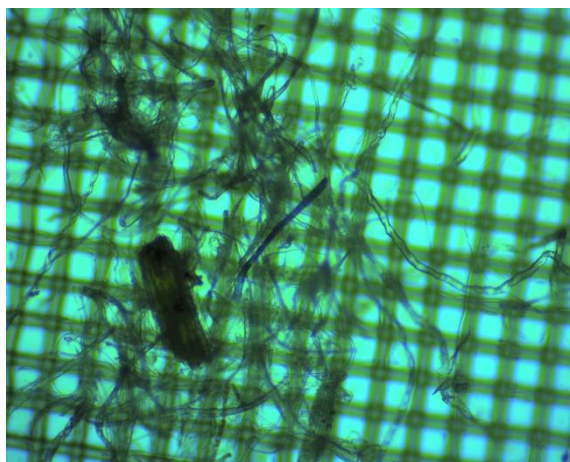


Рис. 4. Нитевидные фрагменты пластиковых частиц в клубках из водорослей в пробе воды в районе г. Казань на Куйбышевском водохранилище

Проведенные исследования показали наличие микропластика во всех отобранных пробах. К сожалению, до последнего времени такие исследования на водохранилищах Российской Федерации не проводились, и данный вид загрязнения никак не учитывался ни при оценке экологического состояния водных объектов, ни при процедурах водоподготовки. Особую значимость исследованиям распространения микропластиковых частиц в условиях водохранилищ придает тот факт, что при относительно небольших глубинах, сложной многофакторной системе течений и большому количеству потенциальных источников поступления данного вида загрязнений, их концентрации в районах водозаборов могут достигать значительных величин. Это необходимо учитывать при организации современных систем водоподготовки. Таким образом, организация оценки микропластикового загрязнения водных объектов в районе водозаборов на водохранилищах становится необходимым и важным элементом экологического мониторинга.

Работа выполнена в рамках темы № 0154-2019-0003 (№ государственной регистрации АААА-А19-119031890107-2) Государственного задания ИНОЗ РАН. Авторы выражают благодарность Р.Р. Шагидуллину и сотрудникам Института проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан за организацию работ по отбору проб воды на акватории Куйбышевского водохранилища.

Список литературы

1. Поздняков Ш.Р. Проблемы расчета и измерения характеристик наносов в водных объектах. СПб, изд-во «Лема», 2012. 226 с.
2. Румянцев В. А., Крюков Л.Н., Поздняков Ш.Р., Рыбакин В.Н. Природные и техногенные нанообъекты Ладожского озера // Общество. Среда. Развитие, 2010. № 3. С.229-233.
3. Chubarenko I. Microplastics migrations in sea coastal zone: Baltic amber as an example. MICRO 2016. Fate and impact of Microplastics in Marine ecosystems. From the Coastline to the Open Sea, T.1. С.16
4. Eriksen M, Lebreton LCM, Carson HS, Thiel M, Moore CJ, Borerro JC, et al. (2014) Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. PLoS ONE 9(12): e111913. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111913>
5. Kirstein IV, Wichels A, Gullans E, Krohne G, Gerdt G (2019) The Plastisphere – Uncovering tightly attached plastic “specific” microorganisms. PLoS ONE 14(4): e0215859. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215859>
6. Kirstein I., Kirmizi S., Wichels A., Garin-Fernandez A., Erler R, Löder M, Gerdt G. Dangerous hitchhikers? Evidence for potentially pathogenic *Vibrio* spp. on microplastic particles. Marine Environmental Research, 2016; 120: 1
DOI: 10.1016/j.marenvres.2016.07.004
7. Seville E., England M., Froyland G. Origin, dynamics and evolution of ocean garbage patches from observed surface drifters. Environmental Research Letters, Vol. 7. № 4, 2012.
8. Tanaka K, Takada H, Yamashita R, Mizukawa K, Fukuwaka M, et al. (2013) Accumulation of plastic-derived chemicals in tissues of seabirds ingesting marine plastics. Mar. Pollut. Bull. 69:219–222.
9. Teuten E, Saquing J, Knappe D, Barlaz M, Jonsson S, et al. (2009) Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. Philos. Trans. R. Soc. Lond on Biol. Sci. 364:2027–2045.

© Поздняков Ш.Р., Иванова Е.В., Гузева А.В.,
Ревунова А.О., Тихонова Д.В., 2019

ОЦЕНКА ПОТЕРЬ ЗЕМЛИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОНИТОРИНГА ВОДООХРАННОЙ ЗОНЫ ЦИМЛЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Скрипка Г.И., Сапрыгин В.В., Филатов А.А.

Российский информационно-аналитический и научно-исследовательский
водохозяйственный центр, г. Ростов-на-Дону

E-mail: skripka.grisha@yandex.ru

Аннотация. Проведены исследования возможности использования беспилотных летательных аппаратов (БЛА) для определения границ и площади участков земли, утраченной при разрушении берегов водохранилища в результате активизации экзогенных геологических процессов (ЭГП). Проведено сравнение результатов оценки потери земель на основании данных государственного мониторинга водных объектов (ГМВО) и материалов, полученных с помощью БЛА. Показано существенное увеличение точности и достоверности оценки, осуществлённой по материалам наблюдения с БЛА.

Ключевые слова: мониторинг состояния берегов, потеря земель, беспилотный летательный аппарат, взаимное позиционирование ортофотопланов, Цимлянское водохранилище.

ASSESSMENT OF LAND LOSSES BASED ON MONITORING OF THE TSIMLYANSK RESERVOIR SHORES USING PILOTLESS AIRCRAFTS

Skripka G.I., Saprygin V.V., Filatov A.A.

Russian Information Analytical and Research Water Economy Center, Rostov-on-Don

Abstract. The research into possibility to use pilotless aircrafts (PLA) to determine the boundaries and the area of land lost during the destruction of the reservoirs shores as a result of the activation of exogenous geological processes (EGP). A comparison of the results of land loss assessment based on the data of the state monitoring of water bodies (SMWB), and materials obtained with the help of PLA is carried out. A significant increase in the accuracy and reliability of the evaluation carried out on the basis of PLA observation materials is shown.

Keywords: coast state monitoring, land loss, pilotless aircrafts, mutual positioning of orthophotos, Tsimlyansk reservoir.

Постановка проблемы. Берега крупных и средних водохранилищ, и прежде всего берега, абразионных типов относятся к неустойчивым, быстроменяющимся типам рельефа, стабилизация которых требует длительный период времени [1]. Принятие адекватных решений по осуществлению хозяйственных и водоохраных мероприятий, требует наличия объективной информации о характере, размерах и скоростях изменений, происходящих в прибрежной зоне водохранилищ.

Используемые сегодня для этих целей материалы наблюдения за изменением положения бровки коренных берегов водохранилищ по стационарным створам наблюдательной сети ГМВО не могут обеспечить получения достоверной информации прежде всего, по следующим причинам:

– достоверность информации обеспечивается только по линиям створов, а величина смещения бровки берега между ними, определяемая как среднеарифметическое смещение по соседним створам, может существенно отличаться от реального значения;

– величина несоответствия реального изменения положения бровки берега средним значениям особенно велика на участках с дискретным по простиранию и во времени характером активизации процессов берегоформирования.

Ранее нами была показана возможность использования для определения величины смещения бровки берегового уступа материалов, полученных с помощью беспилотных летательных аппаратов БЛА [2], что значительно расширяет возможности мониторинга состояния берегов водных объектов, включая количественные оценки происходящих изменений.

Цель настоящего исследования – показать возможность определения с помощью БЛА площади земли, утраченной в результате абразионной деятельности, и сравнить полученные результаты с оценкой, выполненной по данным ГМВО.

Материалы и методы

Исследования проводились на 4-х участках берегов Цимлянского водохранилища абразионного типа, выбор которых обусловлен следующими обстоятельствами:

– все участки оборудованы створами сети ГМВО, обеспечивающими наблюдение за изменением положения кромки коренного берега в местах расположения жилых домов и хозяйственных объектов;

– на протяжении последних 7 лет по большинству створов не наблюдалось значительных смещений бровки берегового обрыва;

– шторм в мае 2018 г. при НПУ привел к резкой активизации абразии;

– по данным участкам выполнены обследования с использованием БЛА до и после шторма в мае 2018 г., по результатам которых построены ортофотопланы для взаимного позиционирования.

Площадь размытых участков по результатам государственного мониторинга определялась, как произведение среднеарифметического значения величины смещения бровки берегового обрыва, рассчитанного по группам

сближенных створов, и протяжённости выбранного интервала. Оценка проведена для интервалов, соответствующих расстоянию между крайними створами, расположенными на участке, и для интервалов берега, для которых выполнено построение разновременных ортофотопланов.

Определение площади по материалам фотосъёмки с БЛА производилось с помощью инструментария ArcGis, после взаимного позиционирования ортофотопланов [2]. Результаты выполненных расчётов, а также номера створов наблюдения сети ГМВО, максимальные и минимальные значения смещения линии берегового уступа по каждому участку, определённые по результатам государственного мониторинга и материалам, полученным с использованием БЛА, приведены в табл. 1.

Результаты исследований.

Участок в районе х. Овчинников

Послештормовое обследование проведено на участке от правого мыса Харсеевского залива до с-з окраины ст. Жуковская. Берег разрушен как в границах х. Овчинников, для защиты которого от размыва в 2007 г. были построены берегозащитные сооружения, так и на незащищённом интервале между х. Овчинников и ст. Жуковская.

В данной работе мы ограничимся рассмотрением деформации берегового уступа только на незащищенном участке побережья. Оценить масштабы разрушения берега на этом участке по данным ГМВО невозможно, поскольку в 2007 г. расположенные в х. Овчинников створы наблюдательной сети были демонтированы и до настоящего времени не восстановлены.

Для осуществления взаимной "привязки" разновременных ортофотопланов в качестве опорных точек было выбрано 9 стационарных антропогенных объектов на территории х. Овчинников и ст. Жуковская, и один природный объект.

Материалы, полученные с помощью БЛА, показали, что отступление берега на интервале, протяжённостью около 1600 м составило от 5 до 12 м. В целом новая линия берегового обрыва повторяет рисунок старого обрыва, в том числе все крупные изгибы, но отличается обилием мелких изгибов, тогда как у "доштормового" берега они были сглажены волновой деятельностью.

Площадь размыва неукреплённого участка берега между х. Овчинников и ст. Жуковская, определённая по материалам дистанционного зондирования, составила 20524 м².

Участок в районе ст. Кривская.

Оценивалось изменение положения бровки берегового обрыва на интервале протяжённостью 2250 м от балки Крестовая до Кривского убежища. Наблюдательная сеть ГМВО на этом участке представлена тремя створами, расположенными на северо-восточной окраине ст. Кривская. Расстояние между крайними створами составляет 86 м. На западном фланге участка РосИНВХЦ в 2017 г. установлено три специальных репера для наблюдения с БЛА, которые были использованы для измерения величины смещения бровки берегового обрыва и взаимного позиционирования разновременных ортофотопланов. Кроме специальных реперов, совмещение ортофотопланов осуществлялось по стационарным хозяйственным объектам в ст. Кривская.

По данным ГМВО, в 2018 г. в результате обрушения берегового обрыва его бровка сместилась на расстояние от 0,3 до 1,1 м. Среднее смещение по данной группе створов составило 0,8 м. Площадь потерь земли, рассчитанная, исходя из средних значений отступления бровки обрыва, составит для интервала между створами сети ГМВО - 70 м², а для всего оцениваемого нами участка - 1800 м².

Обследования, выполненные с помощью БЛА, показали, что разрушение берега не являлось повсеместным, а носило блоковый характер. Центральная часть участка протяжённостью более 1200 м вообще не затронута нарушениями. Наиболее значительные изменения положения берегового обрыва произошли на интервале, примыкающем к Кривскому заливу. Три крупных блока пород обрушились и на крайнем западе участка. Большая часть блоков имеет линзовидную форму. По створам сети ГМВО зафиксировано обрушение только 2-х относительно небольших блоков, при этом замеры проведены в местах их выклинивания.

Выполнение взаимного позиционирования разновременных ортофотопланов позволило установить границы всех более или менее крупных блоков пород, обрушившихся за рассмотренный временной интервал, и определить площади каждого из них и суммарную площадь утраченных земель (табл. 1).

С целью оценки последствий шторма для указанных населённых пунктов проведено взаимное позиционирование ортофотопланов, построенных по материалам съёмки с БЛА, выполненной в мае 2017 г. и в сентябре 2018 г. Наземные наблюдения на данной территории показывают, что значительных изменений положения бровки берегового уступа за рассматриваемый период ни до шторма в конце мая 2018 г., ни после его прохождения не происходило. Поэтому результаты, полученные по материалам указанных полётов БЛА, в целом, соответствуют величине отступления берега вследствие шторма.

Специальная реперная сеть на территории Котельниковского района не создавалась, поэтому в качестве опорных точек для взаимного позиционирования разновременных ортофотопланов использовались стационарные антропогенные объекты.

В ст. Нагавская оценен участок побережья, простирающийся на 1150 м в северо-восточном направлении от водозабора на хозяйственно-питьевые нужды населения НТО "Нагавское". Своры ГМВО расположены в центральной части интервала на расстоянии 460 м друг от друга. Средняя величина отступления бровки коренного берега по ним за рассматриваемый период – 6,52 м (табл. 1). Рассчитанная, исходя из этого показателя, площадь утерянных земель для интервала между створами составила 2999 м², а для всего обследованного участка – 7498 м².

Анализ разновременных ортофотопланов показал, что разрушению подверглось всё побережье в границах станицы. При движении с запада на восток наблюдается постепенное увеличение средней ширины полосы размыва от 1 до 10 м. В приустьевых частях балок, впадающих в водохранилище, она возрастает до 30 м. Площадь утраченных при размыве земель для интервала между створами сети ГМВО составила 4410 м², а для всего участка – 9615 м².

На территории х. Весёлый оценка произведена для участка побережья протяжённостью 2200 м, расположенного между водозабором МУП "Весёловское" и водозабором на питьевое водоснабжение г. Котельниково МУП "Водоканал".

Два створа сети ГМВО находятся на юго-западе участка, на расстоянии 300 м друг от друга, фиксируя разрушение берега в границах хутора и в непосредственной близости от водозабора МУП "Весёловское". По первому из них, в результате шторма, произошло отступление коренного берега на 13,11 м, сопровождавшееся разрушением части хозяйственных объектов частного домовладения. По второму створу за этот же период отмечено смещение бровки берегового уступа всего на 6 см. Среднее значение отступления берега, принятое для расчета площади утраченных земель, составило 6,58 м. Наблюдения, выполненные с БЛА, показали, что, как и в ст. Нагавская, берег подвергся разрушению на всём протяжении рассматриваемого интервала. Но глубина размыва по простирацию берега заметно варьирует от 15 см до 18 м.

Площади земель, утерянные в результате абразионной деятельности, рассчитанные по средним значениям показаний ГМВО и по данным наблюдений с БЛА (табл. 1) разнятся на 30-50 %, что аналогично расхождению результатов расчётов, полученных для района ст. Нагавская.

Таблица 1

Оценка площади земель на побережье Цимлянского водохранилища, утраченной за период с 09.2017 по 09.2018

Площадь земли, потерянной в результате абразивной деятельности моря, для которой определены границы участка	Протяжённость интервала, для которого определены границы участка	Параметры и характеристики	ед. измер.	Участки				х. Весёлый	
				Харсеевский залив – ст. Жуковская	ст. Кривая	ст. Нагавская	ст. Ростовская		
Величина отступания бровки берегового уступа	Номера створов наблюдательной сети ГМВО	по данным ГМВО	м	Ростовская обл.: 26; 27	Ростовская обл.: 16; 17; 18	Волгоградская обл.: 22; 23	Волгоградская обл.: 20; 21		
				0	0,3	5,79	0,06		
				0	1,1	7,24	13,11		
		по материалам наблюдения с БЛА	м	средняя	0	0,8	6,52	6,58	
				минимальная	0	0	0,2	0,15	
				максимальная	21,0	до 8	30	18	
		Площадь земли, потерянной в результате абразивной деятельности моря, для которой определены границы участка	расчёт по материалам ГМВО	средняя	м	10,5	не рассчитывалась	15,1	9,07
				между крайними створами, расположенными на интервале	м	40	86	около 460	около 300
				оцененного по материалам, полученным с помощью БЛА	м	1600 (незащищённый участок берега)	2250	около 1150	около 2200
				расчёт по материалам ГМВО	м ²	нет данных	70	2999	1974
Площадь земли, потерянной в результате абразивной деятельности моря, для которой определены границы участка	расчёт по материалам ГМВО	на интервале между створами	м ²	нет данных	1800	7498	14476		
		на интервале, обследованном с БЛА	м ²	нет данных	88	4410	2550		
		на интервале между створами	м ²	не определялось	2846	9615	22025		
		на интервале, обследованном с БЛА	м ²	20524	2846	9615	22025		

Выводы

Сравнение результатов анализа данных наблюдений в сети ГМВО и материалов, полученных с помощью БЛА, позволяет сделать следующие выводы:

1. Использование данных ГМВО для оценки потерь земельного фонда может привести к существенному искажению как в сторону увеличения, так и уменьшения площади утраченных земель.

2. Применение БЛА, при наличии достаточного количества опорных точек, позволяет проследить изменение положения бровки коренного берега на всём протяжении обследованного интервала.

3. Материалы, полученные с помощью БЛА, могут быть использованы для определения с высокой степенью точности места, границы, формы и площади участков земли, разрушенных в результате активизации ЭГП в береговой зоне.

4. Наличие достоверной информации о деформациях границы коренного берега в результате ЭГП повышает объективность оценки ущерба от разрушения берегов и надёжность прогноза развития процессов берегоформирования.

Список литературы

1. Соболев И.С., Хохлов Д.Н., Красильников В.М. Исследование переформирования берегов водохранилищ Волжского каскада. // В сб.: Великие реки'2016. Тр. науч. конгр. 18-го Междунар. науч.-пром. форума: в 3-х томах. Нижегородский гос. архит.-строит. ун-т; отв. ред. А. А. Лапшин. 2016. С. 281-284.
2. Скрипка Г.И., Беспалова Л.А., Ивлиева О.В., Сапрыгин В.В., Филатов А.А. Опыт использования беспилотных летательных аппаратов для мониторинга положения бровки высоких берегов водохранилищ. // Сб. материалов Всерос.науч.-практ. конф., г. Сочи, 08-14 октября 2018 г. В 2-х томах. Т. I. Новочеркасск: Лик, 2018. С. 298-305.

© Скрипка Г.И., Сапрыгин В.В., Филатов А.А., 2019

ОЦЕНКА ГУСТОТЫ ЭРОЗИОННОЙ СЕТИ ВОДООХРАННОЙ ЗОНЫ ЦИМЛЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ (БЛА) В ЦЕЛЯХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДОВ ГОСУДАРСТВЕННОГО МОНИТОРИНГА

Ивлиева О.В.^{1,2}, Беспалова Л.А.^{1,2}, Сердюк Л.В.²

¹РосИНИВХЦ, г. Ростов-на-Дону

²ЮФУ, г. Ростов-на-Дону

Аннотация. В статье представлены результаты апробирования 5 методов расчета густоты эрозионной сети водоохранной зоны Цимлянского водохранилища, базирующихся на использовании топографических карт разного масштаба и

материалов, полученных с беспилотных летательных аппаратов (БЛА). Описаны основные эрозионные формы, встречающиеся на исследуемой территории. Приведены результаты сравнения значений густоты эрозионной сети, полученных по разным картографическим материалам. Дан анализ полученных результатов.

Ключевые слова: густота эрозионной сети, водоохранная зона, беспилотный летательный аппарат (БЛА), топографическая карта, государственный мониторинг, Цимлянское водохранилище.

EVALUATION OF THE EROSION DENSITY NETWORK WATER PROTECTION ZONE OF THE TSIMLYANSK RESERVOIR WITH THE USE OF MODERN INFORMATION TECHNOLOGY AND UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAVS) TO IMPROVE METHODS OF STATE MONITORING

Ivlieva O.V.^{1,2}, Bespalova L.A.^{1,2}, Serdyuk L.V.²

¹Russian Information-Analytic and Research Water Economy Centre, Rostov-on-Don

²Southern federal university, Rostov-on Don

Abstract. The results of testing 5 calculation methods of erosion network density in the Tsimlyansk reservoir water protected zone that are based on using topographic maps of different scales and materials received from pilotless aircrafts (PLA) are presented in the article. The main erosion forms being found on the explored territory are described. The results of comparison between the values of erosion network density received on different cartographic materials are given. The analysis of the results obtained is presented.

Keywords: erosion network density, water protected zone, pilotless aircraft (PLA), topographic map, state monitoring, Tsimlyansk reservoir.

Постановка проблемы. Характер и интенсивность эрозионного расчленения территории водоохранной зоны водного объекта является важным параметром, в значительной степени определяющим возможности её хозяйственного освоения, состояние и тенденции изменения различных компонентов природных комплексов, интенсивность и объёмы выноса в водный объект материала разрушения берегов. В автоматизированной информационной системе государственного мониторинга водных объектов мониторинг эрозионной расчлененности, являющейся обязательным показателем [1], характеризуется густотой эрозионной сети (K) и определяется по формуле $K=L/P$, где L – длина эрозионной сети на площади P .

Нормативные документы Минприроды России, Росводресурсов не содержат методических указаний по определению величины K , не обозначены также требования к картографическому материалу, используемому для этих целей. Между тем, очевидно, что картографические материалы, в зависимости от масштаба, могут существенно отличаться по степени детализации отражённого на них рельефа.

Цель данного исследования – определить оптимальный тип картографических материалов для проведения оценки густоты эрозионной сети водоохраных зон водных объектов.

Материалы и методы. В 2017-2018 гг. ФГБУ в РосИНВХЦ апробировано пять методов расчёта густоты эрозионной сети, базирующихся на использовании топографических карт разного масштаба и материалов, полученных с беспилотных летательных аппаратов и проведено их сравнение по сходимости полученных результатов и трудоёмкости выполнения расчётов густой эрозионной сети.

Для проведения сравнительного анализа методических приёмов расчёта K было выбрано 5 участков водоохранной зоны Цимлянского водохранилища, отличающихся геологическим строением, степенью эрозионной изрезанности, положением в разных частях водохранилища и другими параметрами.

Определение значения K осуществлялось по цифровым моделям рельефа (ЦМР) и ортофотопланам, созданным в программе Agisoft PhotoScan Professional, на основе серий фотоснимков, выполненных беспилотным летательным аппаратом. ЦМР представлены изображением рельефа с помощью изогипс, построенных через 1 и 5 м, и картами высот, на которых положение изолиний рельефа изображается изменением цвета и его интенсивности. В качестве топографической основы для определения K были использованы несекретные варианты топографических карт масштаба 1:10000, представленных в отчётах по определению границ водоохранной зоны и прибрежной защитной полосы Цимлянского водохранилища (рис. 1). Определение морфометрических характеристик эрозионных форм рельефа осуществлялось по методике, описанной ранее в ряде публикаций [2-4].

Результаты исследований. Для водоохранной зоны Цимлянского водохранилища характерно разнообразие малых эрозионных форм, комбинации которых на различных участках исследуемой территории имеют заметные отличия. Обусловлено это слагающими водоохранные зоны горными породами, наличием растительности, величиной общего уклона склона участка водоохранной зоны и другими параметрами.

Основные эрозионные формы, встречающиеся на исследуемой территории:

– эрозионная борозда – первоначальная стадия формирования оврага – образуется в результате струйчатого размыва поверхности склонов. Ее ширина не превышает 0,5 м, глубина 0,1-0,4 м, длина – до десятков метров;

– рытвины (размоины) – ежегодно образующиеся линейные эрозионные формы глубиной до 0,5 м, шириной 0,5-1,0 м, обычно уничтожаются вспашкой;

– промоина – долина с обрывистыми и обнаженными склонами с резко выраженной бровкой. Глубина ее до 1,0-2,5 м, ширина – до 4-5 м, длина – 1,0-1,5 км. Является зачаточной формой оврага;

– овраги – крутосклонные углубления земной поверхности, развивающиеся под воздействием временных русловых водотоков. Глубина оврагов может достигать 40-50 м, ширина 150-300 м, длина 3-5 км;

– балка – сухая или с временным водотоком долина с задернованными склонами. Балки имеют полого-вогнутое дно, часто без выраженного русла, склоны выпуклые, плавно переходящие в водораздельные пространства. Длина балок обычно от сотен метров до 20-30 км, глубина – от нескольких до десятков метров, ширина - до сотен метров. Склоны и донья задернованы и нередко, особенно в приустьевых частях, покрыты кустарником или лесом.

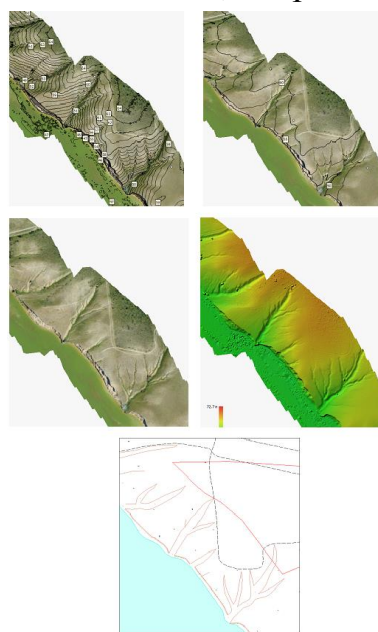


Рис. 1. Картографические материалы, использованные для оценки густоты эрозионной сети. 1 – ЦМР с изогипсами через 1 м; 2 – ЦМР с изогипсами через 5 м; 3 – ортофотоплан; 4 – ЦМР, карта высот; 5 – несекретный вариант топоосновы, М 1:10000

Для каждого из обследованных участков определялась протяжённость тальвегов всех, перечисленных выше и присутствующих на его территории эрозионных форм. Тальвеги балок и оврагов уверенно фиксируются практически на всех видах материалов, использованных нами для оценки густоты эрозионной сети. Исключение составили несекретные варианты топографических карт масштаба 1:10000, на которых не всегда были показаны даже достаточно крупные формы эрозионного рельефа. По возможности выявления промоин, рытвин и особенно борозд разные виды ЦМР и ортофотопланы

заметно различаются, что приводит к изменению величины K (табл. 1) густоты эрозионной сети.

Нами проведено сравнение значений густоты эрозионной сети, полученных по разным картографическим материалам, результаты которого приведены в табл. 2 и на рис. 2.

Таблица 2

Потеря густоты эрозионной сети (K) при определении по разным картографическим материалам

Исходные материалы для расчёта K	Потеря в % густоты эрозионной сети по сравнению с исходными материалами, при определении K по:			
	ЦМР с изогипсами, построенными через 5 м	Карте высот	Ортофотоплану	Несекретному варианту топоосновы М 1:10000
ЦМР с изогипсами, построенными через 1 м	$\frac{8 - 21^*}{14,5}$	$\frac{14 - 32}{23}$	$\frac{37 - 47}{42}$	$\frac{42 - 100}{71}$
ЦМР с изогипсами, построенными через 5 м		$\frac{(-)10 - 26}{6,5}$	$\frac{22 - 38}{30}$	$\frac{32 - 100}{66}$
Карта высот			$\frac{13 - 31}{22}$	$\frac{25 - 100}{62,5}$
Ортофотоплан				$\frac{(-)9 - 100}{45,5}$

* в числителе даны минимальная и максимальная величина, в знаменателе среднее значение

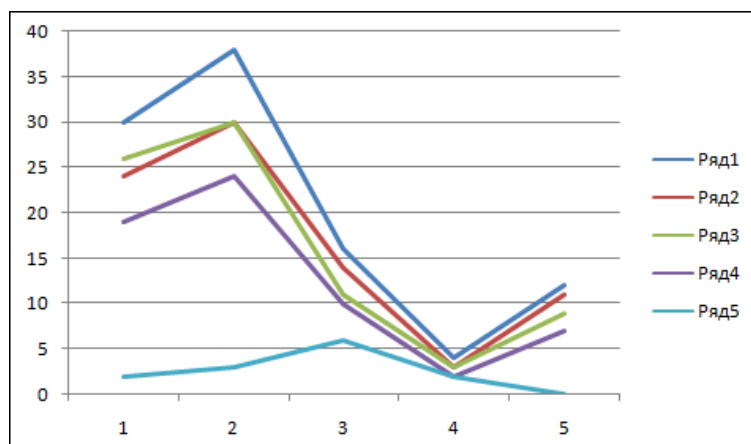


Рис. 2. Графики изменения густоты эрозионной сети (K). По вертикали - значение K - км/км², по горизонтали - № участка ВЗ; ряд 1 – ЦМР с изогипсами через 1 м; ряд 2 – ЦМР с изогипсами через 5 м; ряд 3 – карта высот; 4 – ортофотопланы; 5 – топооснова М 1:10000.

**Морфометрические характеристики эрозионной сети анализируемых участков водоохранной зоны
Цимлянского водохранилища**

№ участка	Географическое положение участка	Площадь участка (P), км ²	ЦМР						Морфометрические построения			
			сечение изогипс рельефа 1 м		сечение изогипс рельефа 5 м		карта высот		по ортофотоплану		по нескретной топооснове М 1:10000	
			Длина тальвега (L), км	Густота эрозионной сети (K=L/P)	Длина тальвега (L), км	Густота эрозионной сети (K)	Длина тальвега (L), км	Густота эрозионной сети (K)	Длина тальвега (L), км	Густота эрозионной сети (K)	Длина тальвега (L), км	Густота эрозионной сети (K)
1	Правый берег водохранилища, Калачёвский участок	0,24	7,41	30,39	5,82	23,89	6,31	26,29	4,48	18,67	0,45	1,84
2	Правый берег водохранилища, Калачёвский участок	0,46	17,49	37,72	14,11	30,42	13,9	30,22	10,88	23,65	1,61	3,47
3	Левый берег водохранилища, Приплотинный участок	1,01	15,93	15,85	14,54	14,46	10,93	10,82	9,55	9,5	6,09	6,06
4	Левый берег водохранилища, Приплотинный участок	0,47	1,84	3,95	1,56	3,34	1,31	3,02	0,98	2,08	1,06	2,27
5	Правый берег водохранилища, Приплотинный участок	0,70	8,26	11,83	7,63	10,93	6,59	9,41	4,85	6,93	0	0

Выводы.

Анализ полученных результатов позволил сделать следующие выводы:

1. При определении протяжённости тальвегов по ЦМР с сечением изогипс 1 м и 5 м значение K уменьшается на 8-21 %. Максимум потерь густоты эрозионной сети приходится на участки, где преобладают эрозионные борозды (рытвины) и промоины, что указывает на потерю при увеличении сечения горизонталей мелких эрозионных форм.

2. Увеличение потери густоты эрозионной сети (среднее значение K по пяти участкам) по сравнению с определённой по ЦМР с сечением горизонталей в 1 м, происходит в ряду: ЦМР с сечением горизонталей в 5 м (14,5 %); карта высот (23 %), ортофотоплан (42 %), несекретный вариант топоосновы масштаба 1:10000 (71 %).

3. Наибольшая сходимость результатов установлена для ЦМР с сечением горизонталей 5 м и картой высот. Среднее значение потери густоты эрозионной сети для сравниваемых участков водоохранной зоны составило 6,5 %, в то время как на ортофотопланах по сравнению с ЦМР с сечением горизонталей 5 м в среднем потеряно 30 % данного показателя.

4. Использование материалов топографических карт М 1:10000, представленных в проектах установления границ водоохранных зон и прибрежных защитных полос, неприемлемо, так как теряется до 100 % информации по густоте эрозионной сети.

5. Наиболее оптимальным из рассмотренных методов, обеспечивающим максимально полную информацию о величине густоты эрозионной сети при минимальных временных затратах является определение данного показателя по ЦМР "Карта высот", с уточнением границ элементов эрозионного рельефа по ортофотоплану.

Список литературы

1. Об утверждении форм и порядка представления сведений, полученных в результате наблюдений за водными объектами, заинтересованными федеральными органами исполнительной власти, собственниками водных объектов и водопользователями. Приказ МПР РФ от 6 февраля 2008 г. № 30.
2. Исследование морфологических и морфометрических особенностей берегов Цимлянского водохранилища с использованием беспилотных летательных аппаратов и ГИС-технологий / А.Е. Косолапов [и др.] // Аридные экосистемы. 2018. №3 (24). С.36-42.

3. Мониторинг опасных экзогенных геологических процессов водоохранной зоны Цимлянского водохранилища с использованием беспилотных летательных аппаратов / О.В. Ивлиева [и др.] // Водные ресурсы России: современное состояние и управление: сб. материалов Всерос. научн.-практ. конференции, г. Сочи, 08-14 октября 2018 г. В 2-х томах. Т. I. Новочеркасск: Лик, 2018. С. 313-317.
4. Мониторинг опасных экзогенных процессов водоохранной зоны Цимлянского водохранилища // А.Е. Косолапов [и др.] // Междунар. симп. "Инженерные науки и науки о Земле: прикладные и фундаментальные исследования" (г. Грозный) (журн. "AER-Advances in Engineering Research")

© Ивлиева О.В., Беспалова Л.А., Сердюк Л.В., 2019

СОЗДАНИЕ БАНКА ДАННЫХ ТИПОВ БЕРЕГОВ ЦИМЛЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА ОСНОВЕ МАТЕРИАЛОВ МОНИТОРИНГА, ВЫПОЛНЕННОГО С ПОМОЩЬЮ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Беспалова Л.А., Ивлиева О.В., Глинка В.В.

Российский информационно-аналитический и научно-исследовательский водохозяйственный центр (ФГБУ РосИНВХЦ), г. Ростов-на-Дону
Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону
E-mail: bespalowaliudmila@yandex.ru

Аннотация. В статье описаны типы берегов Цимлянского водохранилища: абразионно-обвальные, абразионно-осыпное, аккумулятивные и низкие ровные берега затопления. Обработка 10 000 снимков с БЛА позволили выявить особенности геоморфологического строения берегов разных типов.

Ключевые слова: беспилотные летательный аппарат (БЛА), типы берегов: абразионно-обвальный, абразионно-осыпной, абразионно-оползневый, аккумулятивный; низкие ровные берега, затопление.

CREATING DATA BANK FOR TYPES OF TSIMLYANSK RESERVOIR COASTS BASED ON MATERIALS OF MONITORING CARRIED OUT WITH THE HELP OF PILOTLESS AIRCRAFTS

Bespalova L.A., Ivlieva O.V., Glinka V.V.

Russian Information-Analytic and Research Water Economy Centre, Rostov-on-Don
Southern federal university, Rostov-on Don

Abstract. In the article types of the Tsimlyansk reservoir coast are described. They are: abrasion-landfall, abrasion-crumble, accumulative and low flat flooding. Processing pictures from PLA allowed to reveal features of geomorphological structure of polytypic coasts.

Keywords: pilotless aircraft (PLA), coast types: abrasion-landfall, abrasion-crumble, abrasion-landslide, accumulative, low flat, flooding.

Одной из задач мониторинга водоохраных зон водохранилищ является слежение за состоянием берегов. На Цимлянском водохранилище наблюдается несколько генетических типов берегов, формирование которых обусловлено преобладающим процессом берегоформирования и геолого-геологическими условиями [1].

К берегам волнового происхождения относятся берега абразионного типа (обвальный, осыпной и оползневой) и аккумулятивные, представленные косами, мысами, переймами и прислоненными пляжами. В отдельный тип выделены низкие берега затопления.

Основной целью исследования является создание банка данных типов берегов и их морфометрических характеристик на основе использования материалов съемок беспилотных летательных аппаратов (БЛА) с использованием инструментария программы Agisoftphotoscan [2, 3].

Обработано более 10000 снимков с БЛА, что позволило выявить особенности геоморфологического строения берегов разных типов, а также изучить морфометрические особенности берегов как в пределах одного типа, так и подтипов. Примеры морфометрии берегов Цимлянского водохранилища представлены на рис. 1-3.

Особенностью морфологии **абразионно-обвального** берега является крутой уступ, наличие материала обвала грунта береговых обрывов рис. 1 А. Геологическое строение этого типа берега на всех участках Цимлянского водохранилища представлено лессовидными суглинками мощностью от 4 до 18 м, алевролитами и глинами. Высота клифа изменяется от 6 до 29 м. Уклон склона крутой и очень крутой 35° - 50° . Ширина пляжа составляет 6 м - 24 м, уклон не превышает 3° - 5° . Ширина абразионной ступени достигает в среднем 13 м.

Абразионно-осыпной тип берега формируется на участках, сложенных преимущественно мелкозернистыми песками, супесями и, в меньшей степени, суглинками. Отступление бровки берега происходит после размыва осыпи волнением и выносом материала вдоль береговыми течениями в места его аккумуляции.

В отличие от обвальных берегов, осыпные встречаются на водохранилище небольшими участками. Абразионно-осыпные берега отмечены в верхней части Цимлянского водохранилища, выше г. Калач-на-Дону, а также в районе х. Большенабатовский, пос. Саркел. Они характерны для участков, на которых размывается высокая пойма и частично первая надпойменная терраса. Береговые склоны имеют высоту от 4 до 40 м, крутизна склона составляет

30° -38°, ширина абразионной ступени изменяется от 3 до 48 м. Берега сложены супесями, суглинками и песками, сверху переходящими в бугристые пески. Размывание берегов сопровождается образованием осовов, осыпей и формированием широкого пляжа (рис. 1Б).

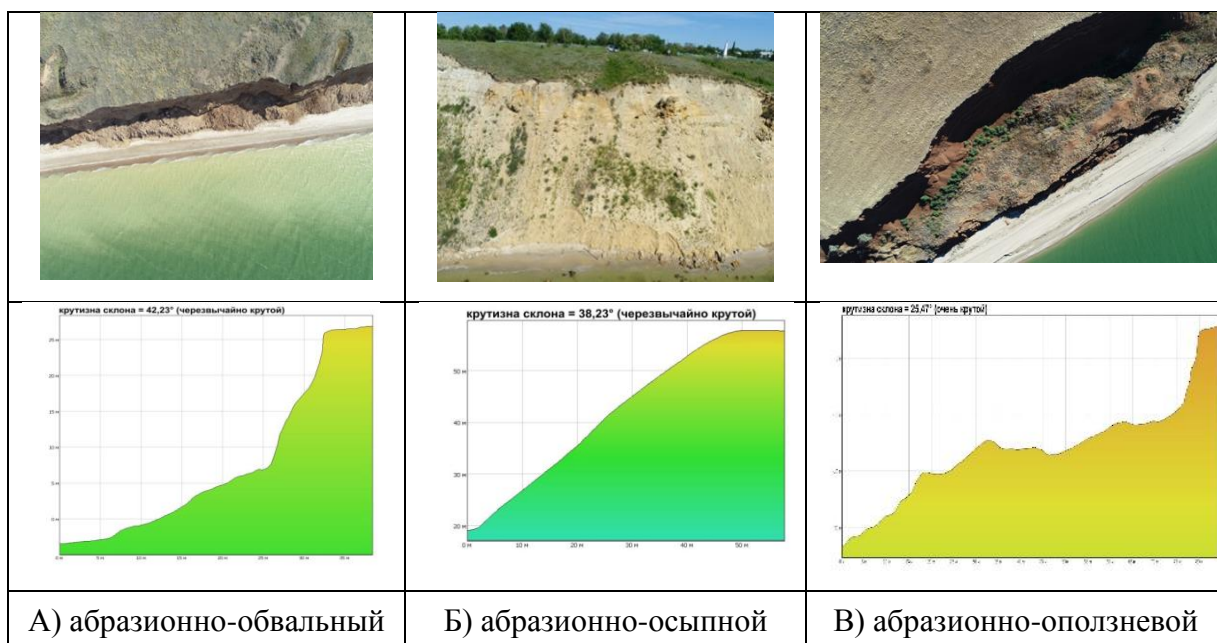


Рис. 1. Фото с БЛА и типы профилей абразионных берегов Цимлянского водохранилища

Оползневые явления связаны с выходом на дневную поверхность глин и суглинков, подстилаемых в обнажениях берегов выходами песков. На основе съёмок берегов Цимлянского водохранилища с БЛА за период 2016-2018 гг. были получены основные морфологические и морфометрические характеристики оползней, такие как: очертание оползня в плане, высота берега, уклон склона и тип уклона, высота стенки отрыва оползня, периметр оползня, площадь оползневого тела.

Оползни в плане представлены в основном двумя типами: оползни цирки и фронтальные оползни. В зависимости от способа сползания, преобладают оползни оплывины, но встречаются и структурные оползни, где обрушение горных пород происходит в виде блоков.

Высота берегов, подверженных оползневым процессам, изменяется в довольно широком диапазоне - от 11 до 42,6 м, при среднем значении 27,9 м. В основном эти берега характеризуются крутыми склонами - от крутого (15°) до чрезвычайно крутого, (более 30°). Площадь оползневого тела может достигать более 24000 м², но встречаются и небольшие оползни, менее 240 м².

Ширина захвата оползня составляет на разных участках от 23 до 105 м. Высота стенки отрыва (главного уступа) изменяется от 3 м у неглубоких оползней до 15,4 м у оползней глубокого захвата.

Аккумулятивные берега на водохранилище развиты в зоне затопления поймы и низких аллювиальных террас. Эти берега чаще всего формируются в устье заливов (убежищ), а также в устьях оврагов и балок. Береговая линия аккумулятивного берега может быть выровненной или иметь бухтовый характер. Наиболее характерными для Цимлянского водохранилища являются берега с нечетко выраженной береговой линией, пологие сильно заболоченные, иногда заросшие древесно-кустарниковой растительностью.

В результате съемок береговой зоны с БЛА выявлены следующие аккумулятивные формы: аккумулятивные мысы (выступы), косы, переймы, прислоненные пляжи, которые формируются в результате продольного перемещения наносов [4, 5] (рис. 2). Съёмки беспилотных летательных аппаратов (БЛА) и использование инструментария программы Agisoftphotoscan позволили впервые получить информацию о параметрах этих аккумулятивных форм.

Аккумулятивные выступы на водохранилище имеют незначительное распространение. Протяженность мысов от основания до оконечности может достигать 250 м, ширина основания – порядка 80-100 м, площадь этих аккумулятивных форм изменяется от 10000 до 35000 м². Уклоны пляжей, сложенных мелко- и среднезернистым песком, не превышают 5° (рис. 2А).

Косы на водохранилище, в основном, формируются у входа в убежища (заливы) в результате подпора воды и ослабления потока течений при входе в залив. Параметры косы, например, в районе х. Красноярский, составляют: по протяженности от основания (ширина 80м) до дистали - 88 м, площадь косы – 10534 м²(рис. 2Б).

На Цимлянском водохранилище формируются **прислоненные пляжи (не полного профиля)**. Они вытянуты по простиранию берега, состав наносов варьирует от гравия до мелкокозернистого песка. Пляжи формируются при наличии в береговых обрывах пляжеобразующего материала (рис. 2В). Параметры прислоненных пляжей варьируют в широких пределах: шириной от нескольких метров до 30 м, уклоны от 1° до 7°.

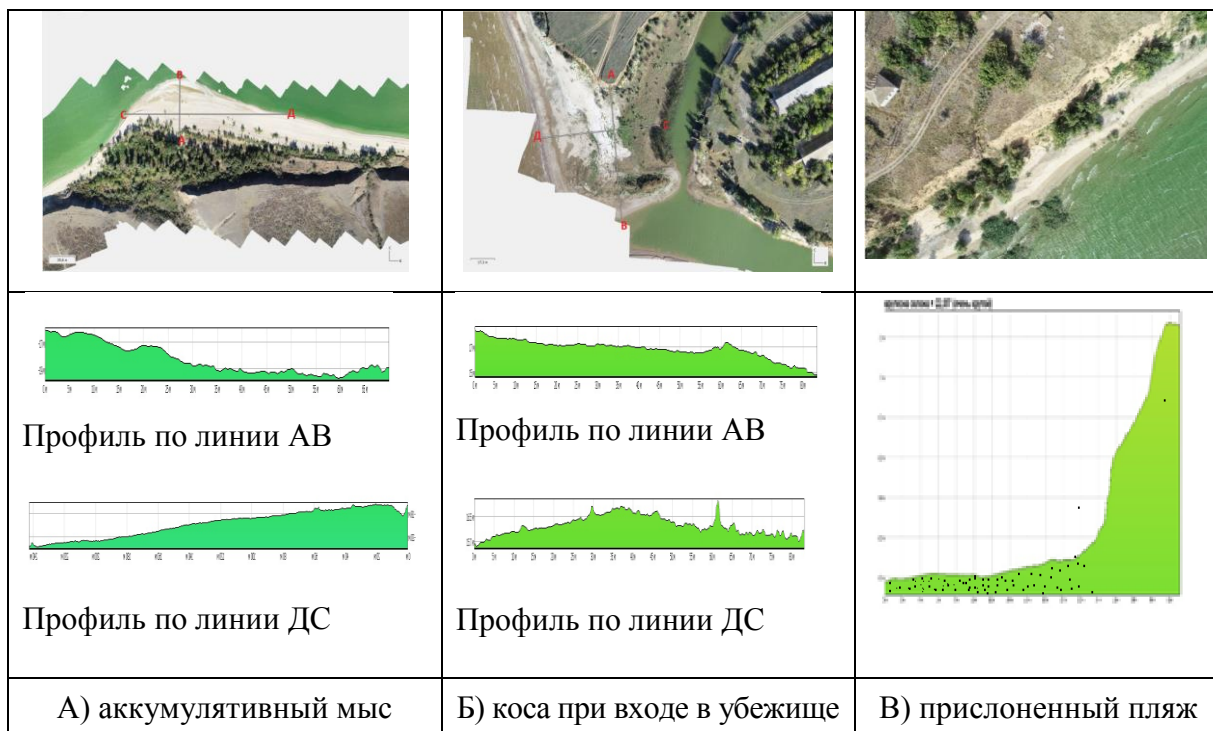


Рис. 2. Фото с БЛА типов аккумулятивных форм Цимлянского водохранилища

Переймы формируются в случае, если аккумулятивная форма, во время роста может полностью перегородить вход в убежище и причлениться дистальным концом к противоположному берегу. Ширина перейм изменяется от 2 до 70 м, протяженность от 100 до 500 м.

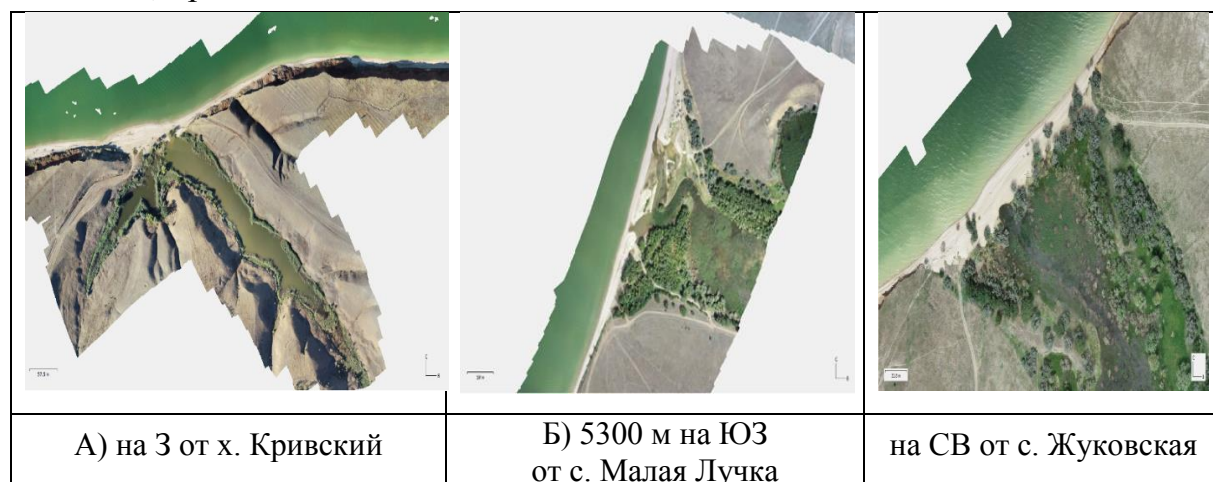


Рис. 3. Фото с БЛА - пример перейм, сформировавшихся при входе в убежище

Низкие ровные берега затопления получили широкое распространение в береговой зоне Цимлянского водохранилища. Такие берега широко распространены по левобережью порта г. Волгодонск до х. Харсеев и далее от х. Красноярский до х. Молокановский, от х. Верхнерубежный до х. Логовский и вверх от х. Логовский. Берег здесь низкий, пологий, его кру-

тизна колеблется в пределах 1° . При наполнении водохранилища до нормального подпорного уровня (НПУ) вода затопляет пологие склоны берега полосой шириной до 200-300 м, и этот затопленный пологий склон служит береговой отмелью, на которой гасятся волны, не вызывая его разрушений. Лишь при сработке уровня воды ниже 36.0 м на некоторых участках берега, там, где имеет место увеличение уклона до $3-5^\circ$, наблюдается его размыв. В основном, такие берега остаются нейтральными, на них не наблюдается заметных размывов и намывов грунта.

Низкие берега затопления имеют высоты от 3, 8 до 0,2 м, в среднем - 1,2 м; уклоны склона не превышают нескольких градусов и характеризуются как покатые. Берега сложены преимущественно суглинками или толщей переслаиваемых песков и суглинков. Зона пляжа довольно широкая, составляет 10-25 метров, приустьевая зона зачастую покрыта густой растительностью.

Таким образом, по данным материалов съёмок с БЛА были исследованы морфометрические характеристики основных типов берегов Цимлянского водохранилища. Показано разнообразие, казалось бы, однотипных берегов и их параметров. Доказана возможность использования съёмок с БЛА для эффективного мониторинга береговых процессов.

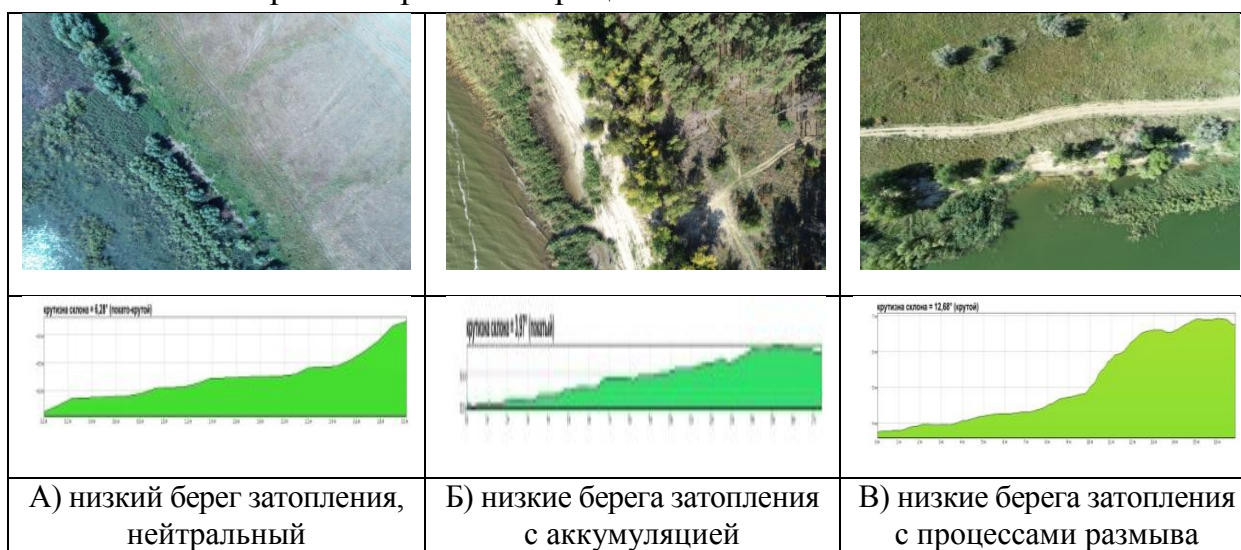


Рис. 3. Фото с БЛА и профили низких берегов затопления

На основе созданного банка данных морфологических и морфометрических типов абразионных (обвальных, осыпных, оползневых), аккумулятивных берегов (мысы, косы, переймы, прислоненные пляжи) и низких берегов затопления. В дальнейшем, для осуществления мониторинга берегов водохранной зоны, необходимо создать Атлас «Типы берегов Цимлянского водохранилища».

Список литературы

1. Вендров С.Л. Изменение рельефа берегов и дна Цимлянского водохранилища в 1952-1956 гг. // Известия Академии наук СССР. Серия географическая. 1957. № 3. С. 75-80.
2. Скрипка Г.И., Беспалова Л.А., Ивлиева О.В., Сапрыгин В.В., Филатов А.А. Опыт использования беспилотных летательных аппаратов для мониторинга положения бровки высоких берегов водохранилищ. // Водные ресурсы России: современное состояние и управление: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. г. Сочи 08-14 октября 2018 г. Новочеркасск: ЛИК, 2018. С 298-305.
3. Kosolapov A. E., Skripka G. I., Bepalovaa L. A., Ivlievaa O. V., Filatova A. A. Study of Morphological and Morphometric Characteristics of Tsimlyansk Reservoir Shores Using Unmanned Aerial Vehicles and GIS Technologies. 2018, publ. in Aridnye Ekosistemy, 2018, Vol. 24, No. 3(76), pp. 41–47.
4. Зенкович В.П. Основы учения о развитии морских берегов. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 711 с.
5. Жиндарев Л.А., Хабидов А.Ш. и Тризно А.К. Динамика песчаных берегов морей и внутренних водоемов. Новосибирск: Наука, 1998. 247 с.
6. Хабидов А.Ш., Жиндарев Л.А., Кусковский В.С. [и др.]. Берега морей и внутренних водоемов: актуальные проблемы геологии, геоморфологии и динамики. Новосибирск: Изд-во Сиб. отд-ния РАН, 1999. 271 с.

© Беспалова Л.А., Ивлиева О.В., Глинка В.В., 2019

ОРГАНИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГА АКВАТОРИИ БОГУЧАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА С ПРИМЕНЕНИЕМ БЛА

Говорский А.В.

ФГБУ «Управление эксплуатации Богучанского водохранилища», г. Козьмодемьянск
E-mail: fgubv@mail.ru

Аннотация. Необходимость проведения мониторинга. Мониторинг состояния акватории с помощью БЛА, основные характеристики. Цели и задачи, решаемые при использовании БЛА. Полученные результаты, обработка информации. Сложности при использовании БЛА самолетного типа.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, мониторинг.

ORGANIZATION OF MONITORING FOR THE BOGUCHANSK RESERVOIR WATER AREA WITH THE USE OF UAV

Govorskii A.V.

Federal State Budgetary Institution "Management of operation of the Boguchansky reservoir"

Abstract. The need for monitoring. Monitoring the state of the water area using UAV, the main characteristics. Goals and objectives to be achieved when using UAV. The results obtained, information processing. Difficulties when using UAV.

Keywords: unmanned aerial vehicle (UAV), monitoring.

Богучанская ГЭС является одним из крупнейших объектов гидротехнического строительства в России. В результате строительства плотины Богучанской ГЭС на р. Ангара образовалось Богучанское водохранилище, которое стало четвертым в каскаде Ангарских водохранилищ. Оно расположено в нижнем течении р. Ангара в пределах Усть-Илимского района Иркутской области и Кежемского района Красноярского края. По размерам Богучанское водохранилище относится к «крупным» водоемам.

В конце апреля 2012 г. началось наполнение Богучанского водохранилища, по состоянию на июнь 2015 г. уровень воды верхнего бьефа достиг проектной отметки НПУ 207,98 м БС.

При отметке НПУ 208,0 м Балтийской системы основные показатели Богучанского водохранилища имеют следующие параметры: полный объем водохранилища – 58,2 км³, площадь зеркала – 2326 км², протяженность по основному руслу – 380 км, протяженность береговой линии по контуру водохранилища – 3700 км.

По данным инвентаризации древесно-кустарниковой растительности в зоне затопления Богучанской ГЭС, по состоянию на январь 2008 г. общий запас древесно-кустарниковой растительности (ДКР) составил 9559,2 тыс.м³, в том числе товарных насаждений – более 5 млн. м³, из них на территории Красноярского края - 8191,4 тыс.м³, на территории Иркутской области – 1367,8 тыс.м³.

При подготовке ложа водохранилища общий объем лесосводки и лесочистки, в соответствии с откорректированным проектом, составил 1079,4 тыс. м³ на общей площади 15528 га. По экспертной оценке, филиала ФГУП «Востсиблеспроект», оставшаяся часть древесно-кустарниковой растительности в объеме 8479,8 тыс. м³ затоплена.

В 2012 г. ОАО «Краевая инжиниринговая компания» выполнило работу по определению прогнозного поступления древесной массы в акваторию водохранилища Богучанской ГЭС.

При этом отмечается, что представленные прогнозные материалы являются предварительными и требуют внесения изменений (уточнений) в ходе проведения натурных обследований после достижения уровня водохранилища НПУ 208,0 м БС (рис. 1).



Рис. 1. Прогноз поступления ДКР в акваторию водохранилища

В рамках мониторинга водного объекта проводятся наблюдения за состоянием акватории Богучанского водохранилища на предмет определения мест рассредоточения объемов плавающей древесной массы, плавающего мусора, торфяных отложений. По состоянию на 2018 г. основная площадь акватории является относительно свободной от плавающего древесного хлама.

Основная масса плавающего древесного хлама находится среди затопленного на корню древостоя, практически по всей протяженности береговой линии водохранилища, шириной полосы от 100 до 300 м, в зависимости от рельефа дна. Это затрудняет проведение мероприятий по мониторингу и анализу количества плавающей древесины в акватории, а также проведения работ по расчистке акватории и берегов Богучанского водохранилища от древесного хлама и мусора. Затопленный древостой после разрушения корневой системы также попадает в акваторию.

Наибольшее количество плавающей древесно-кустарниковой растительности наблюдается на участках в заливах малых притоков рек Кода, Парта, Кова, Тургеневское расширение - район н.п. Недокура (левый берег) и н.п. Таежный (правый берег).

Мониторинг состояния акватории проводится двумя способами: с использованием водного транспорта и с использованием беспилотного летательного аппарата (БЛА) самолетного типа – ZALA 421-16EM.

В данной презентации опишем выполнение работ с помощью БЛА. Основные технические характеристики нашего аппарата:

- Радиус действия видео/радиоканала - 25 км/50 км;
- Продолжительность полета - до 2,5 ч;
- Максимальная высота полета - 3600 м;
- Скорость - 65-100 км/ч;
- Максимально допустимая скорость ветра - 15 м/с;
- Диапазон рабочих температур - от -30°C до +40°C.

Использование беспилотного летательного аппарата при мониторинге водных объектов позволяет решать следующие задачи:

- Контроль водных объектов в сезон паводков, мониторинг акватории и берегов, поиск и выявление зон затопления.
- Контроль за соблюдением режима в водоохранных зонах.
- Осуществление мониторинга в труднопроходимых и труднодоступных для прямого осмотра участках местности.
- Выявление нелегитимных водопользователей.
- Выявление нарушений природоохранного законодательства (обнаружение свалок бытового мусора, незаконных застроек берегов и т.п.).

Результатом полетов является архив из качественных фото-, видеоизображений с борта БЛА.

Полученные данные после обработки позволяют специалистам:

- Выявлять участки деятельности нелегитимных водопользователей
- Определять места сосредоточения плавающего древесного хлама, торфяных островов
- Выявлять источники загрязнения
- Определять участки береговой полосы наиболее подверженные деформации для дальнейших детальных работ на местности.

Мониторинг водной поверхности акватории Богучанского водохранилища с использованием БЛА проводится в тех местах, где невозможно обследование с помощью водного и наземного транспорта.

С 2015 по 2018 гг. ФГУ «УЭ Богучанского водохранилища» произведено более 20 полетов, ежегодно осматривается около 100 000 га водной поверхности.

Процесс использования БЛА состоит из следующих этапов:

- подготовка аппарата, проверка всех систем перед запуском;
- запуск БЛА с помощью наземной катапульты;
- посадка осуществляется с помощью парашюта, раскрывающегося по команде оператора, либо в автоматическом режиме.

Контроль полета производится с помощью наземной станции (компьютера с программным обеспечением, высокочастотной антенны). Во время контроля анализируются параметры высоты, скорости, местоположения, маршрут следования. При необходимости оператор может вносить изменения во время полета.

Во время полета фиксируются участки наибольшего скопления плавающей древесной массы, а также участки деформации берегов, образовавшиеся в результате наполнения Богучанского водохранилища, вследствие волнового воздействия и ветровой эрозии. После проведения камеральной обработки полученных снимков, данные участки наносятся на картографическую схему.

Также фиксируются участки с наибольшим скоплением плавающей древесной массы, где возможно проведение дальнейших работ по очистке акватории с помощью водного транспорта.

Имеется возможность выявления участков в водоохранных зонах, где ведутся различные работы и проводится сплав леса, для дальнейшей проверки на местности законности использования акватории водохранилища.

Сложности при использовании БЛА - ZALA 421-16EM.

- В соответствии с техническим Регламентом, для безопасного проведения полетов БЛА необходима площадка ориентировочно 100x100 м без препятствий, затрудняющих взлет и посадку (линии электропередачи, вышки, лесной массив и т.д.);
- Для использования БЛА необходимо учитывать местность полета - где большие холмы или горная местность радиус полета будет ограничен, в случае если запуск БЛА происходит с низкой точки местности;
- Необходимо согласование полетов за 7 дней с Зональным центром Единой системы организации воздушного движения;
- Наличие аттестованных операторов, не менее 2 человек;
- Отсутствие возможности стационарного наблюдения точечных участков;
- Отсутствие возможности посадки на воду.

Таким образом, при использовании БЛА на Богучанском водохранилище имеются ограничения по местам использования из-за отсутствия площадок взлета и посадки в связи с тем, что по периметру водохранилища практически отсутствуют открытые участки местности.

При обработке полученных фотоматериалов возможно использование программного обеспечения Agisoft PhotoScan Standard Edition, которая позволяет получать изображение высокого разрешения, определять высоты, выполнять измерения расстояний и площадей.

ЭНЕРГО- И ГАЗООБМЕН РАВНИННЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ С АТМОСФЕРОЙ ПО ДАННЫМ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ, МОДЕЛИРОВАНИЯ И ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Гречушникова М.Г.², Репина И.А.^{1,2}, Степаненко В.М.²,
Варенцов М.И.^{2,1}, Артамонов А.Ю.¹

¹Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва

E-mail: repina@ifaran.ru

Аннотация. В статье представлены результаты экспериментальных и теоретических исследований взаимодействия атмосферы и поверхности на примере двух водохранилищ: Можайского и Горьковского. Результаты всепогодных экспериментальных исследований газо-, энергообмена, гидрологических и биогидрохимических характеристик позволяют выявить периоды эмиссии парниковых газов и ее связь с метеорологическими и гидрологическими условиями. Для исследования био-гидрохимического режима водохранилищ используется модель водоема LAKE. Данные дистанционного зондирования применяются для исследования термического режима поверхности водохранилищ, динамики береговых зон, характеристик ледообразования и снегонакопления.

Ключевые слова: равнинные водохранилища, эмиссия метана, потоки тепла и влаги, дистанционное зондирование.

ENERGY AND GAS EXCHANGE WITH THE ATMOSPHERE OF PLAIN RESERVOIRS BY THE DATA OF SPECIALIZED EXPERIMENTS, MODELING AND REMOTE SENSING

Grechushnikova M.G.², Repina I.A.^{1,2}, Stepanenko V.M.²,
Varentsov M.I.^{2,1}, Artamonov A.Yu.¹

¹A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Moscow

²Lomonosov Moscow State University, Moscow

E-mail: repina@ifaran.ru

Abstract. The article presents the results of experimental and theoretical studies on the interaction of the atmosphere and the surface on the example of two reservoirs: Mozhaisk and Gorky. The results of all-season experimental studies of gas, energy, hydrological, and biogeochemical characteristics make it possible to identify periods of greenhouse gas emissions and its relationship with meteorological and hydrological conditions. To study the bio-hydrochemical regime of reservoirs, the LAKE reservoir model is used. Remote sensing data are used to study the thermal regime of the reservoirs surface, the dynamics of coastal zones, the characteristics of ice formation and snow accumulation.

Keywords: plain reservoirs, methane emission, heat and moisture fluxes, remote sensing.

Водохранилища стали неотъемлемой частью жизни и развития равнинных регионов России. Там, где раньше были лишь небольшие речки, теперь простираются водные просторы – не случайно их называют «морями».

И берега этих «морей» интенсивно заселены и являются регионами активной экономической деятельности. Характеристики водной поверхности существенно отличаются от характеристик суши, что вносит существенные изменения в режим взаимодействия атмосферы и поверхности [1]. Поэтому, кроме очевидного хозяйственного значения, водохранилища стали и источником проблем, с которыми раньше жители удаленных от морей равнин не сталкивались – это и изменение ветрового режима, и повышенное влагосодержание атмосферы, которое приводит к туману, гололедам и изморози. Большие резервуары воды изменили климат прилегающих территорий, и эти изменения продолжают происходить, часто бывая причиной экстремальных погодных явлений. Кроме того, водохранилища являются источниками эмиссии парниковых газов, в особенности метана и углекислого газа, что также вносит вклад в глобальные климатические изменения [2]. Изучение последствий создания искусственных водоемов было начато в 50-х гг. прошлого века и продолжается до сих пор. Исследования, в том числе и образования туманов и гололеда, проводятся как на основе данных мониторинга, так и помощью моделей различного пространственного разрешения [3, 4].

Возникающие над водохранилищами ветровые циркуляции и конвективные явления могут носить опасный и даже катастрофический характер. Над акваторией крупных водохранилищ изменяется радиационный баланс, температура воздуха на прилегающих к водохранилищу территориях понижается весной и в первую половину лета (охлаждающее воздействие) и повышается во второй половине лета и осенью (отепляющее воздействие); происходит сдвиг дат перехода температур воздуха через основные градации, увеличивается абсолютная и относительная влажность воздуха. Увеличивается скорость и меняется направление ветра, возникают ветры типа бризов. Водоохранилища оказывают влияние на облачность и осадки, вызывая явления, подобные озерным снегопадам. Создание водохранилищ на равнинной части России привело к ослаблению континентальности климата их побережий. Крайне неблагоприятным последствием создания крупных водохранилищ, вызванным изменением термического режима, является незамерзающая полынья в нижнем бьефе, способствующая туманообразованию.

Но, несмотря на наличие многих работ по оценкам эмиссии метана с поверхности водохранилищ, данный вопрос остается открытым. При этом многочисленные исследования в различных регионах мира (преимущественно в Канаде, США и Бразилии), показали, что интенсивность этой эмиссии может существенно различаться в зависимости от их возраста, проточности, сезона

наблюдений и многих других факторов. В настоящее время планируется внесение изменений в действующее законодательство Российской Федерации, регулирующее выбросы парниковых газов и компенсацию углеродного следа хозяйствующих субъектов. И здесь роли водохранилищ будет уделено особое внимание.

Определение содержания метана и углекислого газа в водохранилищах и их эмиссии в атмосферу актуально не только с точки зрения изучения процессов глобального изменения климата, но и мониторинга качества воды. Газовый режим является важным показателем экологического состояния водных объектов. Содержание метана в водохранилищах зависит от соотношения, с одной стороны, его потока из донных отложений, непосредственного образования в воде, поступления с поверхности водосбора, в том числе с притоками и в составе промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод, с другой стороны – от окисления метана в воде и его эмиссии в атмосферу [5, 6]. Дополнительным источником углекислого газа являются сине-зеленые водоросли, цветение которых становится серьезной проблемой для качества воды в искусственных водоемах [7]. На содержание растворенных газов в воде влияют как естественные факторы и, в первую очередь, климатические и гидрологические условия, контролирующие сезонную и суточную динамику физико-химических и биохимических процессов, так и антропогенное воздействие, накладывающееся на природные факторы и процессы. В случае водохранилищ возможен также дополнительный сток метана и углекислого газа в атмосферу через турбины ГЭС и плотины [8].

Наибольшее количество полевых наблюдений за концентрацией и эмиссией парниковых газов, в частности, метана, накоплено для водоемов Канады, США, Бразилии], в то время как водохранилища РФ в этом отношении изучены недостаточно.

Наши исследования проводились на Можайском и Горьковском водохранилищах в различные сезоны. Интегральный удельный поток метана на Можайском водохранилище достигает наибольших значений к моменту окончания периода летней стратификации (до 16 мг CH₄-C/м² час), когда бескислородная зона достигает наибольшего объема, а также уменьшается градиент температуры воды в водной толще.

За период открытой воды среднее значение потока метана Можайского водохранилища соответствует верхней границе значений удельного потока для водоемов умеренной зоны (рис. 1).

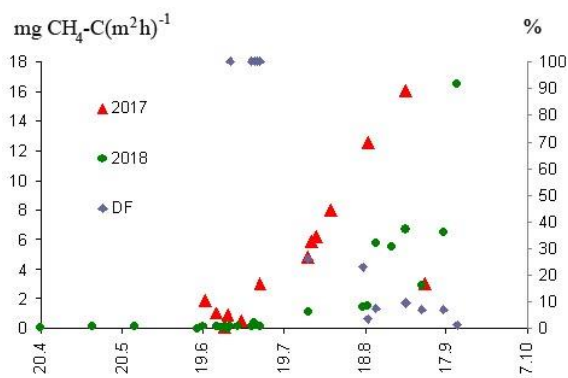


Рис. 1. Плотность потока метана по данным измерений плавучими камерами (мгСН₄-С/(м² час)) и доля диффузионного потока (DF, %), по данным измерений 2018 г.

В проточном Горьковском водохранилище при отсутствии продолжительных бескислородных условий в придонном горизонте удельный поток метана, по данным эпизодических наблюдений, не превышал 1,6 мг С-СН₄/(м² час)

Данное значение соотносится со значениями диффузионного потока на слабопроточном водохранилище в начале сезона. Из-за отсутствия выраженной стратификации пузырьковая составляющая потока метана, по-видимому, отсутствует.

Различия концентраций метана в придонном и поверхностном горизонтах не превышают 15 мкл/л, а в слабопроточном водохранилище они различаются в конце сезона на 3 порядка. За период открытой воды (01.05-31.10), несмотря на малую величину удельного потока метана, из-за большой площади с озерной части Горьковского водохранилища поступает в атмосферу $0,7 \cdot 10^9$ г С-СН₄. За аналогичный период из небольшого по площади Можайского водохранилища в 2017 и 2018 гг. оценка эмиссии составила $0,6 \cdot 10^9$ и $0,35 \cdot 10^9$ г С-СН₄.

Для расчета гидрохимического режима водохранилища использовалась одномерная модель термогидродинамики и биогеохимии водоёма LAKE 2.1. Была проведена адаптация модели LAKE для проточных водоемов, а также обобщение традиционной одномерной модели для воспроизведения среднего горизонтального градиента давления и связанных с ним сейшевых колебаний 1-й горизонтальной моды. Рис. 2 показывает вертикальное распределение концентрации метана в Можайском водохранилище в летний период на примере 2016 г., по данным наблюдений и расчётов. В модели калибровалась максимальная скорость окисления метана кислородом в формуле Михаэлис-Ментен, поскольку она эффективно контролирует содержание СН₄ в верхнем переме-

шанном слое; величины остальных констант биогеохимического блока оставлены значениями по умолчанию. Эмпирические кривые получены по данным измерений в различных частях водохранилища, что определяет их высокий разброс (измерения на одной и той же глубине относятся к придонному слою в одних точках и к середине водной толщи – в других). Поскольку одномерная модель по построению рассчитывает горизонтально-осреднённые величины, из рис. 2 можно заключить, что она успешно воспроизводит вертикальное распределение концентрации метана. По данным и измерений, и модели, содержание CH_4 растёт с глубиной на 1-2 порядка (с приближением к источнику метана – донным отложениям и с уменьшением концентрации O_2) и со временем (в придонном слое в несколько раз с начала июля по конец августа), по мере истощения кислорода под термоклином.

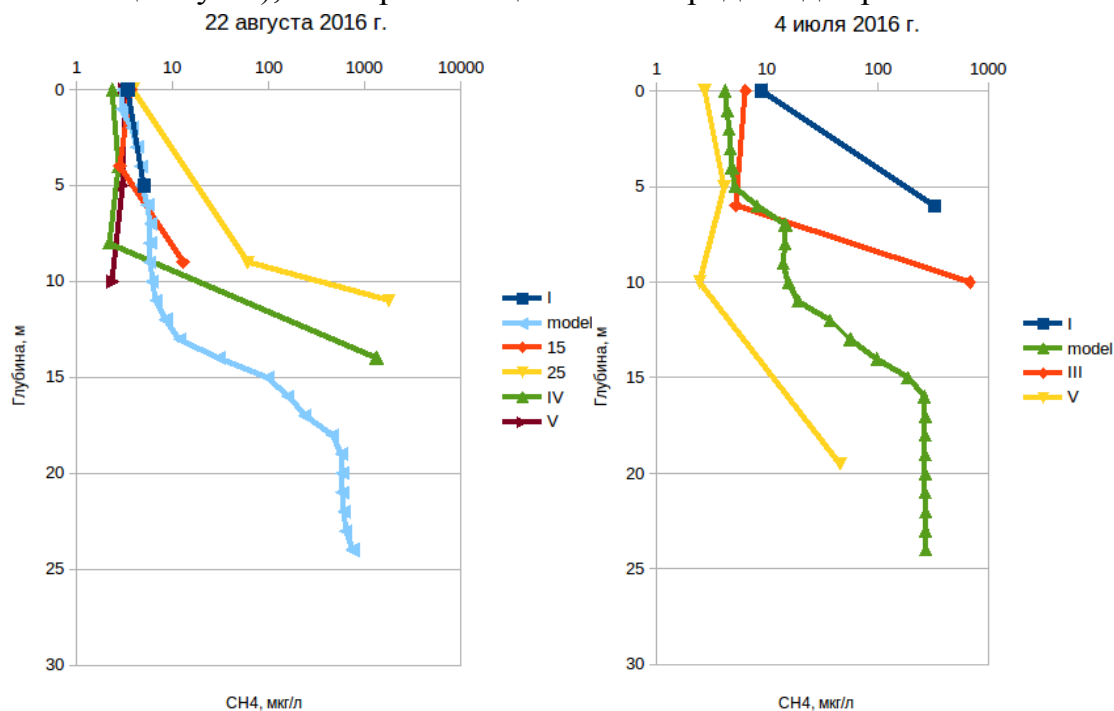


Рис. 2. Вертикальное распределение концентрации метана в Можайском водохранилище, по данным измерений и моделирования. Римскими и арабскими цифрами помечены различные части водохранилища (станции от I до V расположены от верховий к дамбе)

Проведен анализ возможности оценки эмиссии метана из водохранилищ по спутниковым данным. Рассматривались два участка – Рыбинское водохранилище и находящийся рядом участок леса. Для анализа использовались данные скатерометра AIRS. Результаты анализа показали изменение содержания метана над слабопроточным водохранилищем, по сравнению с лесным участком, с максимумом в августе и минимумом в мае (рис. 3).

Данные дистанционного зондирования также применяются для исследования термического режима поверхности водохранилищ, динамики береговых зон, характеристик ледообразования и снегонакопления.

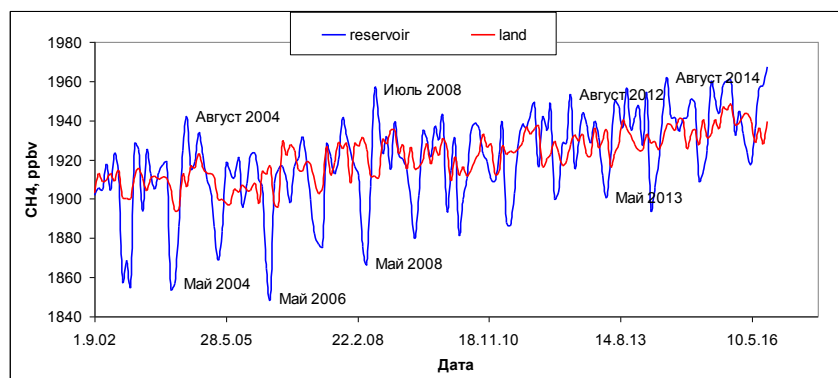


Рис. 3. Концентрация метана в слое 1-4 км в районе Рыбинского водохранилища, по данным скаттерометра AIRS.

Исследования показали, что газовый режим также является важным показателем экологического состояния водных экосистем. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ-РГО 17-05-41095.

Список литературы

1. Williamson C.E., Saros J.E., Vincent W.F., Smold J.P. Lakes and reservoirs as sentinels, integrators, and regulators of climate change// *Limnology and Oceanography*. 2009. V. 54(6) part2. P. 2273-2282.
2. Tremblay A., Varfalvy L., Roehm C., Garneau M. Gas Emissions: Fluxes and Processes Hydroelectric Reservoirs and Natural Environments // *Environmental Science Series*. New York: Springer, 2005. 732p.
3. Henderson-Sellers B. Calculating the surface energy balance for lake and reservoir modeling: A review // *Reviews of Geophysics*. 1986. Vol. 24(3). P.625-649.
4. Надеждина Е.Д., Мацак В.И., Семиошина А.А., Школьник И.М. Модельные оценки параметров туманов на побережье водоемов Сибири // *Метеорология и гидрология*. 2010. №9. С. 20-28.
5. Lima I., Ramos F., Bambace L., Rosa R. Methane emissions from large dams as renewable energy resources: a developing nation perspective // *Mitigation Adaptation Strategy Global Change*. 2006. Vol. 13. P. 1381–1386.
6. Louis V.L., Kelly C.A., Duchemin E., Rudd J.W.M., Rosenberg D.M. Reservoir surfaces as sources of greenhouse gases to the atmosphere: a global estimate // *Bioscience*. 2000. Vol. 50. P. 766–775.
7. Гавриловский Д.В. Экологические проблемы Цимлянского водохранилища // *Новая наука: Теоретический и практический взгляд*. 2015, № 6-2. С. 17-19.
8. Roehm C., Tremblay A. Role of turbins in the carbon dioxide emissions from two boreal reservoirs, Quebec, Canada // *Journal of Geophysical Research*. 2006. Vol. 11. D24101.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОН ЗАТОПЛЕНИЙ РЕЧНЫХ ПОЙМ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Шинкаренко С.С., Кошелева О.Ю.

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, г. Волгоград

E-mail: shinkarenkos@vfanc.ru

Аннотация. Работа направлена на определение сезонной динамики площади водного зеркала в северной части Волго-Ахтубинской поймы. На основе классификации красного и инфракрасного каналов спутниковых данных Landsat и Sentinel 2 определены площади заливаний в пойме в 2017 году. Сопоставление с гидрографом показало наличие устойчивой связи между площадью пойменных водоемов и расходов на Волгоградском гидроузле с коэффициентом корреляции 0,72.

Ключевые слова: пойма, дистанционное зондирование, половодье, Landsat, ГИС.

DETERMINATION OF FLOODPLANES ZONES BY MATERIALS OF REMOTE SENSING

Shinkarenko S.S., Kosheleva O.Yu.

Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Meliorations and Agroforestry RAS

E-mail: shinkarenkos@vfanc.ru

Abstract. The work is aimed at determining the seasonal dynamics of the water surface area in the northern part of the Volga-Akhtuba floodplain. Landsat and Sentinel 2 - Bay Area in the floodplain in 2017. Indicators of the presence of stable links between the number of water bodies caught and the costs at the Volgograd hydroelectric complex with a correlation coefficient of 0.72.

Keywords: floodplain, remote sensing, flood, Landsat, GIS.

В статье рассматривается сезонная динамика процесса затопления северной части Волго-Ахтубинской поймы в результате зарегулирования стока Волжской ГЭС. Задача исследования: установить сезонные особенности затопления территории поймы. В условиях зарегулирования стока Волго-Ахтубинская пойма целиком зависима от режима попусков через Волгоградский гидроузел. Пойменные экосистемы формировались под влиянием периодических заливаний в половодья и паводки. В современных условиях длительность и высота половодий сокращается, снижается сезонная амплитуда расходов [1-3]. Результатом этого становится засоление почв и грунтовых вод, деградация наземных пойменных экосистем. Подвергаются негативному воздействию ландшафты и в результате неконтролируемой рекреации [4, 5]. По этой причине важным этапом работы по оценке состояния ландшафтов пойм является определение особенностей сезонной и многолетней динамики площадей водного зеркала в пойме. Для этих целей как нельзя лучше подхо-

дят данные дистанционного зондирования. Авторами разработана методика определения водных объектов по данным ДЗЗ [6, 7]. Площадь затопления территории острова оценивалась по разновременным космическим снимкам Landsat 8 OLI с пространственным разрешением 30 м и Sentinel 2 с разрешением 10 м. Выбор источника данных обусловлен достаточным для определения положения урезов воды пространственным разрешением в 30 метров (15 метров для панхроматического канала) и наличием в свободном доступе на сайте Геологической службы США. Прочие доступные данные (например, с радиометра MODIS) не подходят для целей исследования из-за низкого пространственного разрешения, несмотря на высокое временное разрешение. Рассчитаны площади ареалов затопления в пойме на различные даты 2017 года: 5 апреля, 7 мая, 8 июня, 10 июля, 26 июля, 11 августа, 27 августа, 12 сентября, 28 сентября.

Водные объекты выделялись классификацией красного и ближнего инфракрасного каналов (4 и 5 каналы соответственно) в QGIS 2.14, где далее корректировались границы объектов, исходя из визуального контроля по панхроматическому каналу и цветовому RGB-композиру (комбинация каналов 4-3-2) и рассчитывались площади затопления. Статистический анализ произведен в Microsoft Office Excel 2007. Полученные слои представлены на рис. 1.

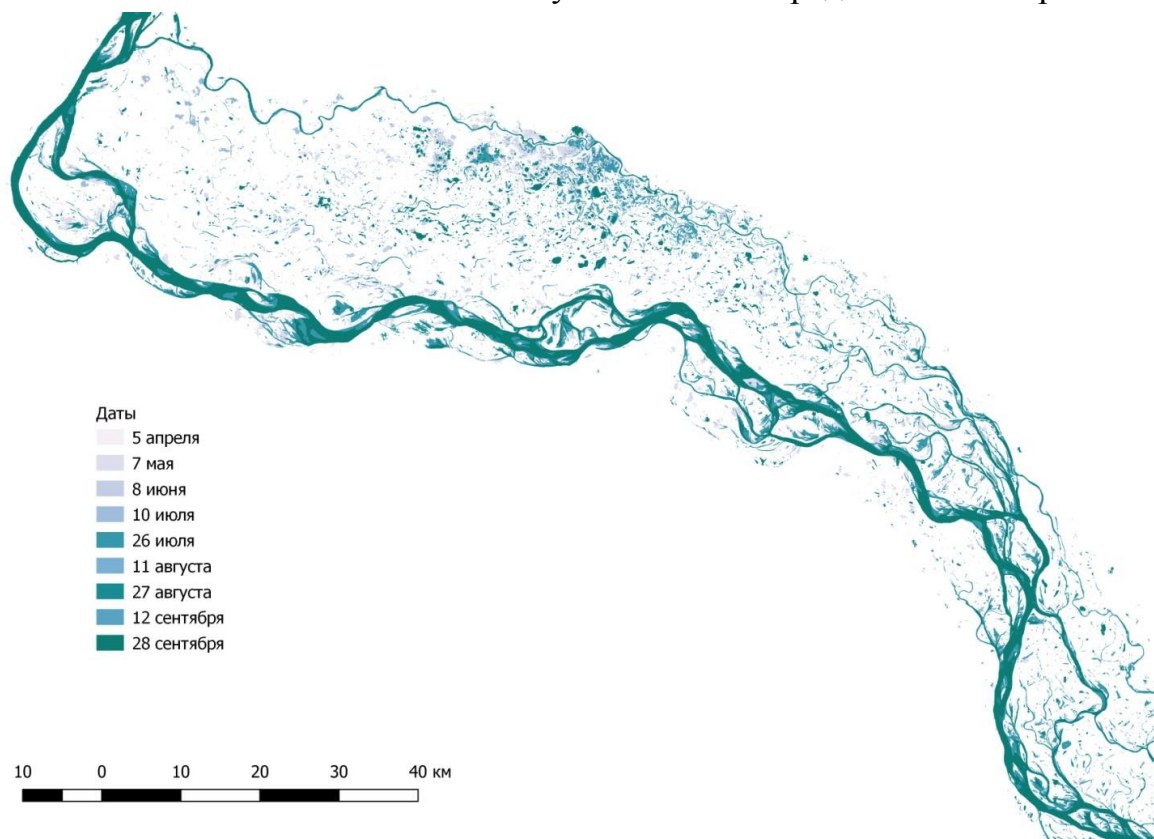


Рис. 1. Изменения водного зеркала в 2017 г.

Площадь водного зеркала зависит от расходов на Волжской ГЭС (рис. 2). Для 2017 года коэффициент корреляции составляет 0,72, что говорит о высокой силе связи.

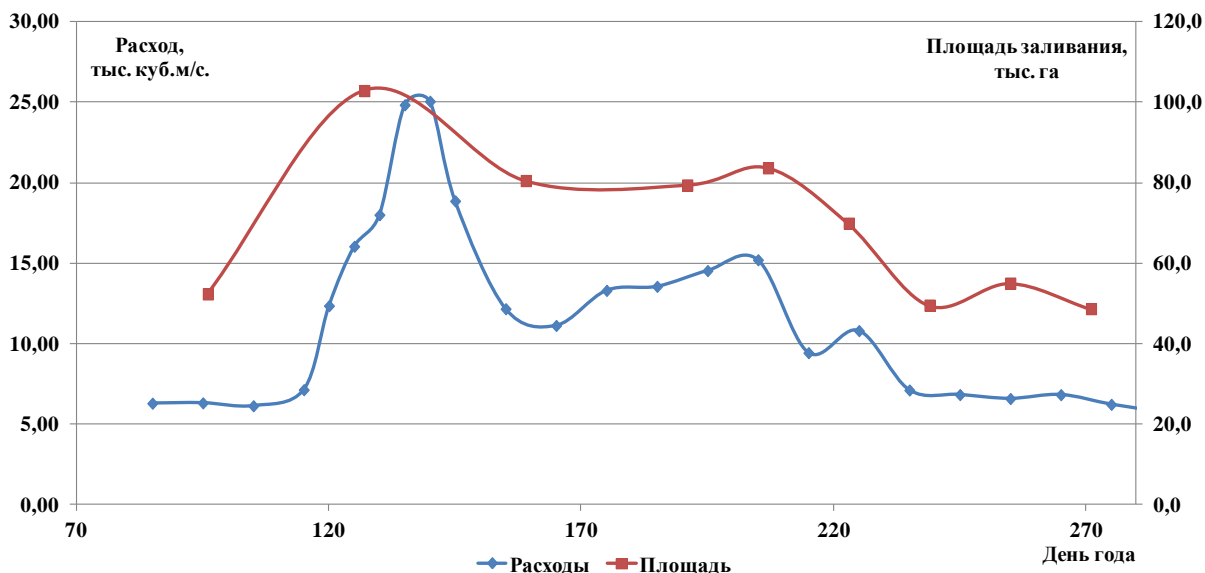


Рис. 2. Динамика расходов на Волгоградском г/у и площади заливания в пойме по данным 2017 г.

В дальнейшем будут определены площади и положение водного зеркала Волго-Ахтубинской поймы за другие годы. Это позволит получить уравнения связи площади поверхностных вод и расходов на Волгоградском гидроузле для прогноза площадей заливания и объективного определения водного режима почв пойменных ландшафтов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Волгоградской области в рамках научного проекта № 19-45-340006.

Список литературы

1. Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е., Шинкаренко С.С. Влияние зарегулирования речного стока и изменений климата на динамику наземных экосистем Нижней Волги // Аридные экосистемы. 2018. Т. 24. №4 (77). С. 3-18.
2. Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е., Каримова Т.Ю. Динамические изменения наземных экосистем поймы и дельты Нижней Волги под влиянием зарегулирования речного стока и климатических флуктуаций // Аридные экосистемы. 2015. № 4 (65). С.39-53.
3. Овчарова А.Ю. Геоэкологические проблемы Волгоградской геотехногенной системы, вызванные изменением гидрологического режима Волги (в пределах Волгоградской обл.). Автореферат дисс. канд. географ. наук. Ростов-на-Дону. 2016. 26 с.
4. Солодовников Д.А., Канищев С.Н., Золотарев Д.В., Шинкаренко С.С. Рекреационная дигрессия интразональных ландшафтов Нижней Волги // Вестник Волг. Гос. ун-та. Сер. 11: Естеств. науки. 2014. № 2. С. 50-57.

5. Солодовников Д.А., Канищев С.Н., Золотарев Д.В., Шинкаренко С.С. Формы рекреационного природопользования на территории Волго-Ахтубинской поймы // Вест. Вол. гос. ун-та. Сер. 11: Естеств. науки. 2013. № 2. С. 53-61.
6. Рулев А.С., Шинкаренко С.С., Кошелева О.Ю. Оценка влияния гидрологического режима Волги на динамику затопления острова Сарпинский // Уч. зап. Казан. ун-та. Серия Естеств. науки. 2017. Т. 159. Кн. 1. С. 139-151
7. Шинкаренко С.С., Солодовников Д.А. Формирование новой дельты Сырдарьи // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 2. С. 267-271.

© Шинкаренко С.С., Кошелева О.Ю., 2019

ОРГАНИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГА ЗА СОСТОЯНИЕМ ВОДОХРАНИЛИЩ ПИТЬЕВОГО И ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВОГО НАЗНАЧЕНИЯ БАРЕНЦЕВО-БЕЛОМОРСКОГО БАССЕЙНОВОГО ОКРУГА

Извекова О.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение по водному хозяйству
«Двинарегионводхоз», г.Архангельск
E-mail: office@fgudvina.ru

Аннотация. В статье рассмотрены основные аспекты организации мониторинга за состоянием водохранилищ федерального значения в Баренцево-Беломорском бассейновом округе.

Ключевые слова: мониторинг, поверхностные водные объекты, водохранилище.

ARRANGEMENT OF MONITORING THE STATE OF RESERVOIRS FOR DRINKING AND DOMESTIC PURPOSES IN THE BARENTS-WHITE SEA BASIN DISTRICT

Izvekova O.V.

Federal state budget institution on water economy “Dvinaregionvodkhoz”, Arkhangel’sk

Abstract. The article deals with the main aspects of monitoring the state of reservoirs of Federal importance in the Barents-White Sea basin district.

Keywords: monitoring, surface water bodies, reservoir.

Баренцево-Беломорский бассейновый округ – один из 20 бассейновых округов России, определённых в Водном Кодексе. включает водные объекты бассейнов Баренцева и Белого морей на Кольском полуострове и Карельском перешейке. Граница между Баренцево-Беломорским и Двинско-Печорским бассейновыми округами проходит по водоразделу бассейна р. Онега. Большая

часть района лежит за Северным полярным кругом. Характерной особенностью Баренцево-Беломорского бассейнового округа является значительная протяжённость морской границы – длина береговой линии достигает 2000 км. Баренцево-Беломорский округ расположен на территории 2 субъектов РФ - Мурманской области и Республики Карелия, захватывает небольшой участок Архангельской области.



Рис. 1. Баренцево-Беломорский бассейновый округ

Ведение мониторинга водохранилищ Иовское, Князегубское, Борисоглебское, Янискоски, Кайтакоски, Раякоски Мурманской области и Республики Карелия, входящих в Перечень водоемов, которые полностью расположены на территориях соответствующих субъектов Российской Федерации и использование водных ресурсов которых осуществляется для обеспечения питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения двух и более субъектов Российской Федерации, утвержденный распоряжением Правительства РФ от 31.12.2008 г. №2054-р (ред. от 02.09.2015 г.) (далее Перечень), на территории Баренцево-Беломорского округа в соответствии с Уставом и Государственным заданием, осуществляет ФГБУ «Двинарегионводхоз» (далее Учреждение) - организация, подведомственная Федеральному агентству водных ресурсов. При проведении мониторинга используются сведения Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор), а также сведения, полученные в результате наблюдений крупных водопользователей. Наблюдения осуществляются посредством обследований водных объектов и их частей, водохозяйственных систем, включая ГТС, отбора проб воды, донных отложений и проведения физико-химических анализов поверхностных вод в основные фазы гидрологического режима. Учреждение выполняет работы на основании лицензии Росгидромета на осуществление деятельности в области гидрометеорологии и смежных с

ней областях (регистрационный номер Р/2012/1987/100/Л от 10 февраля 2012 г), гидрохимическая лаборатория аккредитованна в системе аккредитации аналитических лабораторий и центров (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.516033).

Цель мониторинга: оценка состояния качества поверхностных вод водных объектов; оценка состояния дна, берегов и водоохраных зон водных объектов; оценка состояния водохозяйственных систем, в том числе, гидротехнических сооружений; своевременное выявление и прогнозирование развития негативных процессов, влияющих на состояние водных объектов и качество их водных ресурсов, для разработки и реализации мер по их предотвращению; анализ состояния наблюдательной сети, определение ее достаточности для решения федеральных задач, исключение дублирования функций, оценка эффективности осуществляемых мероприятий по охране водных объектов, передача сведений о состоянии водных объектов Учредителю. Полученные данные используются при подготовке ежегодных информационных бюллетеней о состоянии водных объектов, дна, берегов водных объектов, их морфометрических особенностей, водоохраных зон водных объектов, количественных и качественных показателей состояния водных ресурсов, состояния водохозяйственных систем, в том числе гидротехнических сооружений, ведение которых осуществляется в системе ПИАК. Данная программа включает функцию контроля соответствия сроков проведения наблюдений и состава наблюдаемых показателей утвержденным бассейновым программам осуществления государственного мониторинга водных объектов по бассейновым округам. Проводится систематизация сведений, полученных в результате наблюдений, согласно Положению об осуществлении государственного мониторинга водных объектов, утвержденному Постановлением Правительства РФ от 10.04.2007 г. №219 по формам предоставления в Росводресурсы данных мониторинга, полученных участниками ведения государственного мониторинга водных объектов, приказу Минприроды России от 07.05.2008 г. № 111 (формы 25, 26, 27).

В результате ведения мониторинга за состоянием поверхностных вод водных объектов формируется оценка параметров, характеризующих качество вод и его изменение за период исследований. Результаты наблюдений необходимы для определения состава и свойств воды по показателям, регламентированным в нормативных документах, для идентификации источников загрязнения водного объекта и принятия корректирующих мер при обнаружении изменений кратковременного характера, для составления и корректи-

ровки программ дальнейших исследований и для получения результатов в рамках долгосрочного контроля. Наблюдения за состоянием поверхностных вод осуществляются, в соответствии с основными нормативными документами при организации наблюдений за качеством водных ресурсов: ГОСТ 17.1.3.07-82. «Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков»; ГОСТ 17.0.0.01-76 «Система стандартов в области охраны природы и улучшения использования природных ресурсов. Основные положения»; ГОСТ 17.1.3.13-86 «Охрана вод. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнения»; РД 52.24.309-2016 «Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши» и др. Паспортизированные пункты наблюдений организованы на водоемах и водотоках в районах расположения поселков, сточные воды которых сбрасываются в водоемы и водотоки; в местах пересечения государственной границы; замыкающих створов больших и средних рек; устья загрязненных притоков больших водоемов и водотоков. Отбор проб и их транспортировка производится, в соответствии с ГОСТ 31861-2012 «Межгосударственный стандарт. Вода. Общие требования к отбору проб». Объем взятой пробы (5 дм³) соответствует установленному в НД на метод определения конкретного показателя с учетом количества определяемых показателей и возможности проведения повторного исследования.

Мониторинг за состоянием дна, берегов, состоянием и режимом использования водоохраных зон и изменениями морфометрических особенностей водоемов, в соответствии с нормативным документом: «Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 7. Ч. 1. Гидрометеорологические наблюдения на озерах и водохранилищах» проводятся комплексные обследования водохранилищ, включая: оценку состояния водных объектов (дна, берегов и водоохраных зон); систематизацию сведений; выдачу рекомендаций по снижению вредного воздействия вод, предотвращению загрязнения водных объектов, а также по режиму использования водоохраных зон. Выполняются следующие работы: определение гидрологических и морфометрических характеристик водного объекта в пунктах наблюдений (на участках обследования); промеры глубин; фотосъемка с фиксацией координат; обследование акватории и дна водного объекта, береговой полосы, водоохраной зоны в пунктах наблюдений (на участках обследования); позиционирование точек отбора проб и участков обследования с использованием средств спутниковой навигации, непрерывная запись маршрута обследования; сбор исходных данных для подготовки планово-картографических материалов;

камеральная обработка материалов. Учреждение оснащено в полном объеме необходимым производственным оборудованием, средствами измерений, лабораторным оборудованием, транспортными средствами (в том числе гидрографическим комплексом, гидрологическими комплексами и т.д.).

Водоохранилища Кайтакоски, Янискоски, Раякоски, Борисоглебское (Мурманская область)

Река Паз (Патсо-йоки) длиной 117 км вытекает из оз. Инари (Финляндия) и на большей части своего течения является пограничной рекой между Россией и Норвегией. Вместе с оз. Инари р. Паз представляет собой типичную для Кольского севера озерно-речную систему с большой площадью водосборного бассейна – 18300 км². Водные ресурсы р. Паз (Патсо-Йоки) используются каскадом Пазских гидроэлектростанций. Водоохранилища Кайтакоски, Янискоски, Раякоски, Борисоглебское образованы плотинами на р. Паз (Патсо-Йоки) и входят в каскад Пазских ГЭС, состоящий из семи действующих ГЭС: пяти российских и двух норвежских. Водоохранилище Кайтакоски является регулирующим для всего каскада. Населенные пункты Мурманской области, расположенные на берегах водохранилищ, используют их в качестве источников питьевого водоснабжения. Озерно-речная система Патсо-йоки расположена в зоне негативного влияния комбината «Печенганикель» АО «Кольская ГМК». Загрязнение поверхностных вод системы обусловлено как аэротехногенным загрязнением со стороны комбината, так и непосредственным сбросом сточных вод населенных пунктов, расположенных по ее берегам, а также сбросом недостаточно-очищенных сточных вод предприятием филиала «Кольский» ПАО «ТГК №1».

Иовское водохранилище (Мурманская область, Республика Карелия)

Расположено на р. Ковда (Иова) в Кандалакшском районе Республики Карелия (примерно 2/3 акватории) и в Лоухском районе Мурманской области. Водоохранилище озерного типа, осуществляет сезонное регулирование стока, используется в целях энергетики и водоснабжения, активно развивается рекреационная деятельность, рыболовство. В прошлом использовалось для осуществления лесосплава, в настоящее время все работы прекращены. При образовании водохранилища и пуске ГЭС на р. Иова были затоплены прибрежные массивы леса, которые не успели вырубить. На акватории водохранилища наблюдаются стоящие в воде высохшие деревья, масса коряг в прибрежной зоне и берега, заваленные колодами.

Княжегубское водохранилище (Мурманская область)

Расположено на р. Ковда на Кольском полуострове, в Кандалакшском районе Мурманской области. Водоохранилище озерного типа, осуществляет

сезонное регулирование стока, используется в целях энергетики и рыболовства, активно развивается рекреационная деятельность. В прошлом использовалось для лесосплава, в настоящее время все работы прекращены. При образовании водохранилища и пуске Князегубской ГЭС были образованы затоплены – затопленные прибрежные массивы леса, не вырубленные во время подготовки зоны затопления.

Гидрохимический анализ поверхностных вод проводится по 34 показателям.

По результатам наблюдений за 2009-2018 гг. качество поверхностных вод в пунктах локальной системы наблюдений по большинству определяемых показателей не превышает установленных нормативов. По комплексным оценкам качество воды Князегубского и Иовского водохранилищ в большинстве створов характеризуется 2-м классом («слабо-загрязненная»). Основными загрязняющими ингредиентами являются фенолы, железо, медь, алюминий. Качество воды Князегубского водохранилища в створе наблюдения 1 км южнее п. Затон оценивается как «загрязненная» (3 класс качества разряда «а»). К характерным загрязняющим веществам добавляются марганец и цинк.

Таблица 1

Схема организации наблюдений за качеством вод поверхностных водных объектов

№ п/п	Наименование водного объекта	Количество паспортов пунктов локальной системы наблюдений	Количество гидрохимических створов наблюдений
1	Князегубское водохранилище	7	11
2	Иовское водохранилище	3	3
3	Водохранилища Борисоглебское, Янискоски, Кайтакоски, Раякоски	0	4
4	ИТОГО	10	18

Водохранилища Борисоглебское, Янискоски, Кайтакоски, Раякоски расположены в зоне влияния сточных, шахтных, ливневых сточных вод комбината «Печенганикель» АО «Кольская ГМК». По результатам наблюдений за 2009-2018 гг. качество поверхностных вод водохранилищ в зоне гидроузлов по большинству определяемых показателей не превышает установленных нормативов. Характерными загрязняющими веществами бассейна р. Паз являются фенолы, железо, медь, алюминий, марганец, цинк и никель.

Таблица 2

Схема организации наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях

№ п/п	Наименование водного объекта	Количество пунктов наблюдений
1	Князегубское водохранилище	11
2	Иовское водохранилище	3
3	Водоохранилища Борисоглебское, Янискоски, Кайтакоски, Раякоски	4
4	ИТОГО	18

Гидрохимический анализ донных отложений проводится по 7 показателям.

Величина коэффициента донной аккумуляции (КДА) по нефтепродуктам, кадмию, свинцу хрому и никелю (кроме Борисоглебского водохранилища) характеризует удовлетворительную обстановку в водном объекте, т.к. концентрации загрязняющих веществ в воде и донных отложениях низкие или ниже предела обнаружения методики. Величина КДА для марганца и меди показывает высокие значения ($n \cdot 10^3$ до $n \cdot 10^4$). Концентрации загрязняющих веществ по никелю, марганцу и меди в воде превышают ПДК, что может свидетельствовать как о природном факторе, так и о поступлении загрязнений. Величина КДА по никелю в Борисоглебском водохранилище показывает невысокие значения ($n \cdot 10^1$ до $n \cdot 10^2$).

Таблица 3

Схема организации наблюдений за состоянием дна водных объектов

№ п/п	Наименование водного объекта	Количество участков наблюдений
1	Князегубское водохранилище	2
2	Иовское водохранилище	1
3	Водоохранилища Борисоглебское, Янискоски, Кайтакоски, Раякоски	3

Таблица 4

Схема организации наблюдений за состоянием берегов водных объектов

№ п/п	Наименование водного объекта	Количество участков наблюдений
1	Князегубское водохранилище	1
2	Иовское водохранилище	2
3	Водоохранилища Борисоглебское, Янискоски, Кайтакоски, Раякоски	2

Береговая полоса Иовского и Княжегубского водохранилищ подвержена крайне незначительным разрушениям, в основном, в результате ветровой эрозии, т.к. берег сложен каменистыми породами. Характерной особенностью всех водных объектов водохранилищ является наличие затопленных участков лесополосы. Водохранилища Раякоски, Янискоски, Кайтакоски, Борисоглебское – руслового типа. Прилегающая местность холмистая, растительность представлена хвойными породами, по берегам древесной и кустарниковой растительностью. Русло песчано-каменистое, зарастанию не подвергается. Берега пологие каменистые, сложены песчаными грунтами, размыву и разрушению не подвержены.

Таблица 5

Схема организации наблюдений за состоянием водоохраных зон

№ п/п	Наименование водного объекта	Количество участков наблюдений
1	Княжегубское водохранилище	4
2	Иовское водохранилище	1
3	Водохранилища Борисоглебское, Янискоски, Кайтакоски, Раякоски	1

Антропогенная нагрузка в водоохранной зоне практически отсутствует. Режим использования водоохраных зон нарушается путем загрязнения и засорения береговой полосы общего пользования стволами деревьев и остатками лесосплава, проездом и стоянками транспорта в необорудованных для этого местах. На водохранилищах активно развивается туризм и рыболовство.

Таким образом, в настоящий момент сформирована необходимая и достаточная сеть для ведения Учреждением мониторинга за состоянием водохранилищ, входящих в Перечень водоемов, которые полностью расположены на территориях соответствующих субъектов Российской Федерации и использование водных ресурсов которых осуществляется для обеспечения питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения двух и более субъектов Российской Федерации, утвержденный распоряжением Правительства РФ от 31.12.2008 г. №2054-р (ред. от 02.09.2015 г.), на территории Баренцево-Беломорского округа.

ОПЫТ ВЕДЕНИЯ МОНИТОРИНГА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ: ПРОБЛЕМЫ, ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Михайлов А.В., Дудин Д.В.

Камское бассейновое водное управление Федерального агентства водных ресурсов
E-mail: ovrkirov@e-kirov.ru

Аннотация. Статья об опыте ведения мониторинга поверхностных водных объектов в Кировской области содержит информацию об участниках ведения государственного мониторинга водных объектов на территории субъекта, фактическом поступлении данных наблюдений в Камское БВУ, а также проблемы и предложения по достижению целей ведения государственного мониторинга водных объектов - оценки эффективности осуществляемых мероприятий по охране водных объектов и информационного обеспечения управления в области использования и охраны водных объектов.

Ключевые слова: Государственный мониторинг, водные объекты, Росводресурсы, Росгидромет, Камское БВУ.

EXPERIENCE OF CONDUCTING MONITORING OF SURFACE WATER BODIES IN KIROV REGION: PROBLEMS, SUGGESTIONS

Mikhailov A. V., Dudin D. V.

Kama basin water department of Federal Agency for water resources

Abstract. The article on the experience of surface water bodies monitoring in Kirov region contains information about the participants of the state monitoring of water bodies on the territory of the subject, the actual receipt of observation data in the Kama STB, as well as problems and proposals to achieve the objectives of the state monitoring of water bodies - evaluation of the effectiveness of measures taken to protect water bodies and information support management in the use and protection of water bodies.

Keywords: State monitoring, water bodies, Rosvodresursy, Roshydromet, Kama BWD.

Роль мониторинга в управлении экологической ситуацией на водных объектах закреплена законодательно в Водном Кодексе Российской Федерации (ст. 30), который определил целевые задачи мониторинга, по сути, как задачи поддержки управляющих решений. Эта точка зрения, даже выраженная законодателем, пока еще не стала повсеместно принятой. Многие специалисты и даже администраторы, определяющие пути развития и текущее функционирование государственных систем мониторинга, до сих пор уверены, что мониторинг – это всего лишь процесс бесстрастного наблюдения, а далее каждый волен использовать эти данные для любых, волнующих его целей.

На территории Кировской области отсутствуют водоемы, указанные в Распоряжении Правительства РФ от 31.12.2008 г. N 2054-р «Об утверждении перечня водоемов, которые полностью расположены на территориях соответ-

ствующих субъектов Российской Федерации и использование водных ресурсов которых осуществляется для обеспечения питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения двух и более субъектов Российской Федерации», соответственно, постов наблюдений Росводресурсов на территории области нет.

Наблюдения за количественными и качественными показателями водных объектов в настоящее время осуществляется на государственной наблюдательной сети (ГУ «Кировский областной центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» ведет наблюдения на 16 реках, 22 постах, 29 створах по 32 ингредиентам) и на «локальном уровне» (наблюдения за качеством сточных и поверхностных вод осуществляются порядка 180 водопользователей).

Качественная оценка поверхностных водных объектов проводится по наблюдениям водопользователей, так как информация от ФГБУ «Кировский ЦГМС», начиная с 2014 г. в Камское БВУ не поступает. По данным водопользователей, качество в воды в реках Кировской области в местах водопользования практически не меняется. По результатам оценки установлено, что качество поверхностных вод на участках сброса сточных вод изменялось в широких пределах: от «чистых» до «чрезвычайно грязных» вод (2–7 классы).

Основной вклад в загрязнение водных объектов вносят сточные воды, содержащие повышенные концентрации железа, ионов аммония, нитрит-анионов, нефтепродуктов, показателей БПК и (или) ХПК. Уровень загрязненности воды этими ингредиентами различен, в основном, «низкий» или «средний» (кратность превышения ПДК от 1 до 10–30). Кроме того, отмечается «высокое загрязнение» поверхностных вод в фоновых створах, обусловленное природными и (или) антропогенными факторами, из-за наличия в воде большого количества соединений железа, азота (ионы аммония, нитрит-анионы), органических веществ (БПК, ХПК), меди или фосфатов. На участках водопользования около 60 % организаций в контрольных створах отмечено сверхнормативное количество взвешенных веществ (приращение к фону составляет более 0,25–0,75 мг/дм³).

Качество поверхностных вод в контрольных створах около 80 % водопользователей было удовлетворительным, сточные воды предприятий не ухудшали их качество.

Наиболее распространёнными загрязняющими веществами в поверхностных водах являются железо, соединения азота, трудноокисляемые органические вещества (по ХПК), нефтепродукты и фенолы, концентрации которых стабильно превышают предельно допустимые концентрации для водоемов

рыбохозяйственного пользования, чаще всего, на низком уровне (1–2 ПДК) или среднем (2–10 ПДК; для железа, нефтепродуктов, меди и фенолов – 2–30 ПДК) по классификации РД 52.24.643-2002.

Повышенные содержания данных веществ обусловлены, в том числе, и природными факторами. Учитывая, что источниками водоснабжения гг. Киров, Слободской и Кирово-Чепецк являются поверхностные водные объекты (рр. Вятка, Чепца и Быстрица), улучшение качества воды в поверхностных водных объектах Кировской области является одной из приоритетных задач, решаемых органами власти Кировской области.

К сожалению, оценивать эффективность выполнения водоохраных мероприятий, прогнозировать изменение качественных и количественных характеристик водных объектов без данных, полученных территориальными подразделениями Росгидромета, невозможно.

В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 10 апреля 2007 г. N 219 «Об утверждении Положения об осуществлении государственного мониторинга водных объектов» координация, сбор, и обобщение данных от всех участников мониторинга водных объектов, проведение общей оценки и прогнозирование возложено на Федеральное агентство водных ресурсов.

Порядок и формы представления в Федеральное агентство водных ресурсов данных мониторинга, полученных участниками ведения государственного мониторинга водных объектов, определены двумя приказами МПР России от 6 февраля 2008 г. N 30 и от 7 мая 2008 г. N 111.

Согласно данным приказам (рис. 1), все участники мониторинга или заинтересованные органы передают информацию напрямую в Росводресурсы частотой один раз в год, причем основной участник – Росгидромет – передает данные за позапрошлый год по створам, согласованным с Росводресурсами. Для территории Кировской области (имеющей 10 водохозяйственных участков) это только один (замыкающий) створ – на р. Вятка, на границе с республикой Татарстан.

Следовательно, главная цель ведения государственного мониторинга водных объектов (ст. 30 ВК РФ) – своевременное выявление и прогнозирование развития негативных процессов, влияющих на качество воды и состояние водных объектов, разработка и реализация мер по предотвращению вредных последствий этих процессов – не может быть выполнена.

Органы исполнительной власти субъектов РФ не имеют правовой основы по проведению гидрохимических наблюдений, водопользователи передают в территориальные отделы Росводресурсов только данные морфометриче-

ских наблюдений и данные о водоохраных зонах (обязанность представления данных о качестве поверхностных водных объектов приказами МПР не определена).

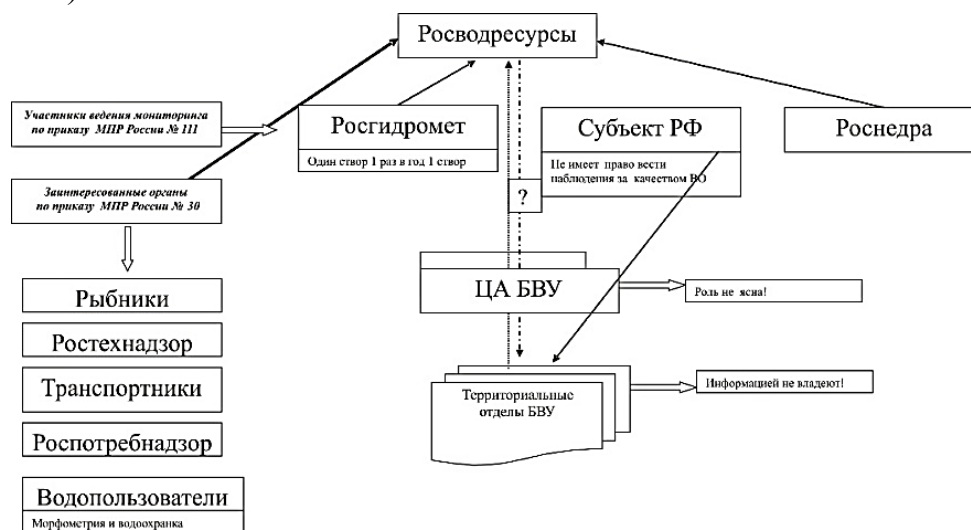


Рис. 1. Схема информационных потоков и взаимодействия участников мониторинга водных объектов и заинтересованных органов в соответствии с приказами МПР России

В результате, территориальные органы исполнительной власти федерального и областного уровней не владеют (а точнее – не имеют права владеть) информацией о состоянии водных объектов (в том числе на участках водных объектов, подверженных значительному антропогенному воздействию и не охваченных государственной наблюдательной сетью, по определению). Таким образом, не выполняется целевое назначение мониторинга, установленное в Водном Кодексе – информационное обеспечение управления в области использования и охраны водных объектов, в том числе, для государственного контроля и надзора за использованием и охраной водных объектов.

Считаем необходимым устранить указанные недостатки в соответствующих нормативных правовых документах.

Приведенная на рис. 1 схема взаимодействия и передачи информации, составленная на основе действующих правовых и нормативных документах, не обеспечивает эффективного ведения мониторинга. Поэтому, помимо предложения об изменениях в нормативных правовых документах, Росводресурсы, на которые возложена функция координатора ведения мониторинга поверхностных водных объектов, находящихся в федеральной собственности, должны определить (установить), выстроить систему осуществления государственного мониторинга.

Сбор, обработка и анализ данных от всех участников мониторинга, включая Росгидромет, водопользователей и заинтересованные органы, должны начинаться на территориальном уровне, передаваться и обобщаться на бассейновый уровень и окончательно аккумулироваться на федеральном уровне (рис. 2).

Для этого обеспечения необходимо создание на территории каждого субъекта РФ территориальных центров мониторинга как филиалов (отделов), имеющих во многих БВУ ФГУ «... регионводхоз» (или их аналоги), подведомственных Росводресурсам. Во многих субъектах такие структуры имеются, им необходимо только придать соответствующий статус. А в тех бассейновых округах, где они отсутствуют, необходимо создать или придать соответствующий статус аналогам, одновременно создав филиалы (отделы) этих ФГУ в субъектах федерации. На рис. 3 показана схема взаимодействия и информационных потоков в предлагаемой системе. Вполне очевидна необходимость создания Федерального центра государственного мониторинга водных объектов, который должен аккумулировать всю сводную информацию по России, в целом, и осуществлять методическое руководство деятельностью бассейновых центров.

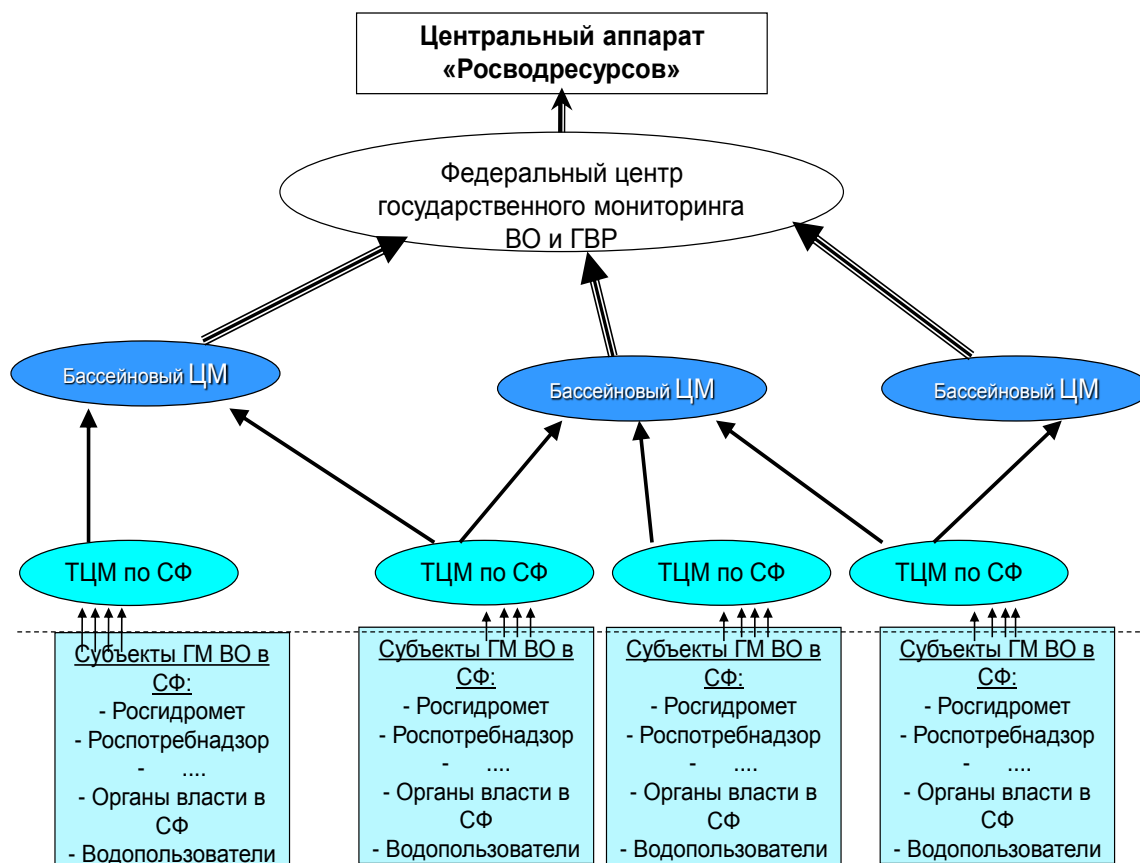


Рис. 2. Предлагаемая схема информационных потоков при ведении государственного мониторинга водных объектов

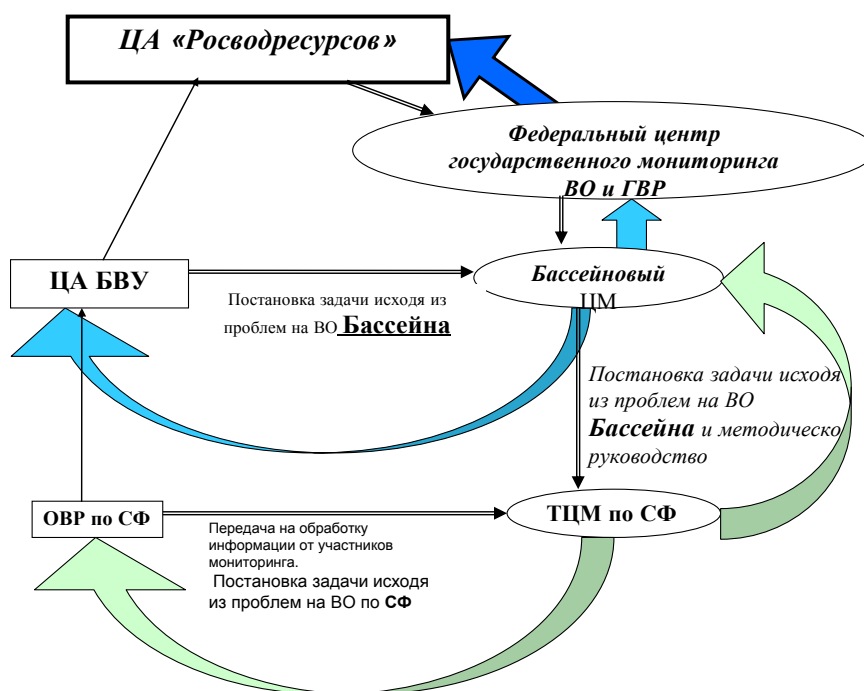


Рис. 3. Предлагаемая структура организации государственного мониторинга водных объектов в системе Росводресурсов

Естественно, необходимо будет разработать пакет документов по программно-методическому обеспечению мониторинга водных объектов в системе Росводресурсов. Эти документы должны обеспечивать эффективное выполнение задач, стоящих перед Росводресурсами (по всей вертикали: от отделов водных ресурсов и территориальных центров мониторинга по субъектам федерации - БВУ и бассейновых центров мониторинга – до Федерального центра мониторинга и ЦА Росводресурсов) в современных эколого-экономических условиях; предусматривать сотрудничество, интеграцию и координацию усилий с заинтересованными органами исполнительной власти.

Практическое внедрение предложений может осуществляться путем выделения «опытных» регионов, стажировок и обучающих семинаров для предполагаемых участников мониторинга в системе Росводресурсов.

МНОГОУРОВЕННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ВОДОХРАНИЛИЩ

Шабанов В.В., Маркин В.Н.

ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, институт мелиорации,
водного хозяйства и строительства им. А.Н. Костякова, г. Москва
E-mail: 5VVsh@rambler.ru

Аннотация. Водоохранилища – это крупномасштабный искусственный водоем, созданный для управления водными ресурсами, что определяет особенности их формирования и использования. В работе даны предложения по учету данных особенностей при ведении мониторинга.

Ключевые слова: водохранилище, методы и средства мониторинга, расчетный мониторинг, авиакосмическое зондирование.

MULTILEVEL SYSTEM OF RESERVOIR MONITORING

Shabanov V.V., Markin V.N.

RSAU-MTAA named after K. A. Timiryazev, Institute of land reclamation,
water management and construction named after A. N. Kostyakov

Abstract. Reservoirs are large-scale artificial water bodies created for water resources management. This determines the peculiarities of their formation and use. The article presents specific proposals for taking into account these peculiarities in monitoring.

Keywords: reservoir, methods and means of monitoring, computational monitoring, aerospace remote sounding.

Государственный мониторинг водохранилищ включает: контроль количества и качества воды в водохранилище и гидравлически связанных с ним поверхностных и подземных водных объектов; мониторинг состояния дна, берегов и водоохраных зон; мониторинг подземных вод, гидравлически связанных с водохранилищем; наблюдения за водохозяйственными системами и сооружениями; контроль использования водных ресурсов.

Антропогенное воздействие на водные объекты ведет к ухудшению их экологического состояния, что создает проблемы при использования водных ресурсов. В отношении водохранилищ – уже само их создание оказывает негативное воздействие на окружающую среду, а активное использование проблему усугубляет. Решение проблем осложняется рядом факторов: количество источников негативного воздействия и их разнообразие увеличивается; совместное действие нескольких факторов оказывает большее влияние на экосистему, чем их влияние по отдельности, даже при воздействии в допустимых пределах; возрастание роли причинно-следственных связей, приводящее к тому, что последствия, вызванные какой-либо причиной, или их

совокупностью, перерастают в причины, в свою очередь, порождая ряд последствий.

В соответствии с «Законом необходимого разнообразия» [1], управление сложными природно-техническими системами, каковыми являются водохранилищные гидроузлы, возможно только сложными механизмами. Это требует развития многообразных структур и методов, что, в полной мере, относится к мониторингу.

В России используются более 30 тыс. водохранилищ и прудов общим объемом свыше 800 км³ и полезным объемом 342 км³ (43 % от общего объема воды) [2]. Однако только для 356 водохранилищ разработаны правила их использования [3], которые предусматривают ведение мониторинга за состоянием водохранилищ и гидротехнических сооружений, включающие контроль: изменения стока воды, химического и биологического составов воды, движения наносов, заиления, изменения берегов и других параметров [4]. Остальные водохранилища практически не охвачены системой наблюдений. В данной ситуации решение вопросов контроля состояния и использования водохранилищ возможно путем формирования многоуровневой системы мониторинга, которая строится по принципу системного подхода «от контроля общей ситуации на крупномасштабной территории к детализации, с частичным дублированием информации». Многоуровненность рассматривается в пространственно-временном отношении и использовании разнообразных методов и средств мониторинга. Данная схема позволяет:

- получать необходимые сведения о любом контролируемом объекте, в целом, и его отдельных участках;
- восполнять ряды наблюдений (например, в условиях потери части данных или пропуска наблюдений);
- контролировать всю территорию и получать сопоставимые в пространственно-временном отношении данные.

Мониторинг водохранилищ отличается от мониторинга природных водных объектов тем, что это крупномасштабные искусственные водоемы, созданные для управления водными ресурсами. Это определяет их гидрологический режим (и зависящие от него гидрохимический и гидробиологический режимы), а значит, этому и должна быть подчинена система мониторинга. Основные требования к мониторингу водохранилищ:

- оперативность и достоверность на фоне относительной простоты и снижения трудоемкости;

– охват всего водохранилища и территории формирования объемов притока воды и его качественного состава (это необходимо, учитывая, как то, что любой водный объект – это продукт его водосборной площади, так и негативное влияние водохранилища на прилегающие территории);

– осуществление постоянного контроля (необходимость связана с формированием базы данных, обеспечением сопоставимости и достоверности результатов, возможностью контроля разовых, периодических и случайных явлений);

– обеспечение безопасности для природных биогеоценозов и жизнедеятельности человека (водохранилище следует рассматривать как источник повышенной опасности).

Система наблюдений делится по периодичности.

• **Постоянные наблюдения** – проводятся в пунктах стационарной сети наблюдений за гидрологическими, гидрохимическими и гидробиологическими параметрами. Они позволяют контролировать характерные зоны водохранилища (верховье, среднюю и при плотинную, которые существенно отличаются по всем режимам, свойственным водным объектам) и нижний бьеф (результат управления водными ресурсами).

• **Периодические наблюдения** – проводятся в местах подверженных медленно протекающим процессам (например, русловым процессам, влиянию водохранилищ на подземные воды), с целью выявления общих закономерностей и прогноза опасности их развития. Периодические наблюдения проводятся и для изучения конкретных вопросов.

• **Разовые наблюдения** – проводятся в местах быстро протекающих процессов (например: аварии, залповые сбросы, оползни).

Объект мониторинга водохранилищ включает:

– само водохранилище (контроль: наполнения и сработки, качество воды);
– дно и берега водохранилища (контроль процессов отложения наносов, изменения глубины, мелководные и глубоководные зоны);

– водоохранная зона водохранилища (контроль состояния и использования зоны);

– водосборную площадь водохранилища и территорию формирования основного притока воды с вышележащего участка (позволяет контролировать диффузные источники загрязнения, использование водосборной площади, условия формирования стока воды с водосбора).

Мониторинг водохранилищ включает разнообразные методы, в том числе, авиакосмические, физико-химические, биологические.

Авиакосмические методы позволяют контролировать все пространство наземных объектов, водную акваторию и подводную часть водохранилища. В результате оценивается общая ситуация на объекте, и выявляются проблемные зоны (например, оползнеопасные участки, положение уровня грунтовых вод, руслоформирование, глубина воды в водохранилище, площади мелководий, зарастания). Проводится оценка необходимости детального исследования проблемных зон наземными средствами или с помощью беспилотных летательных аппаратов.

Авиакосмические методы основаны на сканировании поверхности объекта, поэтому позволяют получать «визуальные» характеристики объекта, которые могут быть косвенно связаны с необходимыми для контроля параметрами. В данном случае требуется установление связи между «визуальными» параметрами (получаемыми авиакосмическими методами) и параметрами, необходимыми для контроля состояния и использования водных ресурсов водохранилища (которые получаются другими методами).

Физико-химические методы – основные методы контроля объемов и качества воды, которые используются для управления водными ресурсами, обоснования водохозяйственных и водоохраных мероприятий. Данные методы позволяют непосредственно получать необходимые для управления количеством и качеством воды параметры.

Биологические методы позволяют дать комплексную оценку состояния водной толщи и донных отложений и обладают рядом достоинств: относительная простота; достоверность, информативность и сопоставимость результатов (например, с физико-химическими методами); оперативность и объективность получаемой информации; низкая относительная стоимость.

Биотический подход реализуется набором методов, необходимых для получения оценок состояния сообществ, с помощью которых можно отличить экологически благополучную экосистему от экосистемы с существенными изменениями, вызванные внешними, в первую очередь, антропогенными воздействиями. Систематический контроль изменения выбранных оценок состояния составляет основу биологической части экологического мониторинга. Выявление физико-химических изменений экосистемы позволит отслеживать изменение условий существования биоты и количественно определять ее выход за пределы стабильного существования. В полной мере этими достоинствами обладает метод [5], основанный на анализе представителей макрозообентоса.

Средства мониторинга включают:

– средства авиа и космического зондирования (в том числе, использование беспилотных летательных аппаратов);

– наземные средства наблюдения (в том числе, использование плавающих средств, осуществляющих мониторинг, в том числе, и дистанционно управляемых);

– расчетный мониторинг (использующий математические модели, позволяющие прогнозировать развитие негативных процессов, анализировать эффективность разных управляющих воздействий для выбора наиболее приемлемых, прогнозировать развитие процессов, тем самым осуществлять постоянный контроль в труднодоступных зонах).

Средства авиа и космического зондирования позволяют проводить наблюдение объектов авиационными и космическими средствами. Авиакосмические аппараты для исследования водных объектов оснащаются оптической или радиолокационной аппаратурой [6]. Использование авиакосмических снимков для наблюдения за деформациями ложа водохранилища имеет преимущество в масштабности, что позволяет обнаружить проблемные зоны (например, оползнеопасные участки, скопления льда, пятна нефтяных загрязнений). Это дает интегральную оценку ситуации на объекте мониторинга и существенно дополняет наземные наблюдения. К преимуществам использования средств авиакосмического зондирования относятся [7]:

– повышение эффективности прикладных гидрологических наблюдений для целей водохозяйственного управления в условиях значительных антропогенных нагрузок. Результаты съемок объединяются в единую геоинформационную систему и используются для управления водными ресурсами водохранилища;

– высокая разрешающая способность [8] 0,7...2 м, шириной полосы съемки 7...13,5 км;

– широкое развитие методов дистанционного мониторинга и тенденция к удешевлению инструментальных средств и программного обеспечения делает эти методы перспективными для широкого использования в практике мониторинга морфометрических, гидрологических и гидрохимических параметров водных объектов;

– широкий ряд беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) дает возможность оперативного мониторинга больших территорий и зон бедствий. БПЛА высокоэффективны, относительно дешевы и просты в эксплуатации, могут быть подготовлены к полёту в короткое время и оснащены необходимыми средствами съемки.

Расчетные средства мониторинга используются с целью прогноза угрозы негативного проявления природных или антропогенных процессов, что обосновано необходимостью:

- своевременного выявления изменений состояния объекта мониторинга;
- оценки и прогноза возможных последствий для ухудшения использования водных ресурсов водохранилища;
- выработки рекомендаций по предупреждению и устранению негативных последствий;
- информационного обеспечения заинтересованных лиц.

Возможности мониторинга при использовании расчетных методов расширяются [9], так как происходит не только измерение базовых параметров, но и прогноз параметров, измерение которых затруднено или невозможно.

Математическое моделирование как основное средство расчетного мониторинга позволяет определять проблемные участки, которые могут возникнуть при определенных условиях, и обосновать проведение мероприятий по устранению негативных последствий для экологического состояния водного объекта. Появляется возможность выявить и обратить внимание на потенциально опасные, с экологической точки зрения, участки (например, участки, где отмечаются быстропротекающие процессы: загрязнение, заиление, зарастание). Это позволяет провести районирование по степени опасности и наметить водоохранные мероприятия, что может стать результатом расчетного мониторинга. Таким образом, можно выделить следующие достоинства расчетного мониторинга.

1. Служит инструментом для принятия управленческих решений.
2. Позволяет провести контроль любой точки объекта (особенно труднодоступных мест) в любой момент времени.
3. Применяется для анализа и прогноза развития природных и антропогенных процессов.
4. Позволяет оперативно следить за состоянием и использованием водных объектов.
5. Позволяет получать карты изменения состояния водохранилища, в том числе, рыбопродуктивности, в зависимости от изменения условий внешней среды.
6. Осуществляет прогноз возможных ситуаций при изменении условий антропогенной нагрузки и климата.
7. Дает гибкую, адаптируемую к изменяющимся условиям и потребностям систему, которая позволяет извлекать, анализировать и критерияльно оценивать данные в различных контекстах, обеспечивая многоцелевой анализ.

Таким образом, средства наземной разведки являются ведущими средствами мониторинга, используя физико-химические и биологические методы. Средства авиакосмического зондирования и расчетного мониторинга расширяют пространственно-временные пределы наземных наблюдений.

Проведение мониторинговых исследований водохранилищ предлагается в соответствии с блочной структурой, основанной на многоуровневом делении объекта по территориальному признаку, с привлечением разных средств и методов контроля. Получаемые данные в разных блоках должны быть автономны и сопоставимы между собой, с частичным дублированием. Данная схема позволяет получать необходимую информацию для любого участка по необходимому параметру, проверять их достоверность, восполнять ряды отсутствующих наблюдений, контролировать всю территорию и получать данные, сопоставимые в пространственно-временном отношении.

Список литературы

1. Реймерс Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник / М.: Мысль, 1990. 639 с.
2. Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года и плана мероприятий по ее реализации: распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 августа 2009 г. N 1235-р
3. Перечень водохранилищ, в отношении которых разработка правил использования водохранилищ осуществляется для каждого водохранилища: распоряжение Правительства Российской Федерации от 14 февраля 2009 г. № 197-р с изменениями, внесенными от 28 августа 2018 г. N 1799-р.
4. Методические указания по разработке правил использования водохранилищ: приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 26 января 2011 г. № 17.
5. Николаев С.Г. Биоиндикация уровней загрязнения водотоков. Госкомгидромет. 1992. С.18
6. Прокачева В.Г., Усачев В.Ф. Аэрокосмическая информация при оценке водных ресурсов. СПб.: Гос. гидролог. ин-т, 2009. С.17
7. Шабанов В.Н. Ведение мониторинга водных объектов в современных условиях: [монография] / В.В. Шабанов, В.Н. Маркин. М: РГАУ-МСХА, 2015. 151 с.
8. Космические съемочные системы сверхвысокого разрешения – [Электронный ресурс] – ИННОТЕРН – [режим доступа] - <https://innoter.com/articles/kosmicheskie-setmochnyye-sistemy/> (дата обращения 21.03.2019)
9. Голованов А.И., Шабанов В.В. Система математических моделей расчетного мониторинга мелиорируемых земель// Межрегион. конф. МКЖД "Производство продовольствия и вода: социально-экономические проблемы ирригации и дренажа" Россия, 8-10 сентября 2004. 9 с.

СОЗДАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПО СВЕДЕНИЯМ О БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ, ГРАНИЦАХ ВОДООХРАННЫХ ЗОН, ЗОН ЗАТОПЛЕНИЯ, ПОДТОПЛЕНИЯ, ВНЕСЕННЫХ В ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ВОДНЫЙ РЕЕСТР

Шаткова М.Е.

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Российский информационно-аналитический научно-исследовательский водохозяйственный центр»,
г. Ростов-на-Дону
E-mail: shatkova67@mail.ru

Аннотация. В докладе рассмотрены вопросы создания и использования геоинформационной системы по сведениям о береговой линии, границах водоохраных зон и прибрежных защитных полос, зон затопления, подтопления, внесенных в государственный водный реестр.

Ключевые слова: геоинформационная система, береговые линии, водоохраные зоны, прибрежные защитные полосы, государственный водный реестр, Единый государственный реестр недвижимости.

CREATION OF A GEOINFORMATION SYSTEM FOR INFORMATION ABOUT THE COAST LINE, THE BOUNDARIES OF WATERPROOF ZONES, FILLING ZONES, WATERFILLS, MADE IN THE STATE WATER REGISTER

Shatkova M.E.

Russian Information Analytical and Research Water Economy Center, Rostov-on-Don

Abstract. The report considers the creation and use of a geographic information system based on information about the coastline, the boundaries of water protection zones and coastal protection zones, flood zones, flooding, entered in the state water register.

Keywords: geographic information system, coastlines, water protection zones, coastal protection zones, state water register, Unified state real estate register.

В соответствии с Водным кодексом РФ в государственный водный реестр (далее-ГВР) включаются документированные сведения в том числе о водоохраных зонах и прибрежных защитных полосах (далее-ВЗ и ПЗП), зонах затопления, подтопления и о местоположении береговой линии (границы водного объекта) [1]. В соответствии с постановлениями Правительства РФ от 10.01.2017 № 17, от 29.04.2016 № 377 и от 18.04.2014 № 360 состав предоставляемых сведений должен содержать текстовое и графическое описание местоположения границ такой зоны, перечень координат характерных точек этих границ в системе координат, установленной для ведения Единого государственного реестра недвижимости (далее-ЕГРН) [2, 3, 4]. Согласно Федеральному закону от 13.07.2015 N 218-ФЗ «О государственной регистрации недвижимости» для ведения ЕГРН используются установленные в отношении

кадастровых округов местные системы координат с определенными для них параметрами перехода к единой государственной системе координат. Местная система координат устанавливается в отношении ограниченной территории, не превышающей территорию субъекта Российской Федерации [5].

Предоставляемый состав материалов дал возможность включить внесенные в ГВР сведения в единую базу геоданных и создать на основе этой базы геоинформационную систему. Для создания ГИС выполнены следующие этапы работ.

На первом этапе выполнен анализ материалов: определен состав информации, подлежащей включению в базу геоданных, определены картографические слои, принцип пространственного описания слоя (точечный линейный, площадной). Для унифицированного отображения объектов при создании единой базы геоданных разработан классификатор, обеспечивающий кодирование пространственных объектов. В результате сформирован набор данных, содержащий пространственную и атрибутивную информацию. Для пространственного отображения картографических слоев использовались каталоги координат характерных точек береговых линий, границ ВЗ и ПЗП, зон затопления, подтопления, содержащиеся в файлах, сформированных с использованием схем для формирования документов в формате XML, в системе координат, установленной для ведения ЕГН. Данное условие выполнено с целью идентичности сведений, внесенных в ГВР и ЕГН. В структуру атрибутивных таблиц для картографических слоев: береговые линии, границы водоохраных зон и прибрежных защитных полос, зон затопления, подтопления – включены поля: название водного объекта или бассейна рек, код водного объекта, название субъекта, на территории которого находится водный объект, – обеспечивающие связь пространственных объектов с данными АИС ГВР.

На втором этапе по сформированным наборам данных выполнено построение цифровой модели с использованием программного обеспечения ГИС «ПАНОРАМА». В соответствии с разработанным классификатором получено отображение пространственных объектов согласно созданным условным знакам. В структуру атрибутивных таблиц слоев береговых линий, границ водоохраных зон и прибрежных защитных полос водных объектов включено поле, обеспечивающее возможность автоматизированного размещения подписей к пространственным объектам на карте. Но для отображения полученной графики в виде электронной карты необходимо задание проекции. Такая возможность предусмотрена в программном обеспечении ГИС «ПАНОРАМА». Указанная программа обеспечивает поддержку наиболее распространенных проекций и местных систем координат, принятых для ве-

дения ЕГРН. Задание проекции позволило совмещать полученный ГИС с популярными картографическими ресурсами Google Maps, OpenStreetMap (подключать их в качестве подложки), с публичной кадастровой картой. В дальнейшем планируется использование в качестве подложки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и материалов, полученных с беспилотных летательных аппаратов. Данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с космических комплексов «Ресурс-П» и «Канопус-В» поступают в Росводресурсы в соответствии с положением о планировании космических съемок, приеме, обработке, хранении и распространении данных дистанционного зондирования Земли с космических аппаратов гражданского назначения высокого (менее 2 метров) разрешения, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 10.06.2005 № 370 в целях организации и осуществления мониторинга водных объектов в части наблюдения за состоянием дна, берегов, состоянием и режимом использования водоохраных зон и изменениями морфометрических особенностей водоемов, включенных в перечень, утвержденный распоряжением Правительства РФ от 31.12.2008 № 2054-р [6,7]. Космическая съемка ДЗЗ выполнялась при помощи панхроматической или мультиспектральной съемочных систем.

Созданная геоинформационная система используется при анализе новых поступающих для внесения в ГВР сведений, особенно по уточнению местоположения береговых линий, по изменению границ ВЗ и ПЗП, при выполнении работ по установлению ВЗ и ПЗП в несколько этапов на территории одного субъекта, а также при рассмотрении поступающих из Росводресурсов запросов. Например, подключение в качестве подложки публичной кадастровой карты Росреестра дает возможность установить земельные участки, попадающие в границы ВЗ и ПЗП.

Список литературы

1. Водный кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс]: Федер. закон РФ от 03.06.2006 N 74-ФЗ [Последняя редакция с изменениями и дополнениями от 27.12.2018]. – Консультант Плюс, 1997-2019. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_60683/ (дата обращения 16.07.2019).
2. Об утверждении Правил определения местоположения береговой линии (границы водного объекта), случаев и периодичности ее определения и о внесении изменений в Правила установления на местности границ водоохраных зон и границ прибрежных защитных полос водных объектов [Электронный ресурс]: постановление Правительства РФ от 10.01.2009 N 377 [Последняя редакция с изменениями и дополнениями от 14.12.2018]. – Консультант Плюс, 1997-2019. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_197594/ (дата обращения 16.07.2019).

3. Об утверждении Правил установления на местности границ водоохранных зон и границ прибрежных защитных полос водных объектов [Электронный ресурс]: постановление Правительства РФ от 10.01.2009 N 17 [Последняя редакция с изменениями и дополнениями от 29.04.2016]. – Консультант Плюс, 1997-2019. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_83795/ (дата обращения 30.07.2019).
4. Об определении границ зон затопления, подтопления (вместе с Правилами определения границ зон затопления, подтопления) [Электронный ресурс]: постановление Правительства РФ от 18.04.2014 N 360 [Последняя редакция с изменениями и дополнениями от 17.05.2016]. – Консультант Плюс, 1997-2019. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_162041/ (дата обращения 16.06.2019).
5. О государственной регистрации недвижимости [Электронный ресурс]: Федер. закон РФ от 13.07.2015 N 218-ФЗ [Последняя редакция с изменениями и дополнениями от 02.08.2019]. – Консультант Плюс, 1997-2019. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_182661/ (дата обращения 22.07.2019).
6. Об утверждении Положения о планировании космических съемок, приеме, обработке, хранении и распространении данных дистанционного зондирования Земли с космических аппаратов гражданского назначения высокого (менее 2 метров) разрешения [Электронный ресурс]: постановление Правительства РФ от 10.06.2005 N 370 [Последняя редакция с изменениями и дополнениями от 12.04.2017]. – Консультант Плюс, 1997-2019. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_53953/ (дата обращения 16.06.2019).
7. Об утверждении перечня водоёмов, которые полностью расположены на территориях соответствующих субъектов Российской Федерации и использование водных ресурсов которых осуществляется для обеспечения питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения 2 и более субъектов Российской Федерации [Электронный ресурс]: распоряжение Правительства Российской Федерации от 31 декабря 2008 года № 2054-р [Последняя редакция с изменениями и дополнениями от 02.09.2015]. – Консультант Плюс, 1997-2019. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_83659/ (дата обращения 16.06.2019).

СЕКЦИЯ III.
**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОД,
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И РЕАБИЛИТАЦИИ ВОДОХРАНИЛИЩ**

**ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И СТЕПЕНЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ
ВОДОХРАНИЛИЩ ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ**

***Джамалов Р.Г., Сафронова Т.И., Решетняк О.С., Мяжкова К.Г.,
Власов К.Г.***

Институт водных проблем РАН, г. Москва
E-mail: roald@iwp.ru

Аннотация. Приведен анализ многолетних комплексных исследований состояния Верхневолжских водохранилищ – Ивановского, Угличского, Рыбинского и Горьковского. Показаны особенности гидрологического и гидрохимического режимов изучаемых водохранилищ. Выявлены основные загрязняющие вещества Верхневолжских водохранилищ. Рассмотрены различные типы современного загрязнения природных поверхностных и подземных вод.

Ключевые слова: качество воды, водохранилище, типы загрязнения, гидрохимический режим, гидрология, динамика качества.

**THE CHEMICAL COMPOSITION AND THE POLLUTION DEGREE
OF THE UPPER VOLGA RESERVOIRS**

***Dzhamalov R.G., Safronova T.I., Reshetnyak O.S., Myagkova K.G.,
Vlasov K.G.***

Institute of water problems RAS, Moscow
E-mail: roald@iwp.ru

Abstract. Analysis of long-term comprehensive studies of the state of the Upper Volga reservoirs – ivankovsky, Uglich, Rybinsk and Gorky is carried out. The features of hydrological and hydrochemical regime of the reservoirs studied are estimated. The main pollutants of the upper Volga reservoirs were identified. Modern data on various types of pollution of natural surface and underground waters are analyzed.

Keywords: water quality, reservoir, types of pollution, hadrochemical regime, hydrology, quality dynamics.

Река Волга зарегулирована водохранилищами, образующими Волжско-Камский каскад (9 водохранилищ на р. Волга и 3 – на р. Кама). Полный объем двенадцати крупнейших водохранилищ каскада составляет 168 км³, полезный объем – 80 км³. Крупнейшие водохранилища Волжско-Камского каскада – Ивановское, Угличское, Рыбинское, Горьковское, Чебоксарское, Куйбышевское, Саратовское, Волгоградское на р. Волга, Верхне-Камское, Воткинское

и Нижне-Камское на р. Кама. В данной работе рассмотрены только Верхне-волжские водохранилища - Ивановское, Угличское, Рыбинское и Горьковское. Крупнейшие притоки Верхней Волги – р. р. Селижаровка, Тьма, Тверца, Молога, Шексна, Которосль и Унжа.

Водный режим на этой территории бассейна р. Волга отличается хорошо выраженным половодьем, довольно устойчивой зимней и летней меженью, а также летне-осенними паводками. Смена гидрологических фаз в течение года и различия в водности отдельных лет вызывают заметные внутригодовые и межгодовые колебания минерализации и химического состава поверхностных вод [1, 2]. Количество осадков на территории района закономерно уменьшается с северо-запада на юго-восток при одновременном повышении температуры воздуха в том же направлении, что обуславливает постепенный переход от зоны избыточного переувлажнения к зоне недостаточного увлажнения.

Проанализированы данные многолетних гидрохимических наблюдений Росгидромета. Анализ качества воды, по данным мониторинга сети наблюдений Росгидромета, проводился по следующим постам:

- Ивановское водохранилище, г. Тверь; г. Конаково;
- Угличское водохранилище, г. Кимры; г. Углич;
- Рыбинское водохранилище, с. Коприно; Рыбинская ГЭС;
- Горьковское водохранилище, г. Рыбинск; г. Чкаловск.

Водные объекты Волжского бассейна являются объектами рыбохозяйственного назначения высшей и первой категорий и источниками централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Выбор показателей качества воды для них проводится, в соответствии с существующими нормативами для водоёмов рыбохозяйственного использования высшей категории и поверхностных источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Для оз. Селигер характерна невысокая минерализация воды (80-112 мг/л) и благоприятный кислородный режим. Наблюдается загрязненность воды трудноокисляемыми органическими веществами по ХПК (1,9 ПДК), соединениями меди (2,4 ПДК) и марганца (до 5 ПДК). В 2017 г. вода озера оказалась самой чистой, УКИЗВ составил 1,78 (класс 2 – слабо загрязненная).

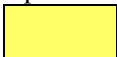


Характерными загрязняющими веществами в воде р. Волга и ее водохранилищ являются соединения металлов (Fe, Zn, Cu, Mn), органические вещества (по ХПК), фенолы и нефтепродукты. Превышения ПДК по этим веществам фиксируются практически постоянно.

Значительное загрязнение вод р. Волга тяжелыми металлами отмечалось в 70-80-е гг. и было связано со сбросами сточных вод. Увеличение стока

Волги в последние десятилетия и снижение сброса загрязняющих веществ способствовали уменьшению содержания тяжелых металлов в воде Верхневолжских водохранилищ (табл. 1).

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в водохранилищах Верхней Волги за период 1990–2015 гг.

Водохранилище, пост наблюдения	FE, мг/л	CU, мкг/л	Фенолы, мг/л
Иваньковское водохранилище			
г. Тверь	0.07	2.75	0.001
г. Конаково	0.20	4.11	0.0014
Угличское водохранилище			
г. Кимры	0.17	4.68	0.0014
г. Углич, выше города, 2 км выше плотины Угличской ГЭС	0.15	4.30	0.0011
Рыбинское водохранилище			
с. Коприно	0.12	3.71	0.0012
Рыбинская ГЭС, непосредственно с плотины Рыбинской ГЭС	0.12	2.96	0.0012
Горьковское водохранилище			
г. Рыбинск, 1 км ниже города	0.12	3.38	0.001
г. Чкаловск, 4 км выше плотины Горьковской ГЭС	0.12	3.86	0.0005
Примечания: цветом выделена кратность превышения ПДК:			
	– в 1-2 раза;		
	– в 3-4 раз;		
	– в более, чем 5 раз.		

Из-за значительной заболоченности водосборного бассейна для воды *Иваньковского водохранилища* характерны высокие концентрации железа общего (рис. 1).

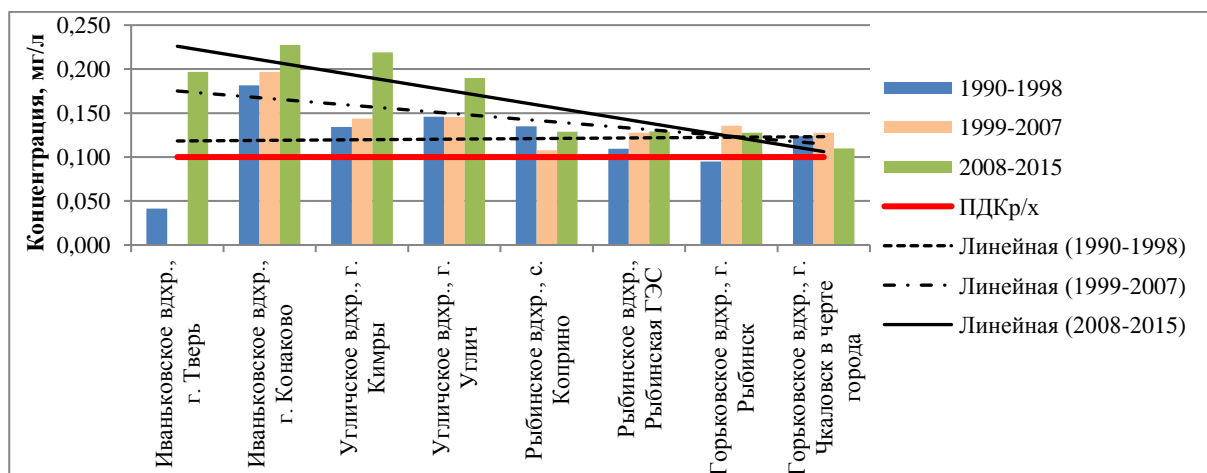


Рис. 1. Содержание железа общего в Верхневолжских водохранилищах за период 1990-2015 гг.

Средняя многолетняя концентрация растворенной меди в водах верхневолжских водохранилищ составила 0,004 мг/л (4 ПДК). Максимальная среднегодовая величина достигала 0,008 мг/л (г. Кимры), минимальная – 0,002 мг/л (Рыбинская ГЭС). В многолетней динамике прослеживается тенденция роста и спада величин. Начиная с 1990 г. отмечается рост среднегодовых величин концентраций меди в воде (рис. 2). Значительный спад среднегодовых величин выявлен с 2000 г., что, видимо, связано, с уменьшением сброса сточных вод в Верхневолжские водохранилища, в связи с изменением водопотребления.

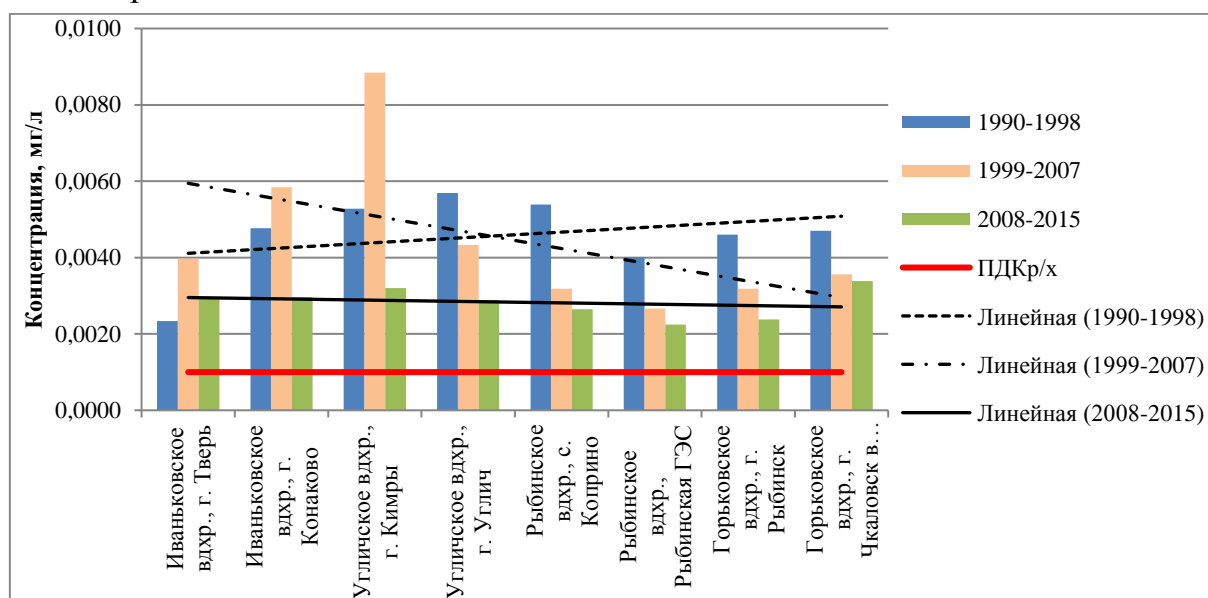


Рис. 2. Содержание соединений меди в верхневолжских водохранилищах за период 1990-2015 гг.

В рассматриваемый период 1990-2015 гг. среднегодовая концентрация нефтепродуктов в водах Верхневолжских водохранилищ составила 0,1 мг/л (2 ПДК). Максимальная годовая концентрация равнялась 0,22 мг/л (с. Коприно), минимальная – 0,02 мг/л (г. Конаково). Как следует из рис. 3, в динамике концентраций нефтепродуктов прослеживается тенденция снижения концентраций с 2000 г. С 1990 по 1999 гг. концентрации нефтепродуктов имели существенно высокие величины. Это обусловлено уменьшением судоходства из-за экономического кризиса и других антропогенных факторов (табл. 2).

Таблица 2

Содержание нефтепродуктов и фенолов в водохранилищах Верхней Волги за период 1990–2015 гг.

Водохранилище, пост наблюдения	Нефтепродукты, мг/л	Фенолы, мг/л
Иваньковское водохранилище		
г. Тверь	0.12	0.001
г. Конаково	0.07	0.0014
Угличское водохранилище		
г. Кимры	0.08	0.0014
г. Углич, выше города, 2 км выше плотины Угличской ГЭС	0.10	0.0011
Рыбинское водохранилище		
с. Коприно	0.11	0.0012
Рыбинская ГЭС, непосредственно с плотины Рыбинской ГЭС	0.08	0.0012
Горьковское водохранилище		
г. Рыбинск, 1 км ниже города	0.09	0.001
г. Чкаловск, 4 км выше плотины Горьковской ГЭС	0.10	0.0005
Примечания: цветом выделена кратность превышения ПДК:		
	– в 1-2 раза;	
	– в 3-4 раз;	
	– в более, чем 5 раз.	

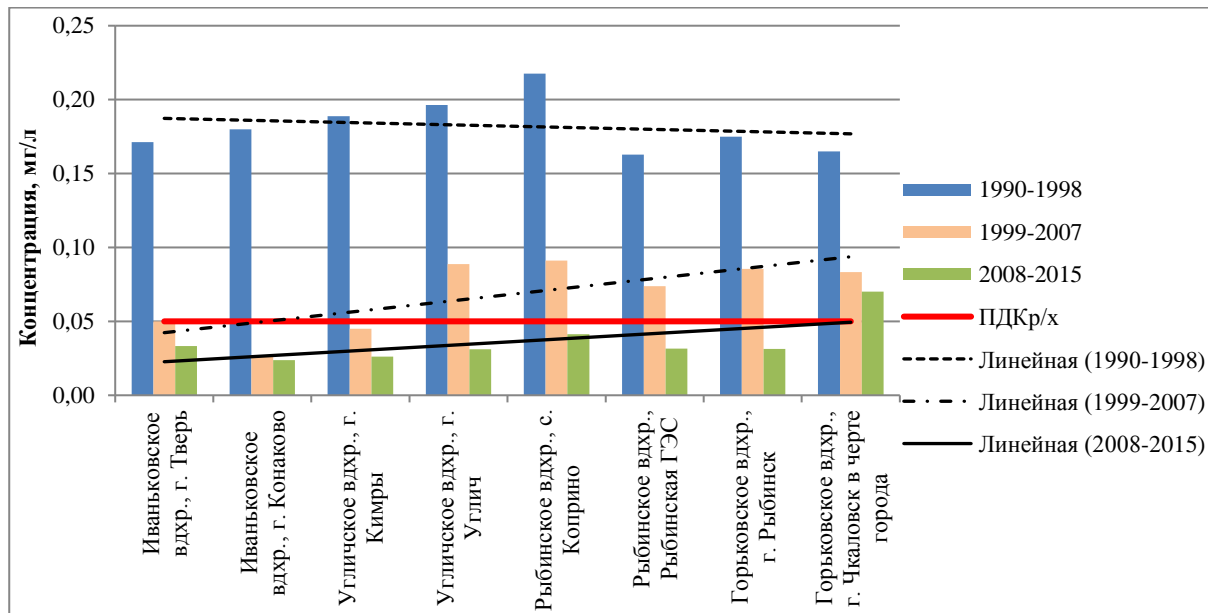


Рис. 3. Содержание нефтепродуктов в Верхневолжских водохранилищах за период 1990-2015 гг.

Средняя концентрация фенолов в водах исследуемых водохранилищ составила 0,0011 мг/л (рис. 4). Максимальная среднегодовая концентрация равна 0,002 мг/л (2 ПДК), минимальная – 0,0005 мг/л. Значительный диапазон колебаний фенолов в воде свидетельствует о неконсервативном характере их

поведения, они зависят от природных и антропогенных условий. На рис. 4 видно снижение концентрации содержания фенолов в воде водохранилищ за первые два периода, за последний период, с 2008 по 2015 гг., наблюдается их стабилизация.

В общей картине изменений концентраций на рассматриваемых участках верхневолжских водохранилищ прослеживается четкая тенденция снижения концентраций в период 2008-2015 гг.

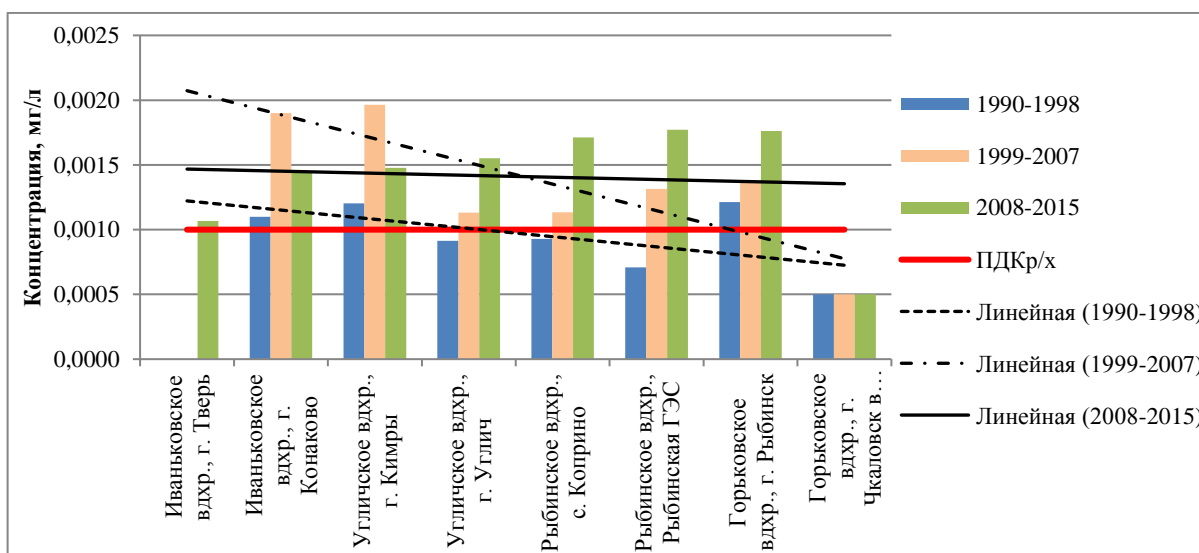


Рис. 4. Содержание фенолов в Верхневолжских водохранилищах за период 1990-2015 гг.

Многолетняя динамика показателя содержания легкоокисляющихся органических веществ (БПК₅) в водах Верхневолжских водохранилищ свидетельствует о его достаточно консервативном поведении (рис. 5). Среднемноголетнее значение БПК₅ для периода с 1990 по 2015 гг. составляет 2,06 мг/л, максимальное значение равно 2,87 мг/л (2 ПДК), минимальное – 1,46 мг/л (табл. 3).

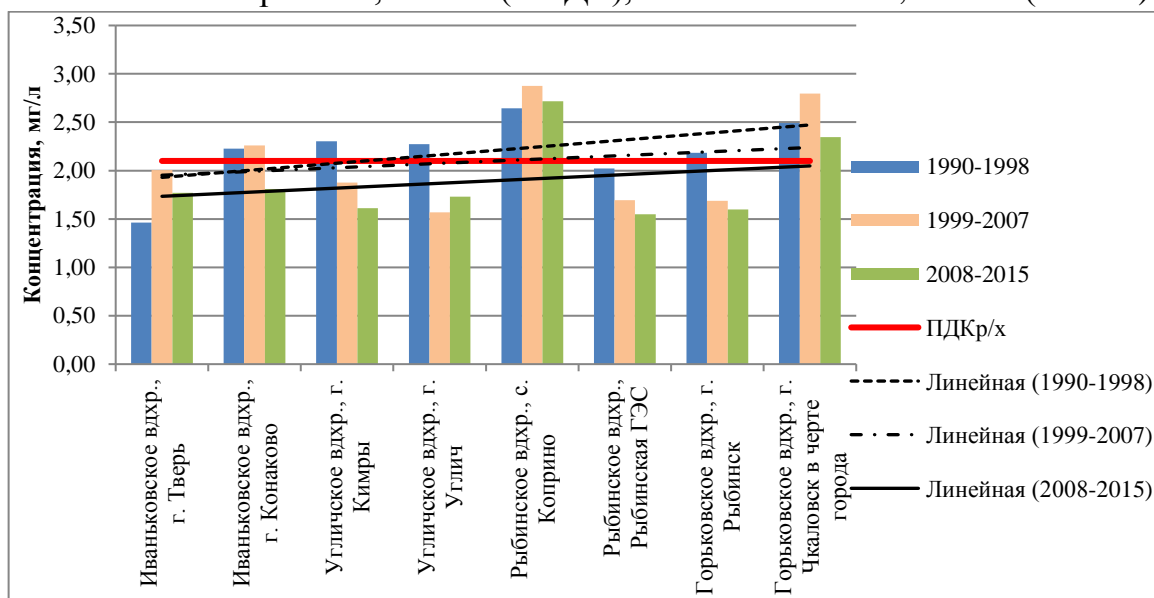


Рис. 5. Содержание БПК₅ в Верхневолжских водохранилищах за период 1990-2015 гг.

Гидрохимический режим Верхневолжских водохранилищ мало изменился, он определяется особенностями поверхностного стока лесной зоны: низким содержанием растворенных минеральных соединений, в том числе соединений азота и фосфора.

Таблица 3

Показатели содержания органического вещества в водохранилищах Верхней Волги за период 1990–2015 гг.

Водохранилище, пост наблюдения	ХПК, мгО/л	БПК ₅ , мгО/л
Иваньковское водохранилище		
г. Тверь	25.33	1.61
г. Конаково	28.21	2.03
Угличское водохранилище		
г. Кимры	28.55	1.90
г. Углич, выше города, 2 км выше плотины Угличской ГЭС	28.28	1.84
Рыбинское водохранилище		
с. Коприно	28.10	2.75
Рыбинская ГЭС, непосредственно с плотины	28.88	1.75
Горьковское водохранилище		
г. Рыбинск, 1 км ниже города	28.68	1.81
г. Чкаловск, 4 км выше плотины Горьковской ГЭС	29.30	2.55
Примечания: цветом выделена кратность превышения ПДК:		
	–	в 1-2 раза;
	–	в 3-4 раз;

Анализ содержания БПК₅, железа общего, общего фосфора и других характеристик качества воды, обеспеченных длительным периодом наблюдений, показал, что в целом существенных изменений в качестве вод бассейна р. Волга не произошло. По некоторым показателям наблюдается снижение уровня загрязненности вод. Причиной такого состояния может быть общий экономический спад в Волжском регионе, приводящий к снижению производства и сокращению сбросов сточных вод в водные объекты.

Анализ качества воды водохранилищ позволяет сделать выводы, что:

- качество воды Угличского водохранилища характеризуется 4 классом качества – «загрязненная»;
- качество воды Рыбинского водохранилища – 4 класс, «загрязнённая»;
- в целом, качество воды Горьковского водохранилища соответствует 4-5 классу от «загрязненной» до «грязной»;
- качество воды Чебоксарского водохранилища соответствует 3 классу – «умеренно-загрязнённая»;
- качество воды Кубышевского водохранилища также относится к 3 классу – «умеренно-загрязнённая».

Благодарность. Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 17-17-01262).

Список литературы

1. Никаноров А.М. Региональная гидрохимия: Уч. пособие. Ростов-н/Д: НОК, 2011. 388 с.
2. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 10. Верхне-Волжский район. Ч. 1 / под ред. Ю.Е. Яблокова; Гл. упр. гидрометеослужбы при Совмине СССР. М.: Моск. отд-е Гидрометеоиздата, 1973. 478 с.
3. Водные ресурсы в водохранилищах России // Федер. портал PROTOWN.RU URL: <http://protown.ru/information/hidden/2818.html> (дата обращения: 15.05.2019). Режим доступа: свободный.
4. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Волга. М.: Московско-Окское БВУ, 2013. 152 с.

© Джамалов Р.Г., Сафронова Т.И., Решетняк О.С.,
Мягкова К.Г., Власов К.Г., 2019

ПРИРОДНЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ ПОСТУПЛЕНИЯ БИОГЕНОВ В ВОДОХРАНИЛИЩА

***Долгов С.В., Коронкевич Н.И., Кашутина Е.А., Барабанова Е.А.,
Шапоренко С.И.***

Институт географии РАН, г. Москва
E-mail: svdolgov1978@yandex.ru

Аннотация. Рассматриваются особенности современного формирования выноса биогенов (азота и фосфора) в реки и водохранилища с их водосборов. Приведены результаты ориентировочной оценки выноса биогенов в бассейнах Волги и Дона. Рассчитаны годовой и сезонный воднобиогенный балансы Чебоксарского водохранилища и водосборной площади его бокового притока. Показано, что во многих случаях диффузный вынос биогенов с водосборов рек и водохранилищ превосходит их вынос в водные объекты со сточными водами. В поступлении биогенов в реки и водоемы важную роль играют не только антропогенные, но и природные факторы.

Ключевые слова: биогены, формирование, сток, водосборы Волги и Дона, Чебоксарское водохранилище.

NATURAL AND ANTHROPOGENIC FACTORS OF BIOGENIC SUBSTANCES REMOVAL INTO RESERVOIRS

***Dolgov S.V., Koronkevich N.I., Kashutina E.A., Barabanova E.A.,
Shaporenko S.I.***

Institute of Geography RAS, Moscow
E-mail: svdolgov1978@yandex.ru

Abstract. The features of the modern formation of the biogenic substances (nitrogen and phosphorus) removal into the rivers and reservoirs from their catchments are considered.

Rough estimates of biogenic substances removal into the Volga and Don river basins are presented. The annual and seasonal water-biogenic balance of the Cheboksary reservoir, the catchment area of its local inflow are calculated. It is shown that in many cases diffuse removal of nutrients from rivers and reservoirs watersheds exceeds their outflow to water bodies with waste water. The input of biogenic substances into rivers and reservoirs is determined not only by anthropogenic, but also by natural factors that are of great importance.

Keywords: nutrients, formation, runoff, the Volga and Don river catchments, Cheboksary reservoir.

Введение. В последние десятилетия на водосборах рек и водоемов южной части Русской равнины произошли существенные изменения климатических и антропогенных факторов формирования водного стока, приведшие к недостаточно изученным изменениям как водного стока, так и связанного с ним выноса в водные объекты загрязняющих веществ, в том числе биогенов. В статье предпринята попытка оценить размеры современного выноса биогенов в бассейнах Дона и Волги в основную гидрологическую фазу – весеннее половодье, а также составить годовой и сезонный балансы биогенных веществ Чебоксарского водохранилища.

Материалы и методы исследования. Вынос биогенов с водосборов в реки бассейнов Волги и Дона в период весеннего половодья определялся умножением величины стока с отдельных элементов ландшафта на концентрацию биогенов в стекающей воде. Средние концентрации биогенов в современном поверхностном, подземном стоках и стоке верховодки получены в результате полевых ландшафтно-гидроэкологических исследований Института географии в 2000-е гг. Более подробно оценка величин этих концентраций приведена в работе [1].

Исходная информация для расчета баланса биогенов Чебоксарского водохранилища включает данные стационарной сети наблюдений за водным стоком Волги в створах Нижегородского и Чебоксарского гидроузлов, Оки - в створе г. Горбатов, а также притоков Чебоксарского водохранилища – рек Линда (левобережного) в створе с. Васильково (площадь водосбора – 1010 км²) и Кудьма (правобережного) у д. Новая и г. Кстово (площадь водосбора – 1700 и 1750 км²). Поверхностный и подземный стоки с речных водосборов рассчитаны их выделением на гидрографах речного стока.

Основой для суждения о соотношении вклада природных и антропогенных факторов в поступление биогенов в Чебоксарское водохранилище послужил расчет воднобиогенного баланса самого водохранилища и водосборной площади его бокового притока (наиболее детально для водосборов рек Линда и Кудьма).

Результаты и обсуждение

Ориентировочная оценка выноса биогенов в бассейнах Волги и Дона.

Из выполненных расчетов (табл. 1) следует, что в период половодья основной вклад в вынос биогенов как в бассейне Волги, так и Дона вносит поверхностный сток (соответственно, 70 и 78 %). Но велик и вклад стока инфильтрационного происхождения, причем важно отметить, что значительная часть сформировавшегося в период половодья выноса биогенов со стоком верховодки и, особенно, подземным стоком из-за процессов берегового регулирования поступает в реки и водоемы на спаде половодья и после его окончания.

Таблица 1

Современный вынос биогенов, формирующийся в период половодья составляющими речного стока в бассейнах Волги и Дона

Территория	Общая площадь, тыс. км ²	N _{минер} / P _{минер}				всего	
		Поверхностным стоком с незалесяенных склонов	Поверхностным стоком в лесу	Поверхностным стоком с площади гидрографической сети	Верховодкой и подземной составляющей речного стока	тыс. т	кг/км ²
Бассейн Волги							
Южная часть лесной зоны и северная лесостепь	245.0	16.7 / 1.9	1.0 / 0.06	18.3 / 2.4	17.0 / 2.1	53.0 / 6.5	216 / 26
Центральная лесостепь	265.0	8.6 / 0.8	0.2 / 0.01	18.3 / 1.4	11.1 / 1.1	38.2 / 3.3	144 / 13
Степная зона	160.0	0.8 / 0.1	0 / 0	3.2 / 0.2	0.4 / 0.05	4.4 / 0.35	28.0 / 2.1
Всего	610.0	26.1 / 2.8	1.2 / 0.1	39.8 / 4.0	28.5 / 3.2	95.6 / 10.1	157 / 17
Бассейн Дона							
Центральная лесостепь	92.3	3.0 / 0.3	0.1 / 0	6.2 / 0.5	4.0 / 0.4	13.3 / 1.2	144 / 13
Степная зона	329.4	1.7 / 0.2	0 / 0	6.8 / 0.4	1.0 / 0.1	9.5 / 0.7	28 / 2.1
Всего	421.7	4.7 / 0.5	0.1 / 0	13.0 / 0.9	5.0 / 0.5	22.8 / 1.9	54 / 4.5

Представленные в табл. 1 величины выноса биогенов в Дон, Волгу и их водохранилища соизмеримы или даже превышают их поступление со сточными водами. Однако этот вывод требует уточнения. Более детальные расчеты, с оценкой внутригодового распределения выноса биогенов, выполнены для Чебоксарского водохранилища.

Воднобиогенный баланс Чебоксарского водохранилища рассчитан для гидрологического года, в целом (с ноября по октябрь), маловодного сезона холодного периода (ноябрь – март), многоводного сезона (апрель – май) и маловодного сезона теплого периода (июнь – октябрь) (табл. 2).

Таблица 2

Основные составляющие воднобиогенного баланса Чебоксарского водохранилища (2013-2017 гг.)

Составляющие баланса биогенных веществ	Период							
	год (ноябрь-октябрь)		ноябрь-март		апрель-май		июнь-октябрь	
	N _{минер}	P _{минер}	N _{минер}	P _{минер}	N _{минер}	P _{минер}	N _{минер}	P _{минер}
	т							
Поступление в водохранилище								
Волга - г. Городец	33957	1643	12919	605	12811	414	8228	624
Ока - г. Н. Новгород	75219	2615	50932	1106	15396	868	8891	641
Боковые притоки:	19499	818	8559	253	8244	300	2696	264
Левобережье, в т.ч.	10325	327	2390	113	6516	96.0	1420	118
Линда - устье	356	12.1	120	2.9	188	6.9	47.9	2.4
Правобережье, в т.ч.	9173	491	6169	140	1728	205	1276	147
Кудьма - устье	551	33.4	210	14.1	195	10.0	146	9.3
Атмосферные осадки на акваторию водохранилища	878	25.1	306	8.7	117	3.3	456	13
Сточные воды непосредственно в водохранилище (2017 г.)	3546	190	1478	79.4	591	31.8	1478	79.4
Итого поступление	133100	5292	74193	2053	37158	1618	21748	1621
Вынос из водохранилища								
Волга - д. Гремячево	97186	4554	47185	2263	30283	868	19718	1423

Расчеты показали, что за год, в целом, доля поступления азота по боковым притокам и со всеми сточными водами от приходной части баланса составляет 17 %, а фосфора – 19 %. Наибольший вклад (по азоту – 57 %, фосфору – 50 %) в суммарное поступление биогенных веществ в водохранилище вносит р. Ока. Гораздо меньше доля поступления биогенов по Волге, составляющая в верхнем бьефе водохранилища у г. Городец 26 % по азоту и 31 % по фосфору.

В годовом балансе преобладает поступление биогенов в водохранилище над их выносом через Чебоксарский гидроузел. В экосистеме самого водохранилища остается 26 % поступающего азота и 14 % фосфора. Тем самым Чебоксарское водохранилище снижает биогенную нагрузку на экосистему ниже расположенного Куйбышевского водохранилища.

Из результатов расчетов сезонных балансов следует, что наибольшей суммарной биогенной нагрузке водохранилище подвержено в период с ноября по март (56 % по азоту и 39 % по фосфору) за счет высокого содержания биогенов в дренируемых реками подземных водах, а также их поступлением со сточными водами. Поступление биогенов в водохранилище за этот весенний период уменьшается до 30 % от его годовой величины.

Вынос биогенных веществ с боковым притоком в Чебоксарское водохранилище и его изменения. Доля диффузного стока азота и фосфора от суммарного их поступления в водохранилище по боковым притокам является преобладающей.

Современные изменения выноса биогенных веществ с боковым притоком оценены на примере правобережного притока р. Линда (лесом занято 75 % площади водосбора) и левобережного притока р. Кудьма (43 %).

В бассейне р. Линда за последние годы (2008–2018 гг.) вынос биогенов с поверхностным и подземным стоками в половодье увеличился на 26 %, по сравнению с состоянием на середину 1970-х гг. С суммарным стоком с водосборной площади р. Линда стало поступать в Чебоксарское водохранилище 146 кг/км² азота и 3.9 кг/км² фосфора.

Существенно увеличился также вынос биогенных веществ с водосборной площади (более чем на 25 %) за годовой период, в целом (до 280 кг/км² азота и 7 кг/км² фосфора). Основная причина такой ситуации заключается в значительном усилении (на 60 %) гидрохимической роли подземного стока, вклад которого в годовой сток азота вырос до 56 %, а фосфора – до 46 %. Более значимой в последние годы остается и роль поверхностного стока в выносе с водосборной площади фосфора (на 0.6 кг/км² больше, чем с подземным стоком).

За последние годы вынос биогенов с поверхностным стоком в половодье с водосбора р. Кудьма практически не изменился. Однако значительно возросла роль подземного стока в их миграции. С подземной составляющей стока стало поступать азота и фосфора на 25 % больше. В результате, с суммарным стоком с водосборной площади р. Кудьма в Чебоксарское водохранилище стало поступать на 8 % больше биогенов (110 кг/км² азота и 3.8 кг/км² фосфора).

Особенно существенно увеличился вынос биогенных веществ (до 298 кг/км² азота и 7.7 кг/км² фосфора) с водосборной площади р. Кудьма за годовой период (азота на 28 % и фосфора на 20 %), главным образом, за счет значительного увеличения подземного стока (на 60 %), вклад которого в годовой сток азота вырос до 67 %, а фосфора – до 56 %. С каждого квадратного километра площади водосбора с подземным стоком в реку в последние годы стало поступать азота в среднем на 104 кг больше, чем с поверхностной составляющей стока, а фосфора – на 1 кг/км² больше.

Вклад отдельных составляющих в годовой баланс биогенных веществ в бассейнах рек Линда и Кудьма. В табл. 3 приведены основные составляющие годового биогенного баланса указанных рек.

Таблица 3

Годовой баланс биогенных веществ в бассейнах рек Линды и Кудьмы

Биогенные вещества	Поступление						Вынос	
	Городское население	Сельское население	Животноводство	Минеральные удобрения	В сумме от всех видов нагрузки	Осадки (климатический фон)		
	кг/км ²							
Бассейн р. Линды							р.Линда – д.Васильково	р.Линда – устье (1681 км ²)
Азот минер.	42	20	232	80	374	325	280	212
Фосфор минер.	7	3	135	18	163	20	7	7
Бассейн р. Кудьмы							р.Кудьма – г.Кстово	р.Кудьма – устье (3246 км ²)
Азот минер.	102	50	401	367	968	284	298	170
Фосфор минер.	17	8	196	80	314	20	7.7	10.3

Вклад сточных вод в суммарный вынос биогенов с водосбора р. Линда в последние годы незначителен и не превышает 1 %. По сравнению с этой сосредоточенной нагрузкой преобладает диффузный вынос биогенов с поверхностным и подземным стоком.

Из результатов расчетов следует, что современная суммарная антропогенная нагрузка на бассейн Линды по азоту сравнительно невысока, превышение климатического фона, обусловленного поступлением азота на водную поверхность с выпадающими осадками, составляет лишь 1.2 раза. Особенно значительна нагрузка по фосфору, превышая в 8 раз климатический фон. Причем с минеральными удобрениями на водосбор Линды поступает практически такое же количество фосфора, что и с атмосферными осадками. Преобладает поступление фосфора от животноводства (почти в 7 раз больше климатического фона), особенно в последние годы при невысоком уровне использования удобрений.

На пашне сформировался отрицательный баланс содержания азота и фосфора, поскольку ежегодный их вынос с урожаем сельскохозяйственных культур в 2000-е гг. оказался не компенсированным внесением удобрений [2]. Однако значительное сокращение применения удобрений и поголовья скота не привело к снижению выноса биогенов с водосбора р. Линда, напротив, оно даже выросло. Произошло это, главным образом, за счет климатически

обусловленного увеличения стока инфильтрационного происхождения (подземного и верховодки).

Антропогенная составляющая в поступлении биогенов на водосбор р. Кудьма существенно больше, чем на водосбор Линды. Вклад сточных вод в суммарный вынос биогенов с водосбора р. Кудьма в последние годы – около 13 % по азоту минеральному и 5 % по фосфору. Преобладает диффузный вынос биогенов с поверхностным и подземным стоками.

Современная суммарная антропогенная биогенная нагрузка на бассейн Кудьмы особенно высока по фосфору, превышая в 16 раз климатический фон, обусловленный поступлением фосфора на дневную поверхность с выпадающими осадками. Менее существенно превышение по азоту – 3.4 раза (табл. 3).

К наиболее существенным источникам антропогенного поступления биогенов на водосборную площадь р. Кудьма относится сельское хозяйство – поступление биогенов от животноводства и в результате внесения минеральных удобрений. Сельскохозяйственная нагрузка составляет от суммарного антропогенного поступления 84 % по азоту и 92 % по фосфору. Причем биогенная нагрузка от животноводства по величине практически такая же, как от растениеводства, а по фосфору даже больше – в 2 раза.

Значительное сокращение применения удобрений и поголовья скота, уменьшение содержания азота и фосфора в почве пахотных угодий не привело к снижению выноса биогенов с водосбора р. Кудьмы, напротив, оно даже выросло (как и в бассейне Линды) вследствие увеличения стока инфильтрационного происхождения (подземного и верховодки). В выносе биогенов в водохранилище с бассейна Кудьмы также преобладает природная составляющая, особенно в отношении азота (74 %) и в меньшей степени в отношении фосфора (53 %). Доля антропогенной нагрузки равна соответственно 26 и 47 %.

Выводы. В последние десятилетия произошло существенное уменьшение весеннего поверхностного склонового стока с сельскохозяйственных угодий в бассейнах Дона и Волги, обусловленное, главным образом, изменением климатических условий. Оно привело к уменьшению годового стока половодья при росте стока инфильтрационного происхождения. В целом, снизился вынос биогенов с водосборных площадей в период весеннего половодья, однако, составляя для бассейнов Волги и Дона, по ориентировочным расчетам, величины, соизмеримые или превосходящие поступление биогенов со сточными водами. В бассейнах же малых рек, впадающих в Чебоксарское водохранилище, на долю диффузного выноса приходится подавляющая часть общего поступления биогенов.

Определяющую роль в годовом балансе биогенов Чебоксарского водохранилища играет их приток со стоком Оки и Волги, долю диффузного поступления биогенов в котором еще предстоит выяснить. Диффузный вынос биогенов с водосборов малых рек Чебоксарского водохранилища (рр. Сура, Кудьма, Линда, Узола и др.) составляет 75-95 % общего выноса со стоком этих рек.

Вынос биогенов в Чебоксарское водохранилище с водосборной площади его боковых притоков за последние годы вырос, в основном, в связи с обусловленным изменением климата увеличением стока инфильтрационного происхождения (подземного и верховодки). При этом преобладает природная составляющая в миграции биогенов. Из антропогенных факторов наиболее негативную роль играют животноводство и сбросы сточных вод, особенно непосредственно в водохранилище.

Ответу на целый ряд еще не решенных вопросов будет способствовать восстановление ныне закрытых и организация новых воднобалансовых станций, в программе работ которых важная роль должна быть отведена изучению качества вод.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 0148-2019-0007 и финансовой поддержке РФФИ, грант № 18-05-00479.

Список литературы

1. Коронкевич Н.И., Долгов С.В. Сток с водосбора как источник диффузного загрязнения рек // Вода и экология: проблемы и решения, 2017, № 4. С. 92-99.
2. Абрамов А.И., Крымова Е.А. Состояние плодородия пахотных земель в Нижегородской области // ФГБУ Центр агрохимической службы «Нижегородский», 2014, режим доступа: <https://agrohim-nn.ru/stati/47-sostoyanei-plodorodiya-pakhotnykh-zemel-v-nizhegorodskoj-oblasti.html>.

© Долгов С.В., Коронкевич Н.И., Кашутина Е.А.,
Барабанова Е.А., Шапоренко С.И., 2019

БИОДИАГНОСТИКА КАЧЕСТВА ВОД И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПРИПЛОТИННОЙ ЧАСТИ ЦИМЛЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Бакаева Е.Н.^{1,2,3}, Игнатова Н.А.¹, Тарадайко М.Н.^{1,2,3}

¹Институт водных проблем РАН, Гидрохимический (Южный) отдел, Ростов-на-Дону

²Гидрохимический институт Росгидромета, Ростов-на-Дону

³Южный федеральный университет, Институт наук о Земле, Ростов-на-Дону

E-mail: rotaria@mail.ru

Аннотация. Состояние приплотинного участка Цимлянского водохранилища оценивается как крайне неблагоприятное. Оценка основана на данных о состоянии фитопланктона, концентрациях хлорофилла «а», токсичности воды и донных отложений по набору биотестов. Приоритет в биодиагностике качества вод отдан биотестированию, позволяющему в интегральной форме определить токсичность воды для гидробионтов и ее биологическую безопасность.

Ключевые слова: токсичность, набор биотестов, вода, донные отложения, Цимлянское водохранилище.

WATER AND SEDIMENTS QUALITY BIODIAGNOSTICS WITHIN THE DAM AREA OF THE TSIMLYANSK RESERVOIR

Bakaeva E.N.^{1,2,3}, Ignatova N.A.¹, Taradayko M.N.^{1,2,3}

¹Institute of Water Problems RAS, Hydrochemical (Southern) department, Rostov-on-Don

²Hydrochemical institute of Roshydromet, Rostov-on-Don

³Southern Federal University, Institute of Earth Science, Rostov-on-Don

E-mail: rotaria@mail.ru

Abstract. The condition of the Tsimlyansk reservoir dam area is assessed as extremely unfavorable. The assessment is based on the data of phytoplankton state, chlorophyll “a” concentrations, water and sediments toxicity obtained by bioassay battery. Priority in biodiagnostics of water quality is given to bioassay. Bioassay battery allows determining an integral toxicity of water for hydrobionts and water biological safety.

Keywords: toxicity, bioassay battery, water, sediments, Tsimlyansk reservoir.

Понятие «качество природных вод» основано на степени соответствия физико-химических и биологических характеристик вод рассматриваемым нуждам (питьевого, промышленного водоснабжения и др.). Следствием разнообразных видов нагрузки на водные объекты является возникновение такой характеристики качества вод, как токсичность. В современных условиях как в локальном, так и в глобальном масштабах, токсичность представляет собой одну из наиболее опасных характеристик качества поверхностных вод. Наличие токсичности и степень токсического действия вод и донных отложений определяют с использованием представителей биоты. Приоритет использования биологических компонентов экосистемы при оценке её состояния прописан в Водной Рамочной Директиве ЕС 2000/60 (ВРД), принятой в странах Европейского сообщества. Биологические методы являются наиболее экологи-

чески информативными при оценивании интегрального состояния водных экосистем. Биодиагностика качества вод поверхностных водных объектов опирается на два современных методических подхода: биоиндикацию и биотестирование. Биоиндикация – качественная оценка параметров среды обитания и ее отдельных характеристик по состоянию биоты в природных условиях. Биоиндикация в узком смысле занимается изучением влияния антропогенных или антропогенно модифицированных факторов среды. При этом речь идет преимущественно не об оценке концентрации или интенсивности какого-либо параметра среды, а о реакции биологических систем, т.е. рассматривается биологическое воздействие совокупности факторов среды. Если физические и химические методы дают количественные и качественные характеристики фактора, но позволяют лишь косвенно судить о его биологическом действии, то с помощью биоиндикации можно получить информацию о биологических последствиях и сделать лишь косвенные выводы об особенностях самого фактора.

Наиболее адекватную характеристику токсичности вод на конкретный момент времени получают приёмами биотестирования. Метод биотестирования основан на использовании представительных тест-объектов различных систематических групп и трофических уровней живых организмов. Важно то, что биотестирование позволяет получать интегральную оценку токсичности, вызываемую суммарным действием всего комплекса загрязняющих веществ, содержащихся в водной среде, с учетом их синергетического и антагонистического взаимодействий. Метод биотестирования двух составляющих водных экосистем (воды и донных отложений) является самостоятельным биологическим методом, позволяющим оценить состояние экосистемы водного объекта.

Материал и методы. Работа выполнена на основе собственных теоретических и методических проработок и результатов комплексных экспедиционных исследований Цимлянского водохранилища, а также анализа нормативно-методических документов и литературных источников. Цимлянское водохранилище, расположенное на территории Волгоградской и Ростовской областей, образовано в результате перекрытия плотиной ГЭС долины Нижнего Дона. Создание водохранилища (оно заполнено в 1952-1953 гг.) и его многоцелевое использование привели в настоящее время к ряду серьезных экологических проблем. Приплотинная часть (Приплотинный плёс) Цимлянского водохранилища занимает пойму Нижнего Дона от ст. Кривская до плотины Цимлянской ГЭС. Это одна из наиболее обширных акваторий из четырех других плесов водохранилища. Площадь плёса составляет 84 тыс. га со средней

глубиной 11 м. Проточность незначительна – 0,2-0,1 м/с, и только у плотины заметно возрастает.

Исследование качества вод и донных отложений Цимлянского водохранилища проведено биологическими методами (биоиндикация, биотестирование) в рамках комплексной экспедиции Гидрохимического отдела Института водных проблем РАН и ФГБУ «Гидрохимический институт». В ходе экспедиций общепринятыми методами были отобраны гидробиологические пробы (фитопланктон, хлорофилл «а») [1], пробы воды и донных отложений для биотестирования. Используются экотоксикологические методы, включающие разработанные нами ранее методики биотестирования, определение хлорофилла «а» контактным методом с экстракцией этанолом [2].

Оценку токсичности поверхностных вод проводили с помощью набора биотестов, включавших тест-объекты различных трофических уровней и систематической принадлежности: зеленые микроводоросли *Scenedesmus obliquus* [3], *Chlorella vulgaris* [4], инфузории *Paramecium caudatum* [3], колеровратки *Brachionus calyciflorus* [5], ветвистоусые рачки *Daphnia magna* [3] и биотест по оценке фитотоксичности высшего растения *Raphanus sativus* [6]. Оценку токсичности неизменённых (нативных) донных отложений проводили с экологически соответствующим тест-объектом – личинками *Chironomus plumosus* [7] и биотестом по фитотоксичности; водные вытяжки донных отложений – с планктонными автотрофными и гетеротрофными представителями планктона. Тест-показателями служили коэффициент прироста и оптическая плотность микроводорослей, хемотаксис инфузорий, гибель и размножение колеровраток, гибель рачков, биологические и метрические характеристики ростков высшего растения.

Результаты и обсуждение. Результаты исследования как необработанных («нативных») донных отложений, так и их водных вытяжек свидетельствовали не более чем о хроническом токсическом действии. Тест-показатели (гибель, динамика численности и динамика коэффициента прироста микроводорослей) использованных тест-объектов (микроводорослей *Scenedesmus obliquus*, личинок *Chironomus plumosus*) не имели значительных отклонений при тестировании водной вытяжки. Только одна проба донных отложений оказалась нетоксичной, в остальных выявлено хроническое токсическое действие.

Вода водохранилища проявляла более высокую токсичность. В целом по результатам биотестирования с использованием трех тест-объектов (рачка *Daphnia magna*, инфузории *Paramecium caudatum*, колеровратки *Brachionus calyciflorus*) действие воды трёх вертикалей из пяти исследованных можно

квалифицировать как острое токсическое. Высокое токсическое загрязнение вод, вероятно, можно связать с уже начавшимся «цветением» сине-зеленых водорослей. Последние, как известно, в процессе жизнедеятельности выделяют токсические вещества. Особенности весны и лета с высокими температурами привели к раннему цветению сине-зеленых микроводорослей. В видовом составе ведущая роль принадлежала родам *Anabena* (3 вида), *Oscillatoria* (4 вида) и *Microcystis* (2 вида). Основную биомассу всего фитопланктона также составляли именно сине-зеленые микроводоросли, достигая в отдельных вертикалях 4,4 мг/л. На момент исследований основную долю фитопланктона составляли сине-зелёные микроводоросли: от 65,0 до 99,3 % от общей численности и от 76,1 до 83,6 % общей биомассы. Видовой состав фитопланктона свидетельствовал о бета-мезосапробности (диапазон 2,0–2,26) вод Цимлянского водохранилища.

Трофность вод приплотинной части водохранилища, согласно классификации Оксийук О.П., Жукинского В.Н. [8], по биомассе фитопланктона характеризовалась от эвтрофной до полигипертрофной, по концентрации хлорофилла «а» – от эвтрофной до политрофной. Содержание хлорофилла «а» имело широкий диапазон и варьировало в пределах 13,4–139,4. Высокая концентрация хлорофилла «а» соответствовала самой высокой концентрации микроводорослей.

Анализ результатов оценки токсичности проб воды, донных отложений методом биотестирования, согласно Р 52.24.662-2004 [5], позволил оценить состояние исследованного участка водохранилища, как крайне неблагоприятное. Гидробиологические съемки вертикалей приплотинной части Цимлянского водохранилища по показателям биомассы фитопланктона и концентрации хлорофилла «а» выявили высокую трофность вод, наличие цветения фитопланктона в ранние сроки, качество воды, как бета-мезосапробное. Сочетанное возрастание трофности, сапробности и, что крайне важно, токсичности воды, свидетельствует о значительной токсификации экосистемы Приплотинного плёса Цимлянского водохранилища. Сравнение с данными прошлых лет показало сохранение и усиление негативных процессов.

Следует обратить внимание на обострение в настоящее время такой экологической проблемы, как усиление «цветения» водных объектов, фиксируемое уже практически во всех климатических зонах Земли. Однако биологический анализ как всякий метод, основанный на экологических свойствах организмов, требует высокой специализации, знаний и навыков, а также зависит от существующего общего уровня знаний по таксономии, экологии и физиологии отдельных видов. Поскольку цветение обусловлено неконтролируемым

развитием фитопланктона, в частности, сине-зелёных микроводорослей (цианобактерий), необходимо уделить внимание использованию методов наблюдения, оценивающих пигментные характеристики микроводорослей. Определение концентрации хлорофилла «а» аналитическими или дистанционными методами позволяет предварительно установить наличие трофности. В связи с этим необходимо обязательное включение в программу наблюдений по оценке состояния поверхностных вод, помимо определения таксономического состава фитопланктона, определение и его основного пигмента – концентрацию хлорофилла «а». При биотестировании необходимо использование тест-объектов, экологически соответствующих по минерализации, температуре и органическому загрязнению водной среде.

Набор биотестов дает возможность определять уровень интегральной токсичности вод, следить в динамике за процессами самоочищения и восстановления вод. Набор должен состоять минимум из трёх биотестов с обязательным включением автотрофов и гетеротрофов, в том числе экспресс-тесты и пролонгированные биотесты. Например, варианты, приведённые на рисунке.



Рис. Варианты набора биотестов для оценки токсичности компонентов воды и донных отложений водных экосистем

Выводы. В целом, оценку состояния водных экосистем можно получить по комплексу биологических методов, включающих биоиндикацию и биотестирование. Приоритет в определении качества воды и донных отложений отдан методу биотестирования, позволяющему в интегральной форме определить токсичность воды для гидробионтов и ее биологическую безопасность.

Однако объективную оценку качества воды и донных отложений водных экосистем можно получить существующей на данном этапе развития экотоксикологии триадой методов: биоиндикацией, биотестированием и аналитическим контролем загрязняющих веществ.

Первоочередной задачей совершенствования методологии оценки токсичности поверхностных вод является разработка соответствующих шкал с учетом результатов всех трех методических подходов.

Результаты проведенных многолетних исследований оценки качества воды и донных отложений поверхностных водных объектов позволили усовершенствовать разработанные ранее для Росгидромета рекомендации Р 52.24-566 [3] и подготовить новый нормативно-методический документ Р 52.24.868-2017 «Использование методов биотестирования поверхностных вод и донных отложений» [8]. Документ содержит набор биотестов для проведения, в том числе, экспрессной оценки токсичности, так необходимой в связи с увеличением количества техногенных аварий. Приведены шкалы оценки токсичности компонентов водных экосистем (вод и донных отложений) и оценки токсического загрязнения водного объекта

Список литературы

1. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / Под ред Абакумова В.А. Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 239 с.
2. Р 52.24.784-2013 Массовая концентрация хлорофилла «а». Методика измерений спектрофотометрическим методом с экстракцией этанолом / Бакаева Е.Н., Игнатова Н.А., Ковалёва Г.Е., Черникова Г.Г. Ростов-на-Дону: Росгидромет, ФГБУ «ГХИ». 23 с.
3. Р 52.24.566-94 Рекомендации. Методы токсикологической оценки загрязнения пресноводных экосистем. Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды / Жулидов А.В., Хоружая Т.А., Предеина Л.М., Бакаева Е.Н., Морозова Е.В. М.: ФСР Госкомгидромета, 1994. 130 с.
4. ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04 ПНД Ф Т 16.1:2:2.3:3.7-04 Методика измерений оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления. 36 с.
5. РД 52.24.662-2004. Оценка токсического загрязнения вод и донных отложений пресноводных экосистем методами биотестирования с использованием коловраток / Никаноров А.М., Бакаева Е.Н., Игнатова Н.А., Ходурская Л.М. М.: Метеоагентство Росгидромета, 2006. 32 с.
6. ГОСТ Р ИСО 22030-2009. Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений. М.: Стандартинформ, 2010. 15 с.
7. РД 52.24.635-2002 Методические указания. Проведение наблюдений за токсическим загрязнением донных отложений в пресноводных экосистемах на основе биотестирования / Никаноров А.М., Хоружая Т.А., Косменко Л.С. СПб.: Гидрометеиздат, 2003. 38 с.

8. РД 52.24.868-2017 Использование методов биотестирования воды и донных отложений водотоков и водоёмов /Хоружая Т.А., Бакаева Е.Н., Предеина Л.М. Ростов-на-Дону: Росгидромет, ФГБУ «ГХИ». 64 с.
9. Оксуюк О.П., Жукинский В.Н. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиологический журнал 1993. Т. 29, вып. 4. С. 62-76.

© Бакаева Е.Н., Игнатова Н.А., Тарадайко М.Н., 2019

АНАЛИЗ СВЯЗИ МЕЖДУ ПРИТОКОМ ВОДЫ И ГИДРОХИМИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ЗА МНОГОЛЕТНИЙ ПЕРИОД

Григорьева И.Л., Лапина Л.Э.

Иваньковская НИС – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт водных проблем Российской академии наук, г. Конаково
E-mail: Irina_Grigorieva@list.ru

Аннотация. Исследованы связи между среднегодовыми концентрациями марганца, фосфатов, хлоридов и нитратов и годовыми значениями притока воды в Иваньковское водохранилище за период с 1961 по 2017 гг. во входном (Городня) и замыкающем (Дубна) створах. Коэффициенты корреляции в большинстве случаев оказались незначимыми и колебались в интервале от 0.05 до 0.15. Значимый коэффициент корреляции выявлен между среднегодовыми концентрациями хлоридов и объемом притока воды в водохранилище в маловодный год во входном створе. Отмечены более высокие концентрации марганца и более низкие концентрации фосфатов и нитратов в замыкающем створе по сравнению со входным.

Ключевые слова: Иваньковское водохранилище, объем притока воды, марганец, хлориды, фосфаты.

ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN WATER IN FLOW AND HYDROCHEMICAL INDICATORS OF THE IVANKOVSKOYE RESERVOIR DURING THE LONGTERM PERIOD

Grigorieva I.L., Lapina L.E.

Ivankovskaya Research Station – the Department of the Water Problems Institute of RAS,
the town of Konakovo
E-mail: Irina_Grigorieva@list.ru

Abstract. The connections between the average annual concentrations of manganese, phosphates, chlorides and nitrates and the annual values of water inflow to the Ivankovskoye reservoir for the period from 1961 to 2017 in the inlet (Gorodnya) and the closing (Dubna) sections are investigated. Correlation coefficients in most cases were insignificant and ranged from 0.05 to 0.15. A significant correlation coefficient was found between the average annual concentrations of chlorides and the volume of water inflow into the reservoir in the low-water year in the inlet part. Higher concentrations of manganese and the lower ones of phosphates and nitrates in the closing part compared with the inlet one are noted.

Keywords: Ivankovskoe reservoir, water inflow volume, manganese, chlorides, phosphates.

Иваньковское водохранилище создано на р. Волга у с. Иваньково в 1937 г. Большая часть водосбора водохранилища, составляющая 41000 км², расположена в Тверской области. Основные морфометрические характеристики водоема представлены в табл. 1.

Таблица 1

Морфометрические характеристики Иваньковского водохранилища при НПУ

НПУ, м	124.00
Площадь водного зеркала, км ²	327
Полный объем, км ³	1.12
Средняя глубина, м	3.4
Наибольшая глубина, м	19.0
Длина, км	111

Химический состав воды водохранилища определяется, прежде всего, химическим составом воды р. Волга и ее притока р. Тверцы. Вода водохранилища относится к гидрокарбонатно-кальциево-магниевому типу, среднеминерализована, мягкая, нейтральная или слабощелочная. Отмечены высокие концентрации железа общего, марганца и высокие значения цветности, перманганатной и бихроматной окисляемости.

Наши исследования изменения химического состава воды Иваньковского водохранилища за многолетний период показали, что в настоящее время значения перманганатной окисляемости и концентрации железа общего не превышают значений, отмеченных в начальный период создания водохранилища, поскольку их величины обусловлены природными факторами. Концентрации ингредиентов, величины которых в значительной степени зависят от поступления со сточными водами и диффузным стоком (сульфаты, хлориды, аммонийный и нитратный азот, фосфаты), за многолетний период увеличились [1].

Анализ многолетней динамики среднегодовых концентраций хлоридов в воде Иваньковского водохранилища показал, что наибольшие их значения наблюдались в период с середины 80-х до середины 90-х гг., потом отмечалось резкое уменьшение концентраций, обусловленное, очевидно, уменьшением антропогенного пресса на водоем. С начала 2000-х гг. концентрации хлоридов вновь начали возрастать [2].

При анализе многолетней динамики среднегодовых концентраций нитратов, в целом, наблюдается тренд на повышение, хотя в последние годы

отмечаются резкие скачки в концентрациях, что, связано с неоднородностью развития фитопланктона, которая, в свою очередь, зависит от гидрометеорологических факторов [2].

Максимальные среднегодовые концентрации фосфатов в воде Иваньковского водохранилища зафиксированы в период с середины 70-х до середины 80-х гг. прошлого века, что, очевидно, связано с интенсивным применением в этот период фосфатных удобрений. Уменьшение сельскохозяйственного использования земель и снижение количества удобрений, вносимых на поля, привело к уменьшению среднегодовых концентраций с середины 80-х гг. прошлого столетия вплоть до начала 2000-х. С начала 2000-х гг. в воде водохранилища опять отмечается увеличение концентраций фосфатов в воде, одной из причин которого может быть негативное влияние застройки водозащитной зоны водохранилища [2].

Следующим шагом в исследовании изменения гидрохимических показателей Иваньковского водохранилища за многолетний период стал анализ взаимосвязей их значений с объемом притока воды в водоем. На первом этапе изучалось влияние притока воды в водохранилище за год на среднегодовые концентрации марганца, фосфатов, хлоридов, нитратов. Ряд наблюдений составил 57 лет, с 1961 по 2017 гг. Вначале анализировался весь ряд наблюдений, затем данные по притоку были подразделены на три группы: близкие к среднемноголетнему значению (норма), многоводные годы и маловодные годы. Под нормой понимались те годы, для которых годовой приток находился в пределах от 8500 до 10 500 млн. м³, эти величины близки к среднемноголетнему значению (9500 млн. м³) объема притока воды. Если объем притока воды в водохранилище за год был больше 10500 млн. м³, то год считался многоводным, если меньше 8500 млн. м³ – маловодным.

Весь рассматриваемый период на Иваньковском водохранилище по водности можно подразделить на три группы:

- 1) многоводные годы :1962, 1966, 1985-1987, 1989, 1990, 1991, 1998, 2004, 2005, 2009-2013;
- 2) близкие к норме: 1961, 1970,1976-1978,1980-1984, 1988, 1993, 1994, 1997, 1999, 2000, 2001, 2003, 2006;
- 3) маловодные годы: 1963-1965,1967-1969, 1971-1975, 1979, 1992, 1995, 1996, 2002, 2007, 2008, 2014-2017 гг.

Коэффициенты корреляции рассчитывались между объемом притока воды и гидрохимическими показателями у с. Городня (входной створ водохранилища) и у г. Дубна (замыкающий створ).

Коэффициенты корреляции в большинстве случаев оказались незначимыми и колебались в интервале от 0.05 до 0.15 (табл. 2). Только в одном случае он оказался значим для хлоридов в маловодный период в створе Городня.

Проверялась нулевая гипотеза о равенстве среднемноголетних среднегодовых концентраций у с. Городня и у г. Дубна. Проверка гипотезы проводилась с помощью непараметрического критерия (медианного), алгоритм которого приведен в [3].

Во всех случаях коэффициент корреляции между притоком воды в водохранилище и концентрацией марганца оказался незначим (табл. 2).

Таблица 2

Коэффициенты корреляции между притоком воды в Иваньковское водохранилище и концентрациями загрязняющих веществ

Створы	Годы, близкие к норме	Многоводные годы	Маловодные годы	Весь период наблюдений
Марганец				
Городня	-0.05	0.04	0.03	0.125
Дубна	0.10	0.15	0.18	0.229
Фосфаты				
Городня	-0.08	0.02	-0.17	-0.03
Дубна	0.265	0.05	0.08	0.09
Хлориды				
Городня	0.02	0.01	0.45	0.22
Дубна	0.08	0.06	0.29	0.05
Нитраты				
Городня	0.2	0.04	0.275	0.05
Дубна	0.12	-0.02	0.259	0.1

Таблица 3

Среднемноголетние значения среднегодовых концентраций марганца в створах Иваньковского водохранилища

Створ наблюдений	Годы, близкие к норме	Многоводные годы	Маловодные годы
Городня	0.101	0.110	0.09
Дубна	0.114	0.123	0.100

Для многоводных и маловодных лет эта нулевая гипотеза отвергается и принимается гипотеза о том, что концентрация марганца у Дубны больше, чем в районе Городни (табл. 3).

Количество вещества можно рассчитать по формуле:

$$M = (C_2 - C_1)V, \quad (1)$$

где V – годовой объем притока (млн. m^3);

C_1, C_2 – концентрация вещества (mg/dm^3) у с. Городня и у г. Дубна, соответственно.

По нашим расчетам, в среднем для многоводных лет в водохранилище в год поступает 130 т марганца, а для маловодных – 104 т.

Коэффициенты корреляции между притоком воды в водохранилище и концентрациями фосфатов также были незначимы (табл. 2). Среднемноголетние концентрации фосфатов во входном и замыкающем створах в различные периоды водности представлены в табл. 4.

Таблица 4

Среднемноголетние значения среднегодовых концентраций фосфатов в створах Иваньковского водохранилища

Створ наблюдений	Годы близкие к норме	Многоводные годы	Маловодные годы	Весь период наблюдений
Городня	0.16	0.138	0.132	0.152
Дубна	0.155	0.124	0.108	0.134

Проверка гипотезы о равенстве средних концентраций во входном и замыкающем створах в маловодные и многоводные годы отвергается. Концентрация фосфатов в оба периода у Дубны меньше, чем у Городни, т.е. фосфаты усваиваются экосистемой водохранилища.

Аналогично марганцу рассчитаем массу фосфатов, поступающих с речным стоком в водохранилище. В многоводные годы эта величина составит порядка 227 в год, а в маловодные годы – 128 в год.

Для хлоридов коэффициент корреляции (0.45) оказался статистически значим для маловодных лет у с. Городня. Нулевая гипотеза не отвергается ни в одном из случаев. В замыкающем створе во все периоды водности концентрации хлоридов в замыкающем створе были ниже, чем во входном (табл. 5).

Таблица 5

Среднемноголетние значения среднегодовых концентраций хлоридов в створах Иваньковского водохранилища

Створ наблюдений	Весь период наблюдений	Годы близкие к норме	Многоводные годы	Маловодные годы
Городня	8.13	8.36	7.59	8.27
Дубна	7.02	7.65	6.94	6.58

Для нитратов гипотеза о равенстве средних концентраций ни в одном из случаев не отвергается, нужен помесечный анализ. Среднегодовые концентрации нитратов во все периоды водности в замыкающем створе были ниже, чем во входном. Это свидетельствует о том, что нитраты, так же, как и фосфаты, усваиваются экосистемой (табл. 6).

Таблица 6

Среднемноголетние значения среднегодовых концентраций нитратов в створах Ивановского водохранилища

Створ наблюдений	Весь период наблюдений	Годы близкие к норме	Многоводные годы	Маловодные годы
Городня	1.46	1.48	1.51	1.42
Дубна	1.28	1.42	1.42	1.06

Выводы

Исследование связи между среднегодовыми концентрациями марганца, фосфатов, хлоридов и нитратов и годовыми значениями притока воды в Ивановское водохранилище за многолетний период показало, что коэффициенты корреляции в большинстве случаев оказались незначимыми и колебались в интервале от 0.05 до 0.15.

Статистически значимым оказался коэффициент корреляции (0.45) для маловодных лет у с. Городня (входной створ).

Необходим анализ связи между объемом притока воды в водохранилище за месяц и среднемесячными концентрациями основных загрязняющих веществ.

Работа выполнена в рамках темы № 0147-2019-0002 (№ государственной регистрации АААА-А18-118022090104-8) Государственного задания ИВП РАН.

Список литературы

1. Григорьева И.Л. Трансформация химического состава воды Ивановского водохранилища за многолетний период под влиянием природных и антропогенных факторов // Материалы Всерос. науч.-практ. конф. «Водные и экологические проблемы, преобразование экосистем в условиях глобального изменения климата: VI Дружининские чтения» (Хабаровск, 28-30 сентября 2016 г.). Хабаровск, 2016. С. 36-39.
2. Григорьева И.Л., Комиссаров А.Б., Чекмарева Е.А. Трансформация качества воды Ивановского водохранилища и его малых притоков за многолетний период под воздействием природных и антропогенных факторов // Вопросы географии. Изд-во Всерос. общест. орг-ции «Русское географическое общество», СПб., 2018. №145. С. 337-346
3. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика для инженеров и научных работников. М.: Физматлит. 2012. 816 с.

© Григорьева И.Л., Лапина Л.Э., 2019

ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ЮЖНОЙ ЧАСТИ ВОЛГОГРАДСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Лобойко В.Ф.¹, Овчарова А.Ю.²

¹ Волгоградский государственный аграрный университет, г. Волгоград

² Городищенская средняя школа № 1, г. Волгоград

E-mail: Ovcharova_82@list.ru

Аннотация. В статье выделены и проанализированы основные геоэкологические проблемы побережий южной части Волгоградского водохранилища, возникших в результате функционирования Волжской гидроэлектростанции. Среди наиболее актуальных проблем выделены: возникновение и широкое развитие абразии, водная и ледовая эрозия береговой линии, эвтрофикация, затопление населенных пунктов и плодородных земель, повышения уровня грунтовых вод. При строительстве и эксплуатации водохранилища был нанесен ущерб ихтиофауне Волги. Все геоэкологические ситуации объединены в две группы: 1 группа - проблемы, оказывающие воздействие на отдельные компоненты ландшафтов побережий водохранилища; 2 группа – воздействие на весь ландшафт побережий, в комплексе.

Ключевые слова: Волгоградское водохранилище, Волжская гидроэлектростанция, Волжско-Камский каскад, верхний бьеф, геоэкология.

THE CAUSES OF THE ENVIRONMENTAL PROBLEMS BEGINNING IN THE LITTORAL ZONE OF THE VOLGOGRAD RESERVOIR SOUTHERN PART AND THE WAYS FOR THEIR SOLUTION

Loboyko V.F.¹, Ovcharova A.Y.²

¹ Volgograd State Agrarian University", Volgograd

² Gorodishchensky secondary school № 1, Volgograd

E-mail: Ovcharova_82@list.ru

Abstract. The article highlights and analyzes the main geo-ecological problems of the coasts in the Volgograd reservoir southern part, which have arisen as a result of the Volga hydroelectric station operation. Among the most pressing problems highlighted there are: the emergence and widespread abrasion development, water and ice erosion of the coastline, eutrophication, flooding of human settlements and fertile lands, rising groundwater levels. Moreover, during the construction and operation of the reservoir the Volga river ichthyofauna was damaged. All geoecological situations are united into two groups: the first one - problems affecting individual components of the reservoir coastal landscape; the second one - the entire landscape of the coasts in the complex.

Keywords: Volgograd reservoir, Volga hydroelectric power station, Volga-Kama Cascade, upstream, geoecology.

Волжская ГЭС – это крупнейшая гидроэлектростанция в европейской части России. Волжский гидроузел входит в состав Волжско-Камского каскада водохранилищ, являясь последней ступенью. [1].

В результате строительства Волжского гидроузла в его верхнем бьефе сформировалось Волгоградское море, главной функцией которого является

регулирование стока Волги в интересах энергетики, водного транспорта, водоснабжения, рыболовства и сельского хозяйства [2].

Геоэкологический, социальный и экономический ущербы были нанесены экосистемам Волги до затопления Волгоградского водохранилища. В процессе подготовки ложа была очищена от леса и кустарника территории площадью 107,3 тыс. га (34,3 % от всей акватории будущего водохранилища), вырублено 4,4 млн. м³ товарной древесины, никаких работ по восстановлению лесных ресурсов не было сделано до сих пор. В пойме и на левом берегу Волги, в общей сложности, затоплено 107 тыс. га сенокосов и выгонов (рис. 1). При заполнении водохранилища были затронуты 125 населенных пунктов (в том числе и такие города, как Дубовка, Камышин и др.), [59] из которых были полностью вынесены из зоны затопления. Всего перенесено 18,5 тыс. дворов [3-7].

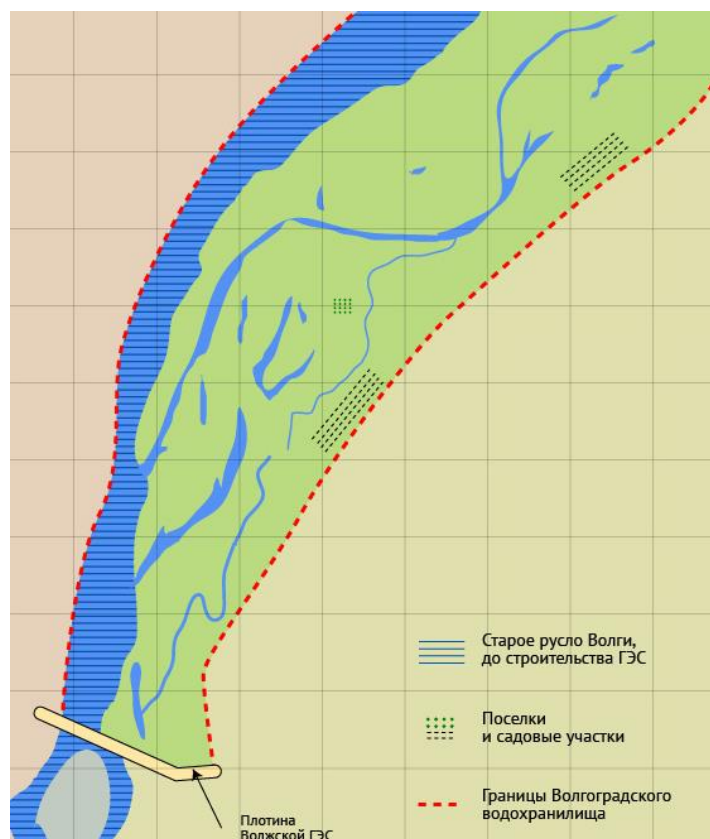


Рис. 1. Карта затопления русла Волги [7]

Среди исследователей, внесших вклад в изучение Волгоградского водохранилища на современном этапе его функционирования можно отметить: Р.С. Чалова, О.В. Филиппова, В.А. Брылева, Д.В. Золотарёва, Д.А. Солодовникова, А.В. Студеникина, А.В. Плякина, М.А. Шубина, В.В. Горяйнова, Б.Ю. Семененко, А.Н. Сажина, Б.Ю. Самусь, Ю.П. Самборского, Н.Н. Виноградову и многих других.

Среди основных экологических последствий функционирования Волгоградского водохранилища следует отметить следующие:

1. Возникновение и широкое развитие абразии. Более 70 % территории побережий Волгоградского водохранилища подвержены абразии [8], примерно 60 % береговой линии испытывают высокую и очень высокую степень разрушения побережий. В целом же, за последние почти 60 лет было утеряно свыше 123 км² берега (табл. 1), в пересчете на объемы это составил 0,402 км³ грунта (табл. 2).

Таблица 1

Площадь территорий, утраченных в результате отступления береговых бровок с 1958 по 2000 гг. [8]

Основные береговые зоны	Потеря территории	
	км ²	%
Зона правого берега	19,2	15,6
Зона левого берега	75,6	61,4
Острова	28,3	23,0
В целом	123,1	100,0

Таблица 2

Объемы разрушения береговых склонов Волгоградского водохранилища под действием абразии с 1958 по 2000 гг. [8]

Основные береговые зоны	Объем разрушения	
	км ³	%
Зона правого берега	0,073	18,0
Зона левого берега	0,299	74,4
Острова	0,030	7,6
В целом	0,402	100,0

Зарегулирование Волги способствовало активизации оползневых процессов на берегах водохранилища, развитие которых вызвано комплексом причин: подпором грунтовых вод, подтоплением грунтов, развитием абразии, колебанием уровня воды в водохранилище (особенно суточных). Ежегодно, в результате обрушения береговой линии, в Волгу сбрасываются порядка 300 млн. т. грунта, берега отступили на сотню метров. Разница между утренним и вечерним уровнями воды в водохранилище может достигать 2-3 м. Максимальных значений уровень воды может достигать в вечерние часы – часы пикового потребления электроэнергии, и наоборот, минимальных значений – в утренние часы [9] (рис. 2-3).

2. Водная эрозия береговой линии. Для правобережья Волгоградского водохранилища характерно широкое распространение плоскостной эрозии.

В рельефе Приволжская возвышенность выражена в виде денудационных эрозионных поверхностей. Плотность речных долин Волгоградского правобережья, по данным карт и космofотоснимков масштаба 1:100000, на сегодняшний день составляет 8-10 км на одну долину балок – 4 км, а плотность оврагов – от 1 до 5 единиц на 1 км берега.



Рис. 2. Абразионный уступ правого берега Волгоградского водохранилища у с. Караванка



Рис. 3. Абразионно-аккумулятивная терраса левого берега Волгоградского водохранилища у с. Рахинка

3. Ледовая эрозия береговой линии. Максимальная продолжительность ледостава составляет 137 сут., при этом толщина ледяного покрова может достигать 60 см, а в среднем составляет 40-45 см. Первые ледовые явления проявляются, как правило, к 7 декабря, к 12 декабря образуется устойчивый ледовый покров у г. Камышин, к 17 декабря – у г. Дубовка. Нарастание толщины льда продолжается до первой декады марта. Начало разрушения льда

отмечается в первых числах апреля (у г. Камышин – 6 апреля, у г. Дубовка – 4 апреля) [10].

4. *Эвтрофикация.* У многих крупных заливов и балок после возведения плотины в устьевой части сформировались «пороги», в результате заливы и балки были отшнурованы от акватории водохранилища, что способствовало замедлению в них течения, широкому развитию эвтрофикации и созданию новых экосистем лимнического типа. Об этом свидетельствует однотипность растительности вдоль берегов заливов и балок: осок южный, камыш, рогоз и сине-зеленые водоросли в водоеме [11, 12].

5. Затопление населенных пунктов и плодородных земель. Как уже упоминалось выше, в процессе подготовки ложа была очищена от леса и кустарника территория площадью 107,3 тыс. га (34,3 % от всей акватории будущего водохранилища), вырублено 4,4 млн. м³ товарной древесины и никаких работ по восстановлению лесных ресурсов не сделано до сих пор. В пойме и на левом берегу Волги, в общей сложности, затоплено 107 тыс. га сенокосов и выгонов. При заполнении водохранилища были затронуты 125 населенных пунктов, 59 из которых были полностью вынесены из зоны затопления. В общей сложности, перенесено 18,5 тыс. дворов [3, 5-7].

6. Повышение уровня грунтовых вод. Строительство Волгоградского гидроузла привело к повышению уровня грунтовых вод. На берегах Волгоградского водохранилища за последние 30 лет уровень грунтовых вод вблизи самого водохранилища повысился на 15 – 20 м, а на расстоянии 20-25 км от него – на 2-3 м [13]. Повышение уровня грунтовых вод вызвало подтопление и заболачивание прибрежной территории вокруг Волгоградского водохранилища. Согласно данным Комитета природных ресурсов Волгоградской области, в зоне подтопления береговых территорий Волгоградского водохранилища находятся 220-270 км², а в зоне сильного подтопления – около 4 тыс. га пахотных земель, 11 тыс. га лугов и 12 тыс. га леса, что составляет 10-15 % от общей подтопленной площади.

7. При строительстве и эксплуатации Волгоградского водохранилища был нанесен ущерб ихтиофауне Волги. С ее зарегулированием 2/3 нерестилищ ценных рыб (белорыбицы, русского осетра, волжской сельди, белуги и др.) были отрезаны Волжской плотиной у г. Волгоград. При проектировании водохранилища предполагалось, что оно станет важным рыбопромысловым водоемом, ежегодный улов в котором может достигать 17 тыс. т. при промысловой рыбопродуктивности 50 кг/га, что в 8 раз превысило бы прежний вылов в р. Волге при одновременном улучшении видового состава ихтиофауны. Но на деле оказалось все иначе: несмотря на постоянный выпуск в водо-

хранилище молодежи ценных видов рыб с 1952 г., максимальные уловы в 1980-х гг. колебались от 2,75 до 4,5 тыс. т. при наибольшей рыбопродуктивности в 1986 г. (14,4 кг/га) [14]. В настоящее время вылов едва превышает 1 тыс. т. в год. В 2013 г. квота на вылов рыбы в Волгоградском водохранилище была снижена на 3,7 %.

Выводы:

1. В результате исследований в пределах Волгоградского водохранилища выделены следующие экологические группы, связанные с Волжской плотинной: повышение уровня грунтовых вод, затопление населенных пунктов и плодородных земель, появление абразии, засоление и снижение уровня плодородия почв, активизация водной и ледовой эрозии, активизация или затухание абразии или аккумуляции, эвтрофикация заливов. Безусловно, это не полный перечень проблем, возникших при появлении и функционировании Волгоградского водохранилища.

2. Среди перечисленных проблем выделяются две группы воздействия. К первой группе следует отнести геоэкологические проблемы, оказывающие воздействие на отдельные компоненты ландшафтов побережий водохранилища; вторая группа – воздействие на весь ландшафт побережий, в комплексе.

Список литературы

1. Авакян А.Б., Салтанкин В.П., Шарапов В.А. Водохранилища. М.: Мысль, 1987. 325 с.
2. Филиппов О.В., Солодовников Д.А. Пятидесятилетние итоги развития берегов Волгоградского водохранилища // Стрелёв: Науч. ежегодник. Вып.8. Волгоград: Изд., 2010. С.135-139.
3. Залепухин В.В., Полячкова Т.О. Экологические и социальные последствия создания Сталинградского водохранилища // Вопросы краеведения. Вып. 12. Материалы XX краевед. чтений. Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2010. С. 467-470.
4. Каждан З.А., Кузин В.Н. Сталинградское водохранилище // Ученые записки Сталинград. гос. пед. ин-та им. А. С. Серафимовича. Вып. 10. Сталинград: 1959. С. 19-34.
5. Кокоулина М.В. Переформирование берегов Волгоградского водохранилища. Сб. работ Волгоград. ГМО. Л.: Гидрометеиздат, 1975. Вып.2. С. 4-30.
6. Коломенский Н.В. [и др.] Макет карты прогноза переработки берегов существующих водохранилищ. Изв. высших учеб. завед. Геология и разведка. 1974. № 2. С. 112-117.
7. www.rushydro.ru и www.volges.rushydro.ru – официальный сайт «Русгидро» и Волжской ГЭС.
8. Шепелева Е.С., Новиков В.В. Процессы эвтрофикации в Волгоградском водохранилище и пути их предотвращения / Эколого-экономические оценки регионального развития: материалы круглого стола. Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2009. С. 187-192.
9. Брылев В.А., Овчарова А.Ю. Формирование побережья нижней части Волгоградского водохранилища // Геоморфология. 2016. № 2. С. 18-26.
10. Географический атлас-справочник Волгоградской области. / под ред. В.А.Брылёва. 2-е изд., исправл., дополн. М.: Планета, 2014. 56 с.

11. Анциферова Г.А. Биоиндикация в геоэкологии: об эвтрофировании межледниковых, голоценовых и современных поверхностных водных экосистем бассейна Верхнего Дона // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. Геология. 2005. № 1. С. 240-250.
12. Шубин М.А. Литомониторинг: теоретические и прикладные аспекты. Волгоград: Принт, 2005. 276 с.
13. Экзарьян В.Н. Некоторые закономерности процесса переформирования берегов Волгоградского водохранилища // Вопросы изучения режима подземных вод и инженерно-геологических процессов, вып.103. М.: ВСЕГИНГЕО, 1975. С. 68-73.
14. Исаев А.И., Карпова Е.И. Рыбное хозяйство водохранилищ. М.: Агропроиздат, 1989. 255 с.

© Лобойко В.Ф., Овчарова А.Ю., 2019

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЦИМЛЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Кулик А.В., Кулик А.К., Хныкин А.С.

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, г. Волгоград
E-mail: kulik-a@vfanc.ru

Аннотация. В статье рассмотрены основные природные и антропогенные факторы, обуславливающие экологическое состояние водохранилища в последнее десятилетие. Дана характеристика водоохранной зоны, наличие в ней основных источников загрязнения. Обобщены данные по качеству вод и показана их динамика с 2000 по 2018 г.

Ключевые слова: качество воды, сток, водоохранная зона, гидрохимический режим.

ECOLOGICAL CONDITION OF TSIMLYANSKOE WATER RESERVOIR

Kulik A.V., Kulik A.K., Khnyckin A.S.

Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Science, Volgograd

Abstract. The article deals with the main natural and anthropogenic factors that determine the ecological state of the reservoir in the last decade. The water protection zone characteristic and the main sources of pollution presence is given. Data on water quality are summarized and their dynamics from 2000 to 2018 is shown.

Keywords: water quality, runoff, water protection zone, hydrochemical regime.

В бассейне Дона находится 43 водохранилища комплексного назначения с полным объёмом более 10 млн. м³, в основном сезонного регулирования стока [1]. Самым крупным является Цимлянское. Формирование его гидрохимического режима происходит в результате поступления воды с речным и

поверхностным стоком, точечными сбросами, смешивания их и аккумуляцией в самом водохранилище.

93 % в водном питании принадлежит стоку р. Дон и всего 6,6 % боковым притокам. Все реки являются типично равнинными, расположенные в степной зоне, основным источником питания являются талые снеговые воды. Доля весеннего стока составляет 60-90 % общего годового объема стока. В особо маловодные годы на малых реках весь сток проходит весной. Иногда в теплое время года случаются дождевые паводки. В последнее время поверхностный сток в результате таяния снега отсутствовал полностью или был незначительным из-за небольшой глубины промерзания почв, их низкой осенней влажности, малых снегозапасов. Ледяная корка, формирующаяся на поверхности в период зимних оттепелей, имела небольшую мощность и незначительное пространственное распространение, что при потеплении не сказывалось на величине поверхностного стока [2].

На территории Ростовской обл. в водоохранной зоне водохранилища установлено 367 объектов, из которых 16 осуществляют сброс сточных вод. Так же в пределах зоны расположены кладбища, скотомогильники, свалки. На побережье водохранилища широко развита сеть баз отдыха. В прибрежной защитной полосе водохранилища земли интенсивно используются в сельском и водном хозяйстве. Здесь расположены пахотные угодья, животноводческие комплексы и фермы, выпасается скот, находится около 80 рыбозаводов и рыбстанов [3].

В водоохранной зоне в границах Волгоградской обл., площадью 237 тыс. га, расположено 56 населенных пункта, 76 животноводческих комплексов и ферм, 19 складов горюче-смазочных материалов и 12 свалок. Основными источниками загрязнения являются поверхностный сток с жилых территорий, мест выпаса скота, кладбищ и скотомогильников, животноводческих ферм. Большая часть водоохранной зоны (36,9 %) используется под выпас скота, пахотных угодий – 16,0 %, сенокосов – 6,2 %. Лесистость территории в пределах 26 % [4].

Химический состав рек, впадающих в водохранилище, формируется на площади 29 тыс. км², характеризуясь неоднородностью почв и разнообразием подстилающих пород, что существенно влияет на концентрацию растворенных веществ в воде. В левобережье (границы водосборов р. Донская Царица, Мышкова, Есауловский и Курмоярский Аксай) почвенный покров представлен светло-каштановыми, луговыми и лугово-болотными почвами со значительным включением солончаков и солонцов, здесь грунтовые воды высокоминерализованные (от 1,0 до 6,0 г/л). В правобережье (границы водосборов

р. Лиска, Чир, Солоня, Аксенец, Цимла, Россошь) получили развитие южные черноземы, темно-каштановые и песчаные почвы. Грунтовые воды слабоминерализованные [5, 6].

Качество воды имеет сезонную динамику. Так, весной в период половодий наблюдается снижение солесодержания воды, а летом увеличение интенсивности продукционно-деструкционных процессов, включающие в себя разложение, утилизацию загрязняющих веществ и приводящие к восстановлению природных параметров воды, изменяет содержание биогенных элементов. С 2005 г. наблюдалось ухудшение качества воды и в весеннее время. Причиной послужило загрязнение органическими веществами в приплотинном участке. Источником послужили ливневые стоки г. Волгодонска. Концентрация практически всех веществ заметно выше в зимний период, что связано с воздействием на почвогрунты высоких и низких температур, а также с повышенным выбросом химически более агрессивных горячих вод [5].

Качество воды в реках, впадающих в водохранилище в период 2000-2009 гг. соответствовал 3 «б» (очень загрязненная) и 4 классу (грязная). Основными загрязняющими веществами являлись марганец и сульфаты. В результате проведенных [5, 6] исследований установлено, что ухудшение качества воды происходит близ устья р. Аксая Курмоярского и в районе г. Волгодонск, где показатель удельного комбинаторного индекса загрязнённости воды (УКИЗВ) увеличивался в среднем на 10 % (особенно осенью). Снижение индекса отмечалось также в приустьевом заливе р. Чир и верхней части приплотинного участка (рис. 1).

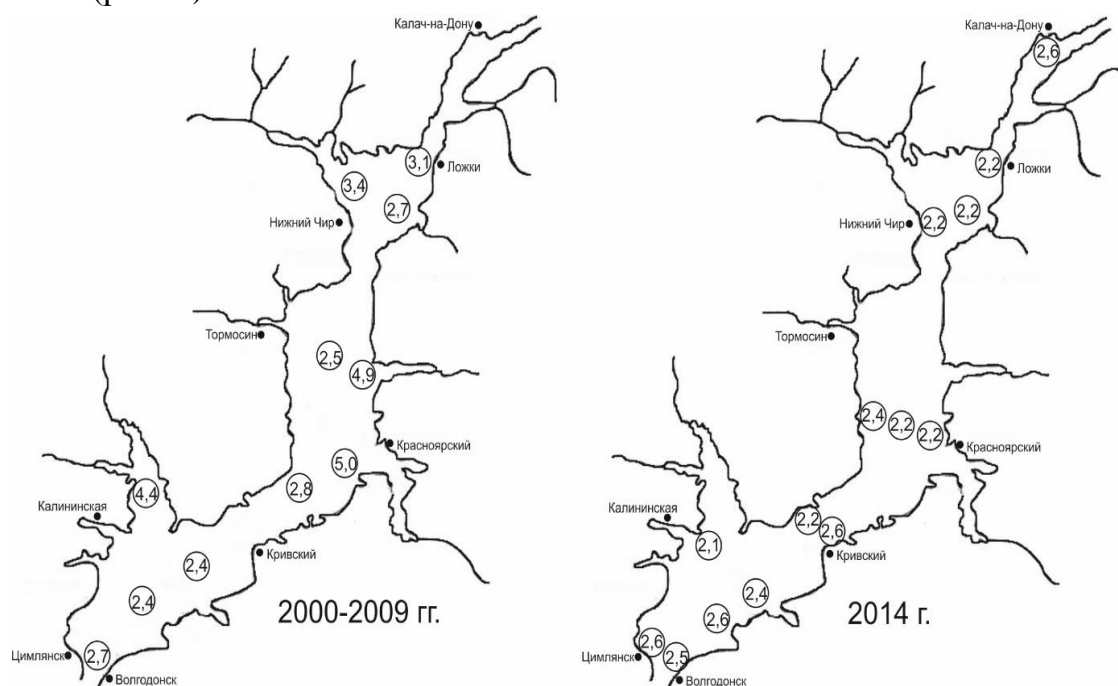


Рис. 1. Динамика УКИЗВ в период 2000-2014 г. на Цимлянском водохранилище

В 2014 г. качество воды соответствовало 3«а» классу (загрязненная), характеризующаясь превышением ионов марганца, меди, органических веществ, характеризующиеся величиной БПК₅ [7].

В 2018 г. ухудшилось качество воды в створе с. Ложки, а у пгт. Нижний Чир – улучшилось. Нарушений кислородного режима в течение года не зафиксировано. В пунктах наблюдения от с. Ложки до г. Волгодонска минимальные значения растворенного в воде кислорода варьировали в диапазоне от 6,98 до 9,11 мг/л. Минерализация от 346 до 652 мг/л. Характерными загрязняющими веществами в 2018 г. являлись трудноокисляемые органические соединения по ХПК (1 ПДК), соединения меди (2,5-3,5 ПДК) [8].

На Цимлянском водохранилище развито судоходство. По сравнению с 2004 г. количество судов снизилось практически в 2 раза. За навигационный период 2017 г. через него (шлюз № 14) проследовало 4 444 судна (рис. 2). На водохранилище базируется 110 предприятий и частных лиц с 874 единицами плавательных средств (в том числе 792 маломерных судов) [3].

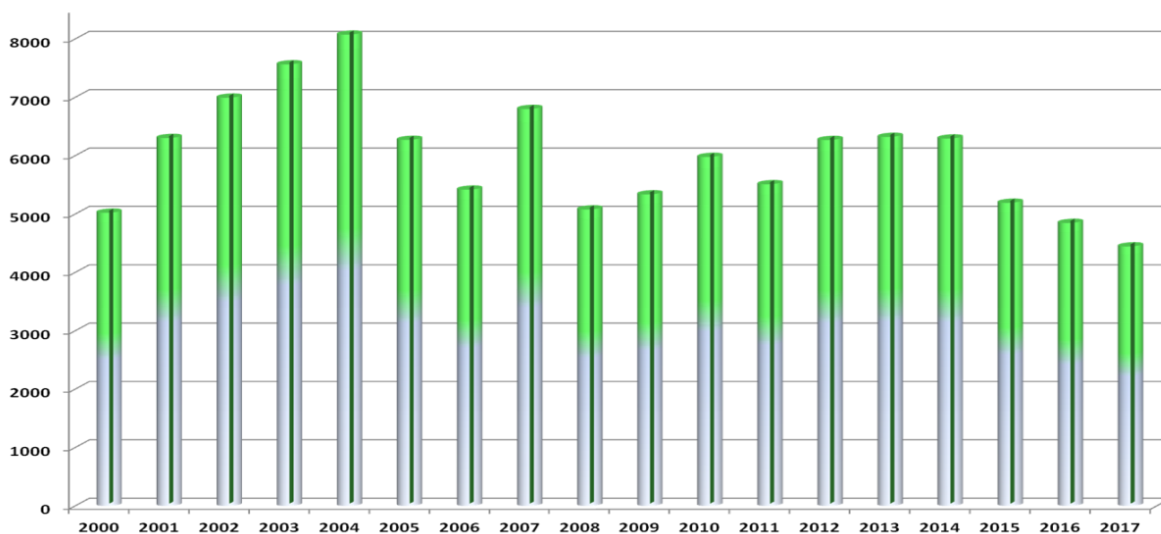


Рис. 2. Динамика судоходства на Цимлянском водохранилище [3]

Загрязнение нефтепродуктами носит в целом сезонный характер. Наибольшие показатели превышения ПДК отмечается в марте-апреле (в период половодья), когда с тальми водами в водохранилище поступают накопленные за зимний период нефтепродукты из населенных пунктов и прибрежных полос водоохраных зон. Всплеск превышения ПДК отмечается и в летний период, когда активизируются маломерные суда [9].

Серьёзной проблемой для Цимлянского водохранилища является массовое размножение сине-зелёных водорослей. На некоторых участках, особенно в заливах, на 1 м³ воды их приходится до 500 г [10]. Развитие водорослей приводит к снижению содержания в воде растворённого кислорода, что часто

приводит к массовой гибели ихтиофауны. Одновременно сине-зелёные водоросли наиболее интенсивно концентрируют железо, медь, марганец и кобальт, которые после их отмирания накапливаются в донных отложениях [9, 11].

В водохранилище очень низкий коэффициент водообмена – 1,05 (т.е. вода в его ложе меняется всего один раз в год), а регулирование стока зависит от водности года и величины рыбных пропусков. Перепад уровня может достигать 7 м. При повышении скорость берегоразрушения возрастает до трех раз, доходя до 10-15 м в год. Последними исследованиями [12] установлено, что на правобережье водохранилища наибольшему воздействию подвержены берега от г. Цимлянска до ст. Хорошевской, от х. Попов до х. Ближнеподгорский; на левобережье – от плотины Цимлянского гидроузла до х. Весёлый. В пределах Котельниковского района Волгоградской обл. (по данным на 2012 г.) отступление береговой линии составило в ст. Нагавской до 500-700 м, в х. Весёлом до 300 м. Под угрозой обрушения находятся жилые дома, ЛЭП, производственные постройки в ст. Пугачёвская, х. Приморском, Красноярском, Нижнеяблочном. Низким показателем водообмена, а также сложением берегов легкоразмываемыми горными породами объясняется быстрое обмеление водохранилища при одновременном значительном увеличении площади водного зеркала. Так, его объём с момента заполнения уменьшился на 3,5 % [9].

Исследования, проведенные в 2012 г. сотрудниками Ростовского НИИ микробиологии и паразитологии совместно с управлением Роспотребнадзора по Ростовской обл. в Цимлянском районе и филиалом ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Ростовской обл. в Цимлянском районе» определили основные санитарно-бактериологические характеристики воды Цимлянского водохранилища. Согласно требованиям, СанПиН 2.1.5.980-00 по общим и термотолерантным (характеризующие степень фекального загрязнения и косвенно определяющие эпидемическую опасность в отношении возбудителей кишечных инфекций) колиформным бактериям в 38,6 % определялись сальмонеллы (вызывающие острые инфекционные заболевания, вызывающие поражения желудочно-кишечного тракта), в 81,8 % – синегнойные палочки (вызывающие гнойно-воспалительные процессы). В 100 % преобладали глюкозоположительные колиформные бактерии, в результате массового размножения сине-зеленых водорослей [13].

На экологическое состояние водохранилища влияет ряд природных и антропогенных факторов. Малоснежность и мягкость зим сказывается на снижении поверхностного стока. Изменение качества воды связано с характером использования водоохраных зон, наличия источников загрязнения, природ-

ными особенностями. Превышение ПДК по меди объясняется их переносом во взвешенном состоянии, по марганцу связано с процессом разложения органического вещества в летний период. Повышенное содержание хлоридов и сульфатов зависит от гидрохимической трансформацией карбонатных пород при разрушении берегов. Загрязненность воды обусловлена, в том числе и высоким уровнем развития фитопланктона.

Список литературы

1. Научно-популярная энциклопедия. Дон река. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://water-rg.ru/Водные_объекты/81/Дон. (Дата обращения: 21.06.2019 г.).
2. Барабанов А.Т., Долгов С.В., Коронкевич Н.И. Влияние современных изменений климата и сельскохозяйственной деятельности на весенний поверхностный склоновый сток в лесостепных и степных районах русской равнины // Водные ресурсы. – 2018. – Т. 45. – № 4. – С. 332-340.
3. Экологический вестник Дона «О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2017 году». – Ростов-на-Дону, 2018. – 368.
4. Проект установления водоохранных зон и прибрежных защитных полос по берегам Цимлянского водохранилища в Волгоградской области. – Волгоград: ОАО «ВолгоградНИИгипрозем», 2004. – 116 л.
5. Шаврак Е.И., Фесенко Л.Н., Генераленко И.А. Особенности изменения качества воды цимлянского водохранилища // Вода: химия и экология. – 2011. – №5. – С. 11-17.
6. Шаврак Е.И. Малые реки как источник загрязнения воды в цимлянском водохранилище // Вода: химия и экология. – 2011. – № 3 (33). – С. 9-13.
7. Экологический вестник Дона «О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2013 году». – Ростов-на-Дону, 2014. – 378 с.
8. Экологический вестник Дона «О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2018 году». – Ростов-на-Дону, 2019. – 372.
9. Экологический паспорт Котельниковского муниципального района Волгоградской области. – Котельниково, 2012. – 248 с.
10. Бакаева Е.Н., Игнатова Н.А. Качество вод приплотинной части цимлянского водохранилища в условиях цветения сине-зеленых микроводорослей // Глобальная ядерная безопасность. – 2013. – № 1 (6). – С. 23-28.
11. Лобченко Е.Е., Минина Л.И., Ничипорова И.П., Первышева О.А. Динамика качества воды Цимлянского водохранилища (за период с 1979 по 2014 годы) // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2016. – № 6. – С. 74-92.
12. Косолапов А.Е., Ткаченко И.В., Немыкина Д.Е. Состояние берегов, водоохранных зон и качества воды в цимлянском водохранилище // Современные технологии: актуальные вопросы, достижения и инновации: сб. ст. IX Международ. науч.-практ. конф. – 2017. – С. 175-183.
13. Журавлев П.В., Алешня В.В., Панасовец О.П., Гордеев В.А., Казачок И.П., Черногорова Т.Н. Санитарно-бактериологическая характеристика воды цимлянского водохранилища // Здоровье населения и среда обитания. – 2012. – № 4 (229). – С. 8-11.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ МУТНОСТИ ВОДЫ В АКВАТОРИИ ВОДОХРАНИЛИЩ

Шмакова М.В.¹, Рахуба А.В.²

¹Институт озероведения РАН, г. Санкт-Петербург

²Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти

E-mail: m-shmakova@yandex.ru

Аннотация. Механическое воздействие на донные отложения в водоемах в результате различных гидротехнических мероприятий приводит к взмучиванию донного грунта и увеличению мутности водных масс. В зависимости от морфометрии водоема и области изъятия грунта, максимальное значение концентрации взвешенных веществ может различаться. Повышенная мутность воды водного объекта оказывает негативное воздействие на экосистему водного объекта, его гидрологические, гидрохимические и биологические характеристики, а также осложняет систему водопользования. В связи с этим особенный интерес представляет оценка полей максимального насыщения водных масс взвешенными веществами при гипотетической инициации процессов взмучивания донного грунта в акватории.

Ключевые слова: максимальная мутность, дноуглубительные работы, запруживание, водохранилище.

MODELLING OF MAXIMUM TURBIDITY DISTRIBUTION IN THE WATER AREA OF RESERVOIRS

Shmakova M.V.¹, Rakhuba A.V.²

¹Institute of Limnology RAS, St. Petersburg

²Institute of Ecology of Volga River Basin RAS, Tolyatti

E-mail: m-shmakova@yandex.ru

Abstract. Different hydrotechnical works result in resuspension of bottom soil and increase in water masses turbidity. Maximum concentration of suspended solids depends on the morphometry of the reservoir and the area of soil removal and can vary. Increased turbidity of the water body has a negative impact on the ecosystem of the water body, its hydrological, hydrochemical and biological characteristics, as well as complicates the system of water use. In this regard, of particular interest is to assess the maximum saturation fields of water masses with suspended solids at hypothetical initiation of the resuspension processes of bottom soil.

Keywords: maximum turbidity, dredging, dumping, reservoir.

Основные положения. При проведении в водном объекте гидротехнических работ, связанных с изъятием или отвалом донного грунта, возникают зоны повышенной мутности. Повышенная концентрация взвешенных веществ в реке или водоёме может привести к отрицательным последствиям, таким как ухудшение качества воды, нежелательные изменения глубин, нарушение экологического режима водного объекта [1]. Экстремально большие значения мутности неблагоприятно влияют на жизнедеятельность гидробионтов.

В последнее время появилось много работ по изучению влияния нагрузки избыточной мутности на водные экосистемы, начиная от основания пищевой цепи фитопланктона и заканчивая консументами высших порядков [2-5]. Причем ввиду того, что фитопланктон является основным продуцентом автотонного органического вещества в водоёме, последствия воздействия повышенной концентрации взвешенных веществ могут затронуть все звенья пищевой системы и нанести ущерб экосистеме, в целом. Избыточная мутность воды приводит к «засорению фильтрующих и пищеварительных органов водных организмов, сокращению их видового состава, замедлению роста, снижению численности и биомассы» [3].

Помимо отмеченного комплекса негативных воздействий повышенной мутности на гидробионты, отмечают также и ее положительное влияние на функционирование водной экосистемы [5, 6] – увеличенная концентрация взвешенных веществ в результате процессов адсорбции снижает концентрацию загрязняющих веществ в водных массах.

Основными количественными характеристиками полей повышенной мутности как следствия дноуглубительных работ являются продолжительность стояния облака повышенной мутности в водных объектах с замедленным водообменом, интенсивность распространения шлейфов повышенной мутности в акватории, концентрация взвешенных веществ на разном удалении от источника взмучивания и так далее. В настоящее время методы расчетов ряда характеристик повышенной мутности при дноуглубительных работах или запруживании представлены в различных нормативных документах и в печатных трудах исследователей соответствующего профиля. При этом основное внимание в этих методах уделяется динамическим характеристикам распространения поля повышенной мутности, в зависимости от производительности гидромеханического устройства, таким как интенсивность изменения шлейфа повышенной мутности и его геометрические размеры. Эти характеристики полностью сопряжены с естественной (ненарушенной) гидродинамикой водного объекта и вне зоны влияния механизмов, дополнительным гидродинамическим воздействием (образование волн и областей повышенной турбулентности) непосредственно от самих механизмов, с крупностью донных отложений и вкладом в общую гранулометрию частиц соответствующей «эффективной» крупности, продолжительностью работ по изъятию и сбросу грунта и объемом извлекаемого и сбрасываемого грунта. Частицами с «эффективной» крупностью можно полагать фракции, формирующие достаточно устойчивые поля повышенной мутности с большой инерционностью осадения. К таким частицам можно отнести взмучиваемый донный грунт с диаметром частиц не более 0.1 мм [7].

При наличии цифровой и гидродинамической моделей водного объекта в настоящее время для оценки распространения полей повышенной мутности прибегают к гидродинамическим расчётам. Численные эксперименты на гидродинамической модели позволяют давать непрерывную оценку распространения полей мутности и рассчитывать последствия возможных гидротехнических мероприятий, связанных с инициацией повышенной мутности в акватории.

Многие крупные озера и водохранилища являются источниками промышленного и питьевого водоснабжения населенных пунктов, расположенных в пределах их береговой зоны. При этом гидротехническое строительство, дноуглубительные работы с целью улучшения судоходных путей и водообмена между протоками, добыча нерудных материалов и запруживании приводят к возрастанию мутности воды в пределах гидродинамического источника взмучивания и последующего распространения шлейфов мутных вод в акватории.

Определенный интерес может представлять оценка гидродинамического потенциала максимального содержания взвешенных веществ в потоке вне зоны влияния действующего источника техногенного взмучивания, то есть максимальной вместимости водным потоком взвешенных частиц, или иначе, транспортирующей способности потока. Особенную ценность такие построения представляют для межлетнего периода, характеризующегося наименьшей глубиной потока, а значит наибольшими значениями мутности. Полученное поле максимального насыщения водных масс взвешенными веществами при гипотетической инициации процессов взмучивания донного грунта позволит оценить области акватории с наиболее неблагоприятными возможными значениями мутности воды, что может стать основой для последующих рекомендаций по мероприятиям, связанным с дноуглубительными работами и запруживании.

В основу таких расчётов может быть положена система уравнений мелкой воды, численно реализованная в работах [8, 9] и интегрированная в нее аналитическая формула транспортирующей способности потока [9]. В качестве иллюстрации поля гидродинамического потенциала максимального содержания взвешенных веществ были построены соответствующие карты для Куйбышевского водохранилища, оз. Неро и водохранилища Сестрорецкий Разлив (рис. 1-3). Актуальность построения подобных карт для этих водных объектов определяется рекреационной и водохозяйственной нагрузками. Например, Куйбышевское водохранилище является источником промышленного и питьевого водоснабжения большого количества населенных пунктов, расположенных в пределах его береговой зоны, среди которых Казань, Тольятти, Ульяновск, Тетюши, Зеленодольск, Чистополь, Волжск, Новоульяновск.

Вполне ожидаемо, что наибольшие значения мутности приходятся на мелководные части водоёмов с замедленной гидродинамикой, достигая нескольких сотен мг/л. Наименьшие значения концентрации приходятся на глубоководные участки, составляя до 30 мг/л для исследуемых акваторий. На основной площади исследуемых акваторий значения максимально возможной мутности будут находиться в пределах 50 – 150 мг/л.

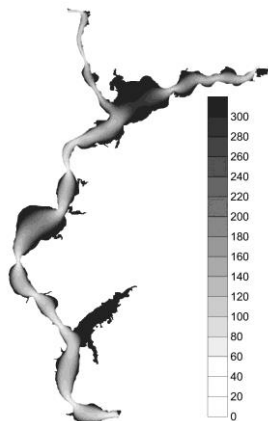


Рис. 1. Карта распространения максимальной мутности воды (г/м^3) в акватории Куйбышевского водохранилища в меженный период при расходе воды р. Волга – Жигулевская ГЭС $5000 \text{ м}^3/\text{с}$



Рис. 2. Поле максимально возможной мутности (г/м^3) в акватории оз. Неро в меженный период при расходе воды р. Сара – пгт. Петровское $1.7 \text{ м}^3/\text{с}$



Рис. 3. Поле максимально возможной мутности (г/м^3) в акватории Сестрорецкого Разлива в меженный период при расходе воды р. Сестра – ст. Белоостров $2 \text{ м}^3/\text{с}$

Выводы.

Существующие методы расчёта поля повышенной мутности направлены на оценку динамических характеристик этого поля. В зависимости от поставленной задачи и от характера водного объекта, для расчёта выбираются методы соответствующей гидравлической детализации. Оценка гидродинамического потенциала максимального содержания взвешенных веществ может быть представлена расчётами транспортирующей способности водных масс в акватории.

Для Куйбышевского водохранилища, оз. Неро и водохранилища Сестрорецкий Разлив получены карты распространения максимальной мутности воды, построенные при гипотетической инициации процессов взмучивания донного грунта в акватории. Особенную ценность этот результат представляет для межлетнего периода, характеризующегося наименьшей глубиной потока, а значит наибольшими значениями мутности. Подобные планы распространения максимальной мутности позволят оценить области акватории с наиболее неблагоприятными гидродинамическими условиями, что может стать основой для последующих рекомендаций по мероприятиям, связанным с дноуглубительными работами и запруживанием в водных объектах с замедленным водообменом.

Список литературы

1. Методические основы оценки и регламентирования антропогенного влияния на качество поверхностных вод / Под ред. Засл. деят. науки и техники РСФСР, проф. А.В. Караушева. Изд. 2-е, перераб. и доп. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 285 с.
2. Максимова О.Б. Оценка влияния повышенной мутности воды, возникающей при проведении гидротехнических работ, на структурно-функциональные характеристики фитопланктона: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.18. СПб, 2002. 182 с.
3. Кондратьева Т.А., Захаров С.Д., Халиуллина Л.Ю. Влияние добычи нерудных строительных материалов на экосистемы Куйбышевского водохранилища // Вест. Казан. технол. ун-та. 2012. Т. 15. № 19. С. 116 – 119.
4. Зиновьев Е.А., Китаев А.Б. О воздействии взвешенных частиц на гидрофауну // Изв. Самар. науч. центра Рос. акад. наук. 2015. Т. 17. № 5. С. 283 – 288.
5. Лепихин А.П., Головачева С.И. К проблеме регламентации отведения взвешенных веществ в естественные водотоки // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2015. № 1. С. 4 – 13.
6. Ботвинков В.М., Дегтярев В.В., Седых В.А. Гидроэкология на внутренних водных путях: Учебник для воднотранспортных вузов. Новосибирск: Сибирское соглашение, 2002. 356 с.
7. ВРДС 12-05-03 МО РФ «Методические указания по расчёту распространения зон мутности при дноуглублении и дампинге на акваториях ВМФ». М.: 2003. 80 с.
8. Рахуба А.В. Опыт использования измерительно-вычислительной системы «Хитон-Волна» в гидроэкологических исследованиях прибрежной акватории г. Тольятти // В сб.: Экологические проблемы промышленных городов. Материалы 8-й Междунар. науч.-практ. конф. Саратов, 2017. С. 484-488.
9. Шмакова М.В. Расчёты твердого стока рек и заиления водохранилищ. СПб.: Изд-во ВВМ, 2018. 149 с.

ИЗУЧЕНИЕ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ СОДЕРЖАНИЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В ТОЛЩЕ ВОДЫ БАЙКАЛА И ВОДОХРАНИЛИЩ ИРКУТСКОЙ И КРАСНОЯРСКОЙ ГЭС

Домышева В.М.¹, Панченко М.В.², Иванов В.Г.¹, Пестунов Д.А.²,
Сакирко М.В.¹

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Лимнологический институт Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт оптики атмосферы Сибирского отделения Российской академии наук, г. Томск

E-mail: hydrochem@lin.irk.ru

Аннотация. Рассмотрены сезонные и пространственные изменения концентрации диоксида углерода и метана в воде Иркутского и Красноярского водохранилищ. Показано влияние вод оз. Байкал на содержание и динамику парниковых газов в Иркутском водохранилище.

Ключевые слова: водохранилище, Байкал, диоксид углерода, метан.

STUDYING THE SEASONAL DYNAMICS OF THE GREENHOUSE GASES CONTENT IN WATER OF BAIKAL AND RESERVOIRS OF THE IRKUTSK AND KRASNOYARSK HPS

Domysheva V.M.¹, Panchenko M.V.², Ivanov V.G.¹, Pestunov D.A.²,
Sakirko M.V.¹

¹FSBI of Science Limnological Institute of the Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk

²FSBI of Science Institute of Atmospheric Optics, Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Tomsk

Abstract. Seasonal and spatial changes in the carbon dioxide and methane concentrations in the water of the Irkutsk and Krasnoyarsk reservoirs are considered. The influence of the Baikal waters on the content and dynamics of greenhouse gases in the Irkutsk reservoir is shown.

Keywords: reservoir, Baikal, carbon dioxide, methane.

Газовый режим водохранилищ зависит от многих факторов, основными из которых являются распад органического вещества, дыхание водных организмов, интенсивность фотосинтеза, газообмен с атмосферой, а также возраст водохранилищ проточность, вид почвы и пород водосборного бассейна и другие. Исследования газового режима водохранилищ, особенно содержания в них парниковых газов, весьма актуальны в связи с возрастающим в последнее время интересом к оценке влияния ГЭС и образованных водохранилищ, с точки зрения источников парниковых газов в атмосферу или, наоборот, их поглотителей из атмосферы.

В работе приведены данные исследований разных по гидрологическим характеристикам водохранилищ, Иркутского и Красноярского, в июне, июле,

августе-сентябре 2017 г. и в апреле и декабре 2018 г. На Иркутском водохранилище пробы отбирались на трех разрезах: у плотины (1), в средней (2), верхней (3) частях и в истоке Ангары, привлечены также данные по содержанию парниковых газов в Байкале. Отбор проб на Красноярском водохранилище выполнен на четырех разрезах: 1 разрез - в приплотинной части, 2 и 3 разрезы - на плесах в средней части водоема и 4 разрез - в верховье водохранилища. Пробы воды отбирались по глубине через каждые 10 м, у берегов и в середине разреза. В пробах определяли содержание диоксида углерода двумя методами - титриметрическим и расчетным по величине рН (РД 52.24.515-2005). Определение содержания метана выполнено газохроматографическим методом с использованием анализа равновесного пара (РД 52.24.512-2012).

Иркутское водохранилище создано в 1956 г. в верхней части долины р. Ангара и включает в себя подпруженное оз. Байкал. Площадь водного зеркала речной части водохранилища – 154 км², длина от истока Ангары до плотины – 65 км, максимальная ширина – 7 км. Средняя глубина водохранилища – 13,6 м, коэффициент водообмена – 33.

Красноярское водохранилище создано в 1967 г. в среднем течении р. Енисей. Водохранилище представляет собой часть четко выделяющихся плесовидных расширений и сужений в горных каньонах. Длина водохранилища – около 390 км, площадь водного зеркала водохранилища – 2000 км². Максимальная ширина – 2,2-3,5 км, средняя глубина – около 37 м, максимальная – до 105 м в приплотинной части [1]. Показатель водообмена Красноярского водохранилища по [2] составляет 10-11 месяцев.

Вода водохранилищ маломинерализованная, относится к гидрокарбонатному классу группы кальция. В Иркутском водохранилище, как и в Байкале, не наблюдается сезонных изменений минерализации (около 100 мг/дм³), в Красноярском водохранилище минерализация снижается от зимы (140-160 мг/дм³) к лету в 1,5-3 раза [3-5].

Диоксид углерода. Концентрация диоксида углерода в водной толще Иркутского водохранилища за период наблюдений изменялась от 0,14 до 2,56 мг/дм³. В поверхностном слое воды Иркутского водохранилища содержание СО₂ снижается от июня к сентябрю, возрастает в декабре, в период становления льда и уменьшается в апреле, перед вскрытием водохранилища ото льда (рис. 1). В Байкале и истоке динамика СО₂ в период открытой воды иная – концентрация диоксида углерода повышается в июле и снижается в сентябре.

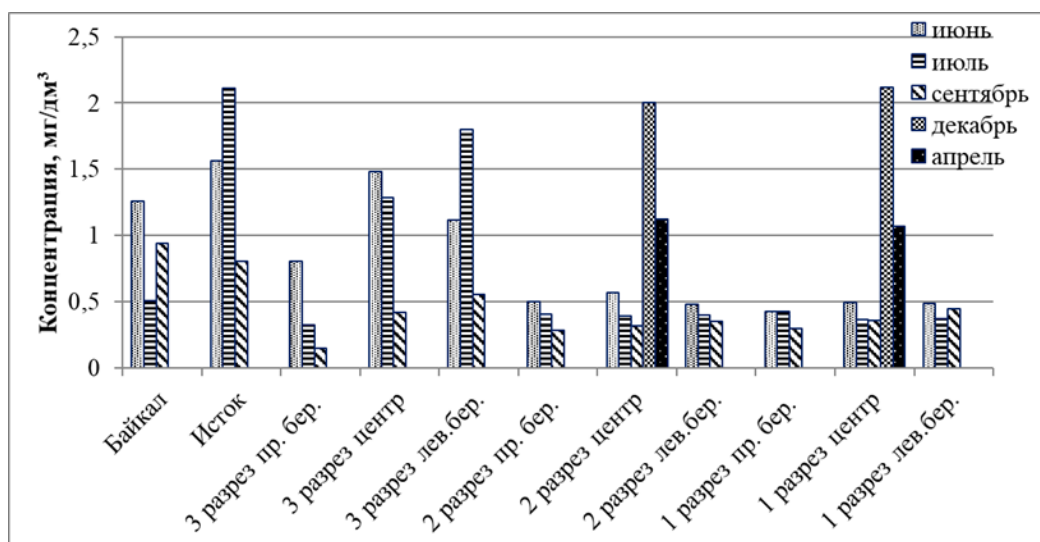


Рис. 1. Сезонная динамика диоксида углерода в поверхностном слое воды оз. Байкал и Иркутском водохранилище, 2017-2018 гг.

Различие в динамике CO_2 обусловлено особенностями развития фитопланктона. В Байкале и в истоке Ангары весеннее подледное развитие фитопланктона приводит к снижению содержания диоксида углерода в июне, в июле весенний комплекс водорослей отмирает, а развитие летнего комплекса еще не началось, и концентрация CO_2 возрастает. В августе-сентябре, в период максимального прогрева воды и пика развития водорослей, содержание диоксида углерода уменьшается. В Иркутском водохранилище прогрев воды и развитие летних видов фитопланктона наступает раньше, и концентрация CO_2 постепенно снижается с июня к сентябрю. В декабре, когда только установился ледовый покров, количество водорослей минимально, и содержание диоксида углерода возрастает. Активное развитие подледного фитопланктона приводит к уменьшению концентрации CO_2 в поверхностных слоях воды, причем в Байкале снижение концентрации значительнее, чем в водохранилище, что связано с повышенным содержанием органического вещества в водохранилище.

С ростом глубины концентрация диоксида углерода в июне-сентябре возрастает на 25-30 % на станциях с глубиной до 6 м и в 2 раза – на станциях с глубиной более 15 м, в подледный период ее вертикальные изменения небольшие (рис. 2).

В водной толще Красноярского водохранилища концентрация CO_2 за период наблюдений варьировала от 0,14 до 4,82 мг/дм³. Сезонная динамика CO_2 в поверхностном слое воды отличается от таковой в Иркутском водохранилище. В поверхностном слое Красноярского водохранилища наибольшие концентрации диоксида углерода наблюдались в сентябре, минимальные на 1 и 2 разрезах – в августе, на 3 и 4 разрезах – в июне (рис. 3), что согласуется

с изменениями температуры и, вероятно, временным сдвигом развития водорослей, потребляющих диоксид углерода.

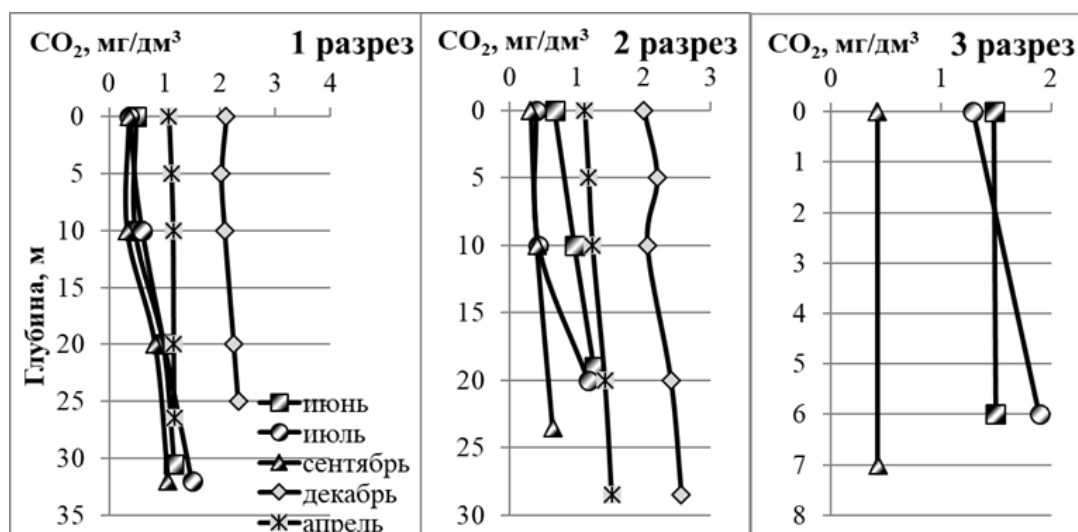


Рис. 2. Вертикальное распределение концентрации диоксида углерода в воде Иркутского водохранилища в 2017-2018 гг. (центральные станции разрезов)

В августе деструкция органического вещества в мелководных районах (3, 4 разрезы) начинает преобладать над процессом продукции, и содержание диоксида углерода в поверхностном слое мелководной части становится выше по сравнению с глубоководной частью водохранилища. Рост концентрации CO_2 по всей акватории водохранилища происходит в сентябре и достигает максимума в апреле.

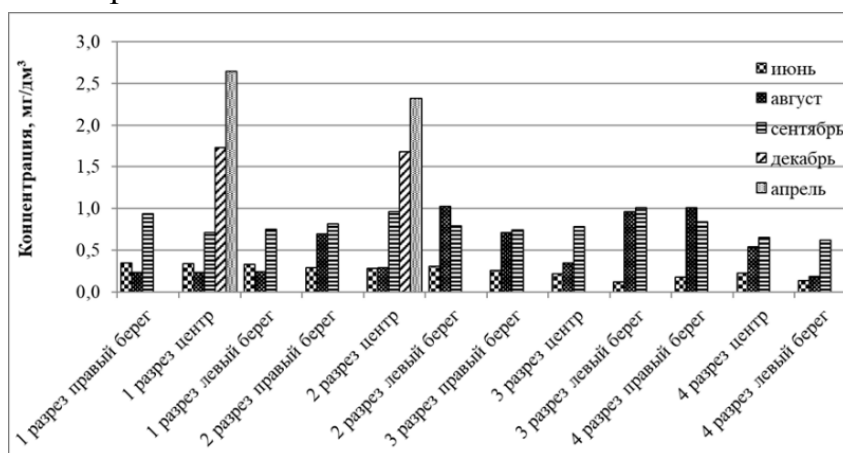


Рис. 3. Сезонная динамика диоксида углерода в поверхностном слое воды Красноярского водохранилища, 2017-2018 гг.

Содержание диоксида углерода возрастает с глубиной, в июне максимальные изменения концентрации происходят в верхнем 10-метровом слое, глубже его содержание остается практически постоянным (рис. 4). В августе и сентябре максимальный рост концентрации отмечается в слое глубже 10 м. В подледный период вертикальные изменения содержания CO_2 небольшие.

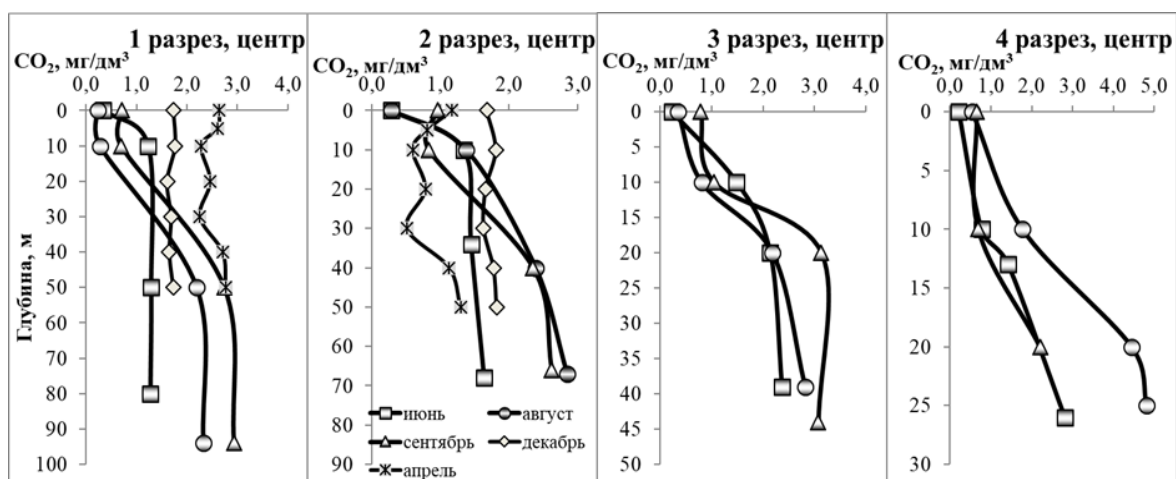


Рис. 4. Вертикальное распределение концентрации диоксида углерода в воде Красноярского водохранилища в 2017-2018 гг. (центральные станции разрезов)

Метан. Концентрация CH_4 в поверхностном слое воды Иркутского водохранилища не превышает 2 мкг/дм^3 (рис. 5). Исключение составляет правый берег 3 разреза, где в течение всего периода наблюдений регистрируется высокая концентрация метана, здесь сказывается влияние поселка и р. Большая Речка, что вполне согласуется с результатами исследований на других водохранилищах [6-8].

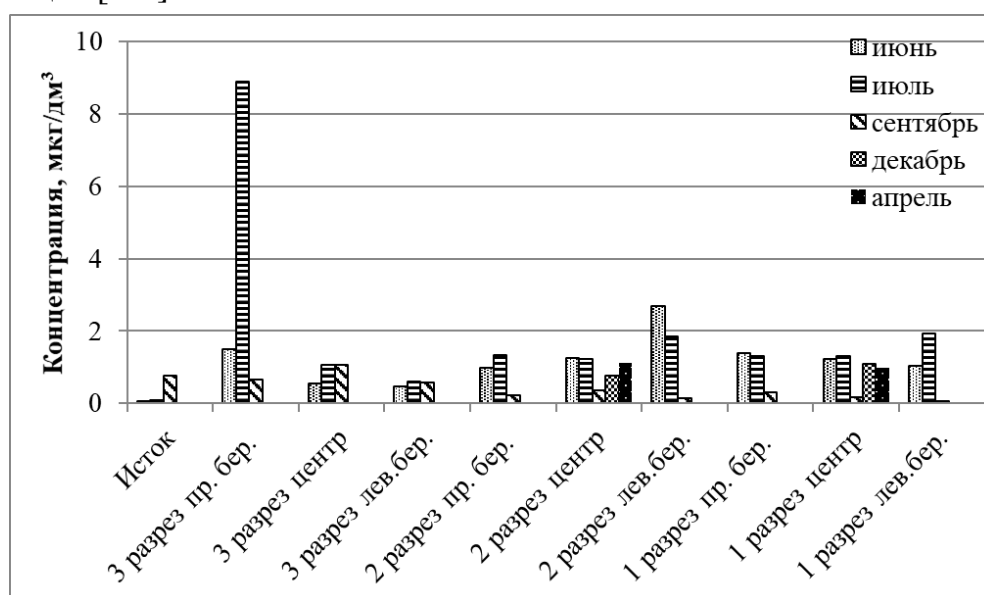


Рис. 5. Сезонная динамика метана в поверхностном слое воды Красноярского водохранилища, 2017-2018 гг.

Содержание метана в июне и июле на 1 и 2 разрезах на поверхности практически одинаковое, в глубинной области концентрация газа возрастает (рис. 6). К сентябрю его количество в поверхностном слое несколько увеличивается, в глубинной части, напротив, снижается по сравнению с концентрацией в июле. В декабре характер вертикального распределения сохраняется, в апреле наблюдается увеличение содержания CH_4 в придонной области.

На 3 разрезе отмечается ее рост по всей вертикали от июня к июлю и снижению к сентябрю. Такой сезонный ход характерен и для других водоемов [7], когда максимальный пик скорости образования метана и уровня его содержания приходится на период наибольшего прогрева водохранилищ.

Наиболее высокие концентрации отмечаются в мелководьях, когда интенсивные процессы метаногенеза протекают не только в донных отложениях, но и в водной толще, разница между поверхностным и придонным слоем воды по содержанию метана во все сезоны года незначительна.

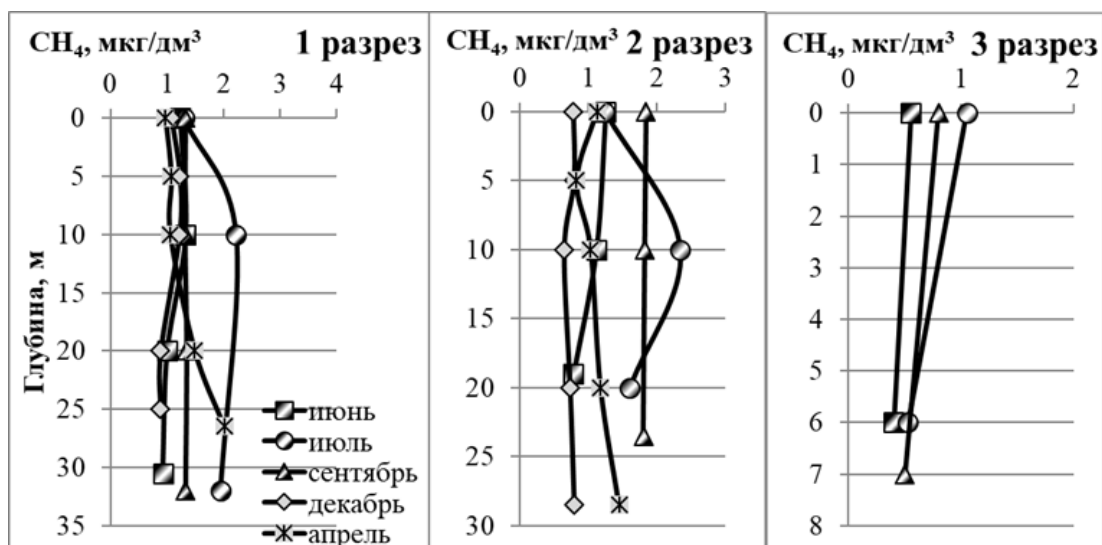


Рис. 6. Вертикальное распределение концентрации метана в воде Иркутского водохранилища в 2017-2018 гг.

Значительное снижение скорости образования метана и его содержания в донных отложениях и воде по всей акватории водохранилища наблюдается уже в начале осени, что связано с понижением температуры [8]. Помимо этого, уменьшение уровня содержания метана в осенний период, в значительной мере, обусловлено насыщением воды кислородом вследствие интенсивного вертикального перемешивания и увеличения его растворимости в воде при снижении температуры. Поэтому к концу осенней циркуляции концентрация метана незначительна и равномерно распределена по всему столбу воды.

Концентрация метана в воде Красноярского водохранилища максимальна в сентябре, минимальна на 1 разрезе - в июне, на 2 и 3 разрезах – в августе (рис. 7). Максимум концентрации метана в сентябре можно объяснить тем, что водохранилище находится в начальной стадии охлаждения, в это время завершается вегетация летне-осеннего комплекса фитопланктона [9] и происходит активное разложение его остатков микроорганизмами, пик развития которых в Красноярском водохранилище приходится на середину августа. К декабрю, с значительным понижением температуры, содержание метана

в водохранилище выравнивается по вертикали, в апреле, практически при таком же вертикальном профиле, концентрация CH_4 возрастает в 1,5 раза. На 4 разрезе динамика метана обусловлена, во-первых, влиянием речных вод, поступающих в основном (95 %) в верховье водохранилища; во-вторых, более быстрым прогревом водной толщи плеса в верховье водохранилища весной и летом и быстрым охлаждением осенью [1]. Кроме того, большое влияние на содержание метана в этом районе может оказывать пос. Краснотуранск, максимальная концентрация метана в поверхностной воде отмечается берега, где расположен поселок.

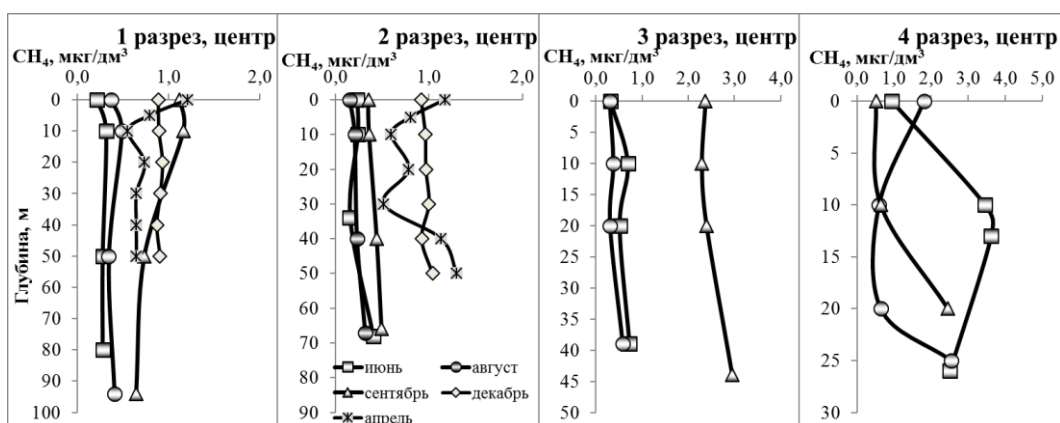


Рис. 7. Вертикальное распределение концентрации метана в воде Красноярского водохранилища в 2017-2018 гг. (центральные станции разрезов)

Таким образом, содержание углекислого газа и метана в водной толще Иркутского и Красноярского водохранилищ невысокое. В Иркутском водохранилище на их содержание, распределение по длине и, частично, сезонную динамику влияние оказывает вода, поступающая из оз. Байкал, в то время как на качестве воды у правого берега сказывается антропогенное влияние поселка и р. Большая Речка.

В Красноярском водохранилище на содержание диоксида углерода и метана влияет вода притоков, поступающая в верховье водохранилища, и антропогенное влияние пос. Краснотуранск. Изменения в сезонной динамике растворенных газов обусловлены временным смещением прогрева водных масс от зоны подпора к нижней части водоема. Распределение метана в Красноярском водохранилище характеризуется, как и в других водохранилищах, максимумом в верховье, снижением к средней части и повышением к приплотинному участку.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ № 18-45-030007 р_а и Министерства образования и науки Республики Бурятия.

Список литературы

1. Космаков И.В. Термический и ледовый режим в верхних и нижних высоконапорных гидроэлектростанций на Енисее. Красноярск: изд. Кларетианум. 2001. 144 с.
2. Исаев А.И., Карпова Е.И. Рыбное хозяйство водохранилищ. М.: ВО «Агропромиздат». 1989. 255 с.
3. Карнаухова Г.А. Гидрохимия Ангары и водохранилищ ангарского каскада // Водные ресурсы. 2008. Т. 35. № 1. С. 72-80.
4. Тарасова Е.Н., Мамонтов А.А., Мамонтова Е.А. Факторы, определяющие современный гидрохимический режим Иркутского водохранилища // Вода: химия и экология. 2015. № 7. С. 10-17.
5. Красноярское водохранилище: мониторинг, биота, качество вод. // ред. Алимов АФ., Иванова М.Б. Красноярск: изд. Сибирский федеральный университет. 2008. 537 с.
6. Гарькуша Д.Н. Фёдоров Ю.А. Тамбиева Н.С. Пространственно-временные закономерности распределения содержания метана в водохранилищах // Водопользование. Водоотведение. Водоподготовка: прил. к журн. "Водоочистка". 2016. № 3. С. 50-55.
7. Метан в водных экосистемах / Ю.А. Федоров, Н.С. Тамбиева, Д.Н. Гарькуша, В.О. Хорошевская / Ростов-на-Дону. Ростиздат, 2005. 329 с.
8. Дзюбан А.Н. Метан и микробиологические процессы его трансформации в воде верхневолжских водохранилищ // Водные ресурсы. 2002. Т.29. № 1. С. 68-78.
9. Чайковская Т.С. Фитопланктон р. Енисей и Красноярского водохранилища после наполнения. // Биологические исследования Красноярского водохранилища. Новосибирск: Наука. 1975. С. 43-91.

© Домышева В.М., Панченко М.В., Иванов В.Г.,
Пестунов Д.А., Сакирко М.В., 2019

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ CO₂ И CH₄ НА ВОДОХРАНИЛИЩАХ ИРКУТСКОЙ, КРАСНОЯРСКОЙ ГЭС И ПО АКВАТОРИИ ОЗ.БАЙКАЛ

Панченко М.В.¹, Домышева В.М.², Пестунов Д.А.¹, Иванов В.Г.²

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е.Зуева СО РАН, г. Томск

²Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск

E-mail: pmv@iao.ru

Аннотация. В работе проводится описание созданного судового аппаратурно-программного комплекса для измерения концентраций углекислого газа и метана в атмосфере и в поверхностной воде, а также их потоков. На примере результатов, полученных на оз.Байкал и водохранилищах Иркутской и Красноярской ГЭС. продемонстрированы возможности созданной аппаратуры для изучения процессов газообмена в системе «атмосфера-вода».

Ключевые слова: метан, углекислый газ, потоки в системе «вода – атмосфера», оз. Байкал, водохранилища ГЭС.

RESEARCH INTO CO₂ AND CH₄ CONCENTRATIONS SPATIAL DISTRIBUTION IN THE RESERVOIRS OF THE IRKUTSK AND KRASNOYARSK HPS AND IN LAKE BAIKAL WATER AREA

Panchenko M.V.¹, Domysheva V.M.², Pestunov D.A.¹, Ivanov V.G.²

¹V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Tomsk

²Limological Institute SB RAS, Irkutsk

E-mail: pmv@iao.ru

Abstract. This paper describes the created shipboard hardware-software complex for measuring concentrations of carbon dioxide and methane in the atmosphere and surface water, as well as in their fluxes. By the example of the results obtained at Lake Baikal and the reservoirs of the Irkutsk and Krasnoyarsk Hydroelectric Stations (HPS), the capabilities of the equipment created for studying gas exchange processes in the "atmosphere – water" system are demonstrated.

Keywords: carbon dioxide, methane, water-air fluxes, Lake Baikal, hydroelectric reservoirs.

Углеродосодержащие газы CO₂ и CH₄ являются одними из наиболее важных парниковых газов, рост концентрации которых в атмосфере планеты оказывает существенное влияние на изменение радиационного баланса [1]. Применительно к задаче наших исследований отметим, что во всех сценариях Сибирь рассматривают, как один из важнейших регуляторов углеродного цикла в Северном полушарии [2, 3]. Но до сих пор, в различных модельных оценках бюджета углерода [3] практически не используются сведения о вкладе бореальных озер и водохранилищ ГЭС, в то время как зарубежные специалисты уделяют этому вопросу значительное внимание (см. напр. [4, 5]). Рассматривая оз. Байкал как уникальную природную лабораторию, с 2002 г. нами была начата многолетняя серия комплексных исследований процессов газообмена углекислого газа в системе «водная поверхность – атмосфера». За этот период был создан комплекс аппаратуры и отработана методика измерений необходимого набора характеристик как в прибрежной зоне, так и в судовых экспедициях [6-8], описанию которых в статье уделено основное внимание. Непрерывные измерения по ходу судна углекислого газа и метана в поверхностной воде и в атмосфере осуществляются судовым мобильным комплексом [9], дополненным проточным флуориметром.

В состав газоаналитического сегмента входят (рис. 1): газоанализатор CO₂, CH₄, H₂O (PicarroG-2103 f) и дополнительный газоанализатор CO₂, H₂O (LiCOR - 840). Пробы воздуха со всех точек отбора (атмосфера, плавающая камера, эквilibратор) подаются на один газоанализатор поочередно через селектор каналов (3 на рис. 1). Для непрерывной записи текущих координат местоположения судна использован навигатор спутниковой системы GPS Prestigio SBR301.

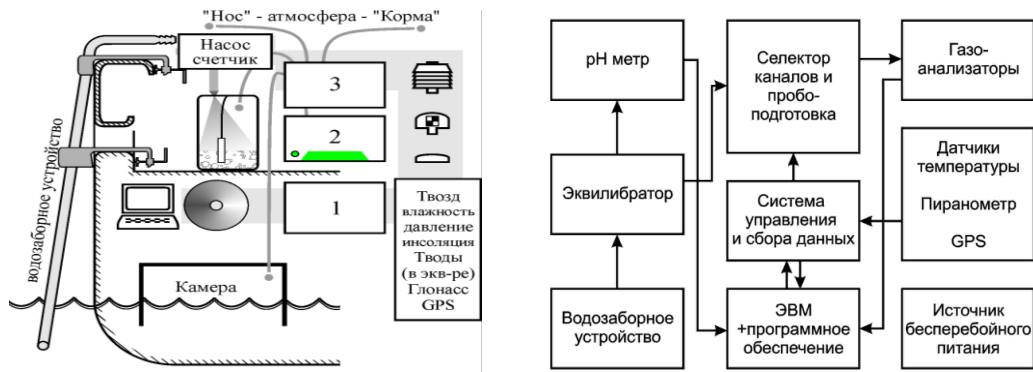


Рис. 1. Состав и структура мобильного измерительного комплекса

Поток CO_2 в системе «вода-атмосфера» может быть рассчитан по формуле:

$$F = k \Delta P_x \quad (1)$$

где $\Delta P_x = (P_x - p_x)$, а P_x и p_x – парциальные давления измеряемого газа в поверхностной воде и в приводной атмосфере, соответственно; k - коэффициент обмена, зависящий от скорости ветра. Величина ΔP_x определяет знак потока углекислого газа и далее используется нами для описания пространственной картины распределения направления потоков.

Байкал. Пример измерения разности парциальных давлений ΔP_x растворенного углекислого газа (слева) и метана (справа) между водой и атмосферой в прибрежной зоне оз. Байкал в августе 2018 г. представлен на рис. 2.

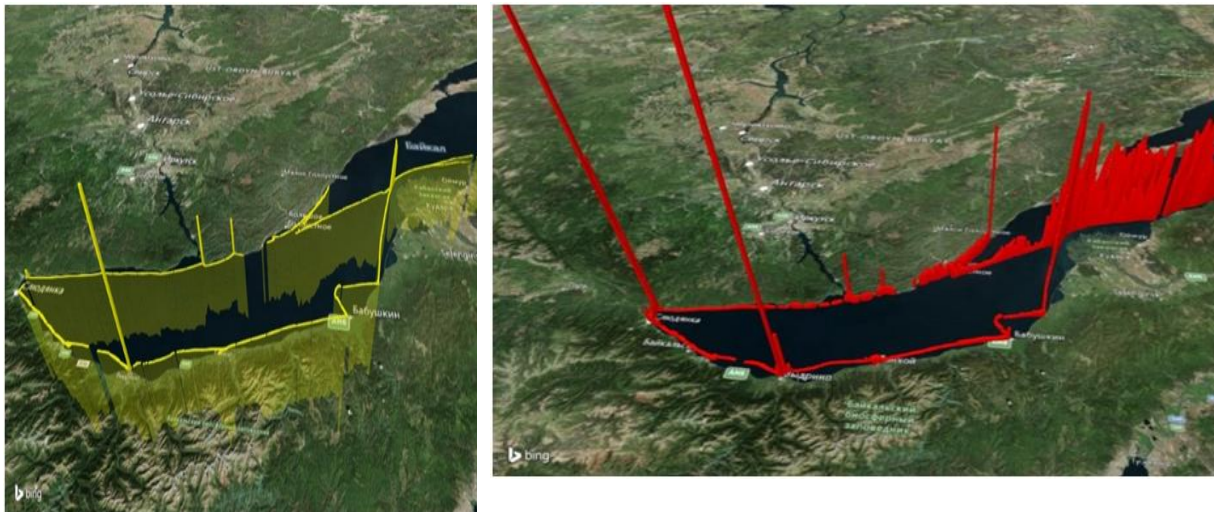


Рис. 2. Распределение разности парциального давления CO_2 и CH_4 в акватории Южного Байкала (август 2018)

Прямые измерения потоков газа с водной поверхности с помощью плавающей камеры проводятся на станциях (остановка судна в заданной точке). На рис. 3 приведен средний суточный ход потока CO_2 на каждый месяц для периода открытой воды (по измерительным циклам с 2004-2015 гг.)

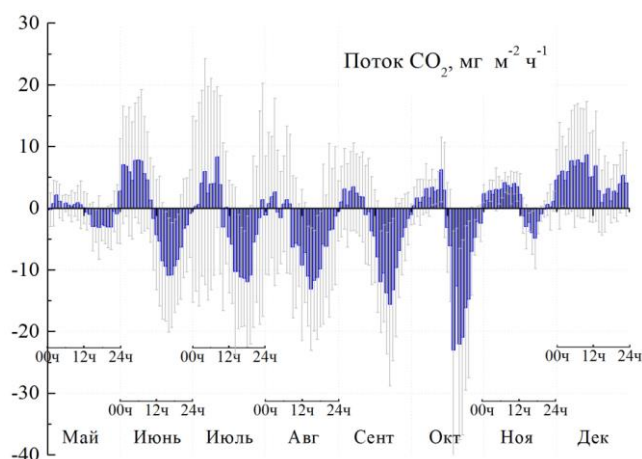


Рис. 3. Среднесуточный ход потоков CO_2 в Южном Байкале на каждый месяц, по данным, полученным с 2004 по 2015 гг.

Водохранилища ГЭС. Принятые на Парижской конференции по климату (COP) в 2015 г. документы, в которых особо отмечен явный недостаток надежных, научно-обоснованных данных об источниках и стоках парниковых газов на региональном уровне, стимулировали работы по оценке роли водохранилищ ГЭС. В 2017 г. в течение теплого периода нами было проведено по 3 цикла измерений содержания углекислого газа и метана в поверхностной воде, в приводной атмосфере и их потоков на водохранилище Иркутской ГЭС и Красноярской ГЭС (см. рис. 4).

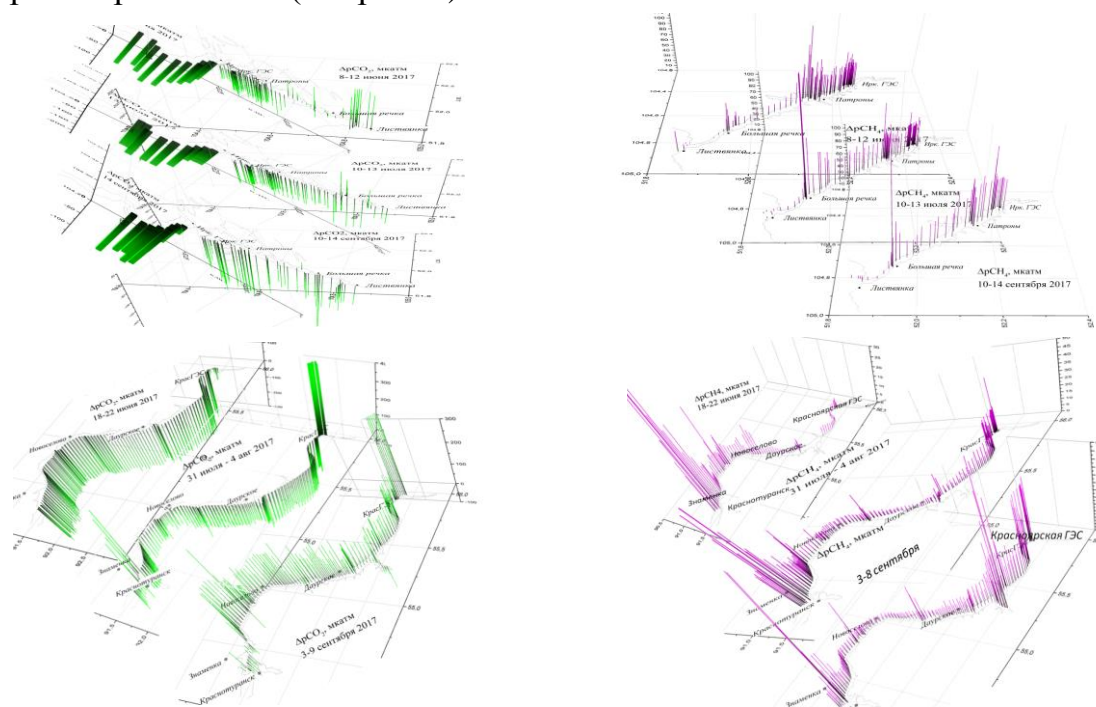


Рис. 4. Направление потоков CO_2 (слева) и CH_4 (справа) между поверхностной водой и атмосферой на водохранилище Иркутской ГЭС (сверху) и Красноярской ГЭС (снизу). Отрицательные значения – поток из атмосферы на водную поверхность

Результаты исследования CO_2 показали, что в летне-осенний период интенсивная фотосинтетическая деятельность биоты приводит к существенному снижению концентрации углекислого газа в воде, и Иркутское водохранилище является поглотителем углекислого газа. Рассматривая пространственное распределение ΔPCO_2 по водохранилищу от Байкала до плотины (эти результаты получены впервые), можно высказать предположение, что появление водохранилища в этот период во многом способствует поглощению углекислого газа в воде, поступающего с глубинными водами Байкала в Ангару. В свою очередь, во всех измерениях величина ΔPCN_4 имеет положительное значение, а следовательно, поток метана направлен в атмосферу. Опуская некоторые особенности, подчеркнем, что в целом, на всем пространстве водохранилища различия между данными, полученными в разных измерительных кампаниях незначительны, и данные о потоках метана, полученные с применением камерного метода, подтверждают сделанные выводы.

По Красноярскому водохранилищу внутри рассматриваемого периода наблюдалась сильная динамика изменения пространственного распределения амплитуды и направления потока углекислого газа. В июне по всему пространству водохранилища и после плотины наблюдался сток углекислого газа из атмосферы на водную поверхность. В августе по всей трассе на водохранилище так же, как и в июне, парциальное давление углекислого газа в воде было гораздо меньше атмосферного. Но на нижнем бьефе по сравнению с июнем ситуация кардинально изменилась – здесь на всем маршруте в поверхностной воде устойчиво регистрировалось почти постоянное, высокое значение ΔPCO_2 . Значит, поток углекислого газа уже был направлен в атмосферу. И как показал сентябрьский цикл измерений, процесс деструкции водной биоты (соответственно наблюдаемое высокое содержание углекислого газа в воде) уже распространился на все водохранилище Красноярской ГЭС.

Результаты исследования направления потоков метана, так же, как и в случае Иркутского водохранилища, позволяют заключить, что в летне-осенний период Красноярское водохранилище является источником поступления метана в атмосферу.

Рассматривая в целом баланс углерода на водохранилищах ГЭС, по данным наших измерений в теплый период года, можно заключить, что в пересчете на углерод сток C из атмосферы, обусловленный потоками углекислого газа, превышает его выход с поверхности воды за счет эвазии метана. Отметим, что поток углекислого газа F_{CO_2} варьирует в диапазоне – **3-50 мг CO_2 м⁻² ч⁻¹** (сток из атмосферы), в то время как поток метана F_{CH_4} – в

диапазоне **30-300 мкгСН₄ м⁻² ч⁻¹**(выход в атмосферу), т.е. различаются более чем на порядок.

Работа по исследованию восточного побережья оз. Байкал в 2018 г. выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 18-45-030007, цикл исследований 2017 г. на водохранилищах осуществлен в рамках проведения Года экологии в России и при активной поддержке руководителей Иркутской и Красноярской ГЭС.

Список литературы

1. IPCC (2014) Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva,
2. Le Quéré, C., Moriarty, R., Andrew, R. M., and others. Global carbon budget 2014, Earth Syst. Sci. Data, 7, P.47–85, doi:10.5194/essd-7-47-2015, 2015.
3. Quegan, S., Beer, C., Shvidenko, A., McCallum, I., Handoh, I. C., Peylin, P., Rödenbeck, C., Lucht, W., Nilsson, S., and Schimmler, C.: Estimating the carbon balance of central Siberia using landscape-ecosystem approach, atmospheric inversion and dynamic global vegetation models, // Glob. Change Biol., 2011. 17, P.351-365, doi:10.1111/j.1365-2486.2010.02275.x,
4. Sobek S., Algesten G., Bergstrom A.K., Jansson M. & Tranvik L.J. The catchment and climate regulation of pCO₂ in boreal lakes. //Global Change Biology 9: 2003. P.630–641.
5. Barros N., Cole J.J., Tranvik L.J., Prairie Y.T., Bastviken D., del Giorgio P.A., Roland F., Huszar V.L.M.. Carbon emission from hydroelectric reservoirs linked to reservoir age and latitude// Nature Geoscience. 2011. vol.4. P. 593-596.
6. Domyshva, V.M., Panchenko, M.V., Pestunov, D.A., Sakirko, M. V. (2013). Air-water carbon dioxide exchange in the littoral zone of Lake Baikal (ice-free period). International Journal of Geosciences, 04(10), 1339-1345. <https://doi.org/10.4236/ijg.2013.410130>
7. Pestunov D.A, Shamrin A.M., Domyshva V.M., Sakirko M.V., Panchenko M.V. Diurnal Behavior of the Flux and Partial Pressure of Carbon Dioxide in the Surface Water in Solar Time Coordinates (the Period of Open Water in the South Baikal Littoral in 2004–2015) // Atmospheric and Ocean Optics. 2017. Vol. 30. № 4. P. 372–381. DOI: 10.1134/S102485601704008X.
8. Пестунов Д.А., Домышева В.М., Иванов В.Г., Шамрин А.М., Панченко М.В. Пространственное распределение направления потоков CO₂ и CH₄ по акватории озера Байкал (кругобайкальская экспедиция, июнь 2013 г.). // Оптика атмосферы и океана. 2015. Т. 28. № 09. С. 792-799.
9. Мобильный комплекс для исследования пространственного распределения потоков газов в системе "атмосфера - вода": патент №149753. Пестунов Д.А., Панченко М.В., Шамрин А.М; заявлен 24.06.14.

© Панченко М.В., Домышева В.М.,
Пестунов Д.А., Иванов В.Г., 2019

ВЛИЯНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЗОЛОТОДОБЫВАЮЩИХ ОРГАНИЗАЦИЙ НА СОСТОЯНИЕ ЗЕЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Константинов Н.С.¹, Коробков А.А.¹, Астахов С.В.²

¹Федеральное государственное учреждение «Управление эксплуатации Зейского водохранилища» г. Зея, Амурской области

²Федеральное государственное учреждение «Управление эксплуатации Бурейского водохранилища» пос. Талакан, Амурской области

E-mail: kns311058@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена актуальной на сегодняшний день проблеме – экологическому сохранению природы России, а именно ее водных ресурсов. Информация статьи о вопиющих фактах совершения экологических преступлений при добыче россыпного золота предназначена для научного сообщества и природоохранных органов. На примере Зейского водохранилища освещаются современные проблемы взаимодействия золотодобывающих организаций, органов Росприроднадзора и, в конечном итоге – населения, проживающего в непосредственной близости от водного объекта.

Ключевые слова: золотодобывающие артели, россыпное золото, взвешенные вещества.

THE IMPACT OF ALLUVIAL GOLD MINING ACTIVITIES ON THE ZEYA RESERVOIR STATE

Konstantinov N.S.¹, Korobkov A.A.¹, Astahov S.V.²

¹The state office of the Zeya Reservoir Management and Maintenance (Zeya town, Amur region)

²The state office of the Bureya Reservoir Management and Maintenance (Talakan town, Amur region)

E-mail: kns311058@yandex.ru

Abstract. The article is devoted to the present day acute problem – ecological conservation of Russia's nature, and namely its water resources. The information of the article on crying facts of environmental crimes when mining alluvial gold is designed for the scientific community and nature conservation authorities. Modern problems of interaction between mining companies, Russian nature conservation authorities (Rosprirodnadzor) and finally population living in immediate proximity to water bodies are analysed on the example of the Zeya reservoir case study.

Keywords: gold mining companies, alluvial gold, suspended matter.

Зейское водохранилище имеет комплексное назначение, его водные ресурсы используются для целей энергетики, водного транспорта, водоснабжения г. Зея, населенных пунктов и промпредприятий (золотодобыча), рыбного хозяйства, а также в рекреационных целях. С 2019 г. водохранилище в рамках национального проекта «Экология» включено в перечень «уникальных водных объектов России».

Тип Зейского водохранилища по частным признакам:

- а) по ландшафтным условиям – лесное;
- б) по генезису котловины – русловое долинное;
- в) по вертикальной зональности с учетом климатических зон – предгорное субарктическое;
- г) по геометрическим размерам – очень крупное (объем), крупное (площадь);
- д) по глубине – глубокое;
- е) по степени регулирования стока – суточное, недельное, сезонное, многолетнее;
- ж) по величине сработки уровня воды – большая сработка;
- з) по скорости водообмена – небольшое.

Основные параметры водохранилища приведены в табл. 1.

Таблица

Основные параметры Зейского водохранилища

Характеристика	Единицы измерения	Значения
1	2	3
Нормальный подпорный уровень (НПУ)	м БС	315,00
Минимальный допустимый уровень, уровень мертвого объема (УМО)	м БС	299,00
Максимальный допустимый уровень, форсированный подпорный уровень (ФПУ)	м БС	322,10
Отметка открытия затворов водосбросной плотины	м БС	317,50
Площадь зеркала водохранилища при НПУ	км ²	2419
Площадь зеркала водохранилища при УМО	км ²	1620
Полная статическая емкость водохранилища при НПУ (полный объем)	км ³	68,42
Полная статическая емкость водохранилища при УМО (мертвый объем)	км ³	36,30
Полезный объем водохранилища (НПУ – УМО)	км ³	32,12
Объем водохранилища при ФПУ	км ³	87,38
Длина водохранилища	км	225
Протяженность береговой линии	км	1724

Река Зея, крупнейший левобережный приток Амура, берет начало на южном склоне восточной оконечности Станового хребта на высоте 2500 м. Длина реки 1242 км, Зейский гидроузел, образующий Зейское водохранилище, расположен в 660 км от устья р. Зея, в 5 км выше г. Зея. Площадь водосбора Зейского водохранилища составляет 83 800 км². В пределах площади

бассейна, ограниченной створом гидроузла, формируется около 45 % стока всей р. Зeya.

Первым русским человеком, пришедшим в бассейн р. Зeya и открывшим его для дальнейшего заселения и освоения, был землепроходец Василий Данилович Поярков. Это произошло в 17 веке, в 1643 г. Именно тогда первоходцами были обнаружены богатейшие запасы золота, и образовалась Зейская пристань, а 3 ноября 1913 г. по ходатайству городского самоуправления, Зейская пристань была переименована в г. Зeya. Город уже тогда являлся центром золотопромышленного округа, и на сегодняшний день Зейский район является крупнейшим источником золотодобычи на Дальнем Востоке как рудного, так и россыпного. Карта-схема Зейского водохранилища с зоной водосбора представлена на рис. 1.

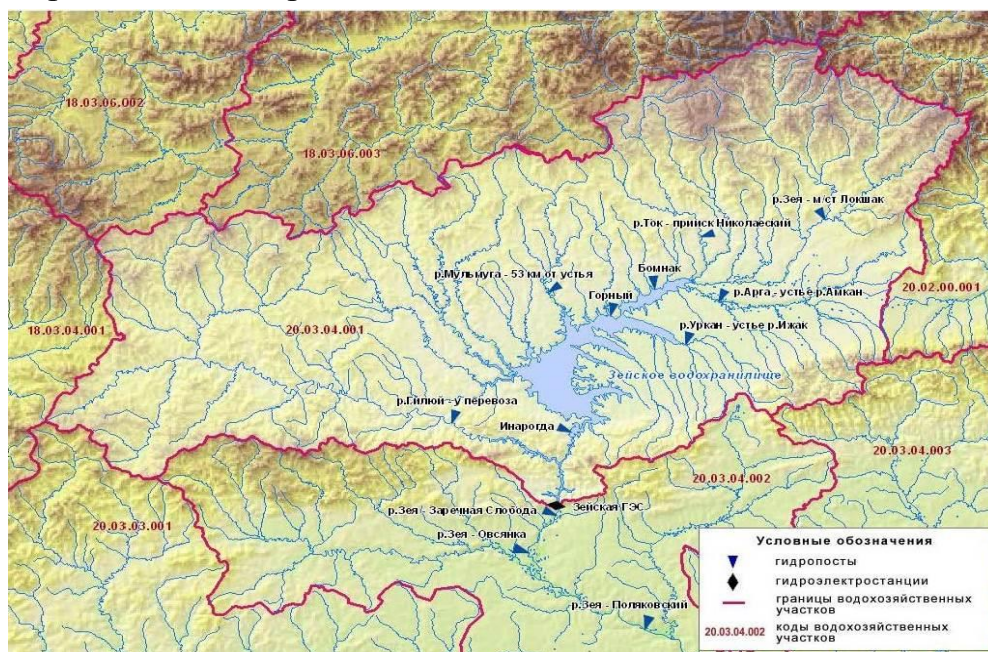


Рис. 1. Карта-схема Зейского водохранилища

За последние годы на реках, впадающих в водохранилище резко, возросло количество золотодобывающих организаций, многие из которых вообще ведут добычу без разрешительных документов самым варварским способом, по принципу: «хапнуть сейчас, а после нас – хоть потоп». В настоящее время Зейское водохранилище и его берега становятся привлекательными местами отдыха как для местного населения, так и для жителей всего Дальневосточного региона, в связи с чем возникает проблема экологического характера – интенсивное загрязнение берегов в устьях рек и ключей, что наносит колоссальный ущерб не только рыбным запасам и животному миру, в целом, но и несет в себе огромный отрицательный социальный эффект. Безднажность деятельности золотодобывающих артелей вызывает соответствующее отношение к окружающей природе со стороны местного населения.

В рамках уставной деятельности специалистами Управления эксплуатации Зейского водохранилища проводятся работы по мониторингу состояния акватории и берегов. Аккредитованная гидрохимическая лаборатория выполняет анализы качества поверхностных вод в рамках возложенного государственного задания.

Проводятся обследования объектов водопользователей, хозяйственная деятельность которых оказывает, либо способна оказать, негативное влияние на водные ресурсы водохранилища. В июне 2018 г., в заливе реки Кохань совместно с представителями Росприроднадзора проводился отбор проб на содержание взвешенных веществ в поверхностной воде в зоне деятельности золотодобывающей артели. В связи с тем, что артель добывала россыпное золото «на прямотоке», превышение ПДК составило в 126,6 раз (0,25 мг/дм³ Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 г. № 552), что исключает возможность выживания в такой воде любых видов рыб, и происходит заиливание дна и берегов на большом расстоянии от места добычи золота.

Фотографии некоторых последствий деятельности артелей представлены ниже:



Фото 1. Зейское водохранилище в устье р. Кохань

На фотографии показано качество воды в водохранилище спустя месяц после прекращения деятельности золотодобывающей артели. Место добычи – выше устья впадения реки на расстоянии 50 км. Взвешенные твердые вещества, присутствующие в отработанных водах, состоят из частиц глины, песка, ила, суспендированных органических и неорганических веществ, не удаляющиеся длительное время.

Река Гилюй – крупнейший приток Зейского водохранилища, давший основной рост уровня верхнего бьефа при катастрофическом паводке в 2013 г. Однако, не смотря на мощный паводок по всему руслу реки, сопровождавшийся природной очисткой последствий деятельности многочисленных

артелей, как на самой реке, так и на ее притоках, золотодобыча в настоящее время продолжается. Состав воды в самой реке в месте впадения представлен на фото 2.



**Фото 2. Река Гиллой – крупнейший приток Зейского водохранилища.
Русло реки в 10 км выше впадения в водохранилище**

Общественность и СМИ регулярно бьют тревогу по фактам нарушений «золотарями» экологических требований, яркий пример – выдержка из газеты «Зейские вести сегодня» под названием «Безнаказанность»:

Драгметалл добывают, не считаясь с последствиями, а природоохран- ный контроль государства за этой деятельностью крайне неэффективен. Так как государственной мощи на контроль за золотодобычей явно не хва- тает, к делу подключается общественность. Экологические организации и неравнодушное население вступаются за реки, собирая сведения о нарушении- ях, требуют принятия мер. Контролирующие органы нехотя, но принимают наиболее вопиющие свидетельства об экологических преступлениях и прово- дят проверки "по сигналам".

Нарушителей наказывают мизерными штрафами и приостановлением деятельности. Однако недобросовестных недропользователей это не пугает, как и тех, кто вообще работает без лицензии. Кроме того, у крупных компаний есть деньги и на хороших юристов, и на установление "дружеских" отношений с лицами, принимающими решения. На каждое нарушение с упла- ченным небольшим штрафом приходится не менее сотни экологических пре- ступлений, остающихся безнаказанными. Одним словом, золотой беспредел поощряется государством.



Рис. 3. Результаты бесконтрольной деятельности золотодобытчиков



Фото 4. Результаты бесконтрольной деятельности золотодобывающих артелей

Большинство артелей Приамурья работает в Зейском районе, где ситуация грозит обернуться экологическим бедствием. Ведь в погоне за драгметаллом многие предприятия добывают россыпи с нарушением всех норм природоохранного законодательства. Ежегодно недобросовестных золотодобытчиков выводят на чистую воду, но, к сожалению, нарушений меньше не становится, напротив, их количество неумолимо растет. Всего в 2018 г. Управлением Росприроднадзора по Амурской области проведено 87 проверок в отношении золотодобывающих предприятий. Выдано 83 предписания об устранении нарушений в области охраны окружающей среды. Вынесено 111 постановлений о назначении административных наказаний на сумму 7,89 млн руб. и

66 постановлений с административным наказанием в виде предупреждения. Предъявлено к возмещению 11 ущербов, нанесенных окружающей среде, на сумму 8,68 млн руб. По информации министерства природных ресурсов Амурской области, в 2018 г. в Приамурье добыто 21,6 т. золота, из них 8,5 т. – россыпного, из которых в Зейском районе в 2018 г. добыто 7 614 кг золота.

Очевидно, что добыча рудного золота более эффективна, чем россыпного, особенно на фоне наносимого фактического невосстановимого ущерба природе. Учитывая незыблемость российского менталитета, вывод напрашивается только один – тотальный контроль над технологией добычи или полный ее запрет.

© Константинов Н.С., Коробков А.А., Астахов С.В.

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ЖЕЛЕЗА В ВОДЕ БУРЕЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Шестеркин В.П.

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, г. Хабаровск
E-mail: *shesterkin@ivep.as.khb.ru*

Аннотация. Рассмотрена многолетняя динамика содержания железа в воде Бурейского водохранилища. Установлены большие различия в содержании железа между верхними и нижними горизонтами зимой и весной в период наполнения, обусловленные влиянием затопленных почв и растительности. Отмечена стабилизация содержания железа в пределах 0,1-0,2 мг/дм³ после достижения нормального подпорного уровня.

Ключевые слова: Бурейское водохранилище, водный обмен, содержание, железо.

LONG-TERM DYNAMICS OF IRON CONTENT IN WATER OF BUREISKOYE RESERVOIR

Shesterkin V.P.

Institute of Water and Ecology problems Feb RAS, Khabarovsk

Abstract. The long dynamics of the iron content in the water of the Bureiskoye reservoir is considered. There are large differences in the iron content between the upper and lower horizons in winter and spring during the storage time, due to the influence of flooded soils and vegetation. Stabilization of the iron content in the range of 0.1-0.2 mg/dm³ after reaching the normal water level is noted.

Keyword: Bureya reservoir, water exchange, content, iron.

Формирование химического состава воды в водохранилищах – сложный и многогранный процесс, зависящий от комплекса разнообразных факторов,

связанных как с функционированием водных экосистем, так и природными условиями водосбора. На него оказывают влияние многие абиотические, биологические и антропогенные факторы, которые в природных условиях действуют в сложной зависимости и взаимосвязи, определяют трансформацию основных химических веществ [1].

Бурейское водохранилище – второй после Зейского крупный искусственный водоем в бассейне Амура. Площадь водосбора составляет 64,8 тыс. км², полный объем – 20,9 км³. Основными притоками являются р. Бурей (длина 171 км, площадь водосбора 64900 км²) и р. Тырма (длина 334 км, площадь водосбора 15100 км²). Приток, полный объем и расходы воды Бурейского водохранилища в 2005–2018 гг. даны в табл. 1.

Таблица 1

Приток и сток воды в Бурейском водохранилище в 2005–2018 гг., км³

Показатель	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Приток	24,9	21,9	22,8	20,0	34,1	29,5	20,4	32,8	38,2	21,9	24,6	37,1	28,3	27,3
Объем	9,2	13,5	14,3	17,5	20,9	20,3	19,4	20,9	20,9	19,3	20,9	20,5	20,6	20,5
Сток (XII-III)	4,8	4,6	4,8	4,6	6,1	8,2	7,5	7,3	5,8	7,9	6,3	8,4	7,8	8,5
Сток (IV-XI)	19,5	14,8	17,7	11,8	28,1	22,9	13,3	22,9	30,3	15,8	16,0	30,2	16,6	18,8

Железо – важный биогенный элемент, который лимитирует качество природных вод и определяет биологическую продуктивность водных объектов. Содержание железа в воде Бурейского водохранилища активно изучалось ИВЭП ДВО РАН с первых дней его заполнения [2]. После 2008 г. наблюдения за химическим составом вод проводились эпизодически. После оползня в 2018 г. появились новые данные о химическом составе его вод, которые дали возможность рассмотреть многолетнюю динамику содержания железа.

Исследования проводили в 2003–2008 гг. зимой, летом и осенью; в 2011 г. – в июле на 5–7, полностью охватывающих акваторию водоема станциях. Пробы воды брали с поверхности, среднего и придонного горизонтов. На Приплотинном и Чеугдинском участках образцы воды отбирали на трех, равномерно расположенных по ширине водоема вертикалях, на остальных участках – на одной вертикали, на середине. В январе 2019 г. отбор проб осуществляли с поверхности в районе оползня. Аналитические работы осуществляли в Центре коллективного пользования при ИВЭП ДВО РАН. Пробы воды фильтровали на мембранных фильтрах (размер пор 0,45 мкм), содержание железа определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. В работе использовали материалы Русгидро за 2003–2018 гг. и Росгидромета – за 1949–1988 гг.

Вода р. Бурья характеризуется гидрокарбонатно-кальциевым составом, низкой минерализацией. До зарегулирования она находилась в пределах 15,4–112,2 мг/дм³. Наиболее низкие значения отмечались в период крупных паводков в 1960, 1961 и 1972 гг. В летнюю межень минерализация возрастала на 10–15 мг/дм³. В зимнюю межень содержание солей, в среднем, составляло 61,9 мг/дм³ [3].

В широких пределах в 1949–1988 гг. изменялось содержание железа. В зимнюю межень оно находилась в пределах 0,01–0,29 мг/дм³, в среднем составляя 0,17 мг/дм³ [3]. В половодье и паводки концентрация железа возрастала до 1,63 мг/дм³ за счет повышения содержания взвешенных веществ (в 1978 г. – до 1408 мг/дм³).

Заполнение водохранилища началось в апреле 2003 г. В первые годы эксплуатации качество воды формировалось в условиях высокого водного обмена. Приток воды в отдельные годы превышал среднемноголетнее значение (27,3 км³), максимум отмечался в 2013 и 2016 гг. (табл. 1). Такие особенности наполнения водохранилища, связанные с выработкой электроэнергии на стадии строительства, должны были снизить влияние затопленных почв и растительности на химический состав воды.

В период заполнения и первые годы эксплуатации водохранилища основное влияние на формирование химического состава воды оказали сток питающих его рек, затопленные лесные и заболоченные массивы. В дальнейшем качество воды в отсутствие хозяйственного освоения береговой зоны водохранилища и слабого – в бассейнах его притоков – определялось стоком питающих рек и внутриводоемными процессами.

Снизился интервал колебания минерализации воды, изменилась ее сезонная динамика. В маловодном 2008 г. наименьшее значение отмечалось зимой (31,7 мг/дм³), наибольшее – летом (36,1 мг/дм³). В многоводные 2012 и 2013 гг. максимум минерализации отмечался весной и в начале лета, минимум – при сбросах воды. Такая временная динамика была обусловлена неоднородным составом водных масс в водоеме, преобладанием весной и в начале лета в его нижней части зимних вод прошлого водохозяйственного года [4]. По сравнению с 1949–1988 гг. минерализация воды зимой снизилась в 2 раза и не отличалась от летне-осенних значений.

Содержание железа в воде водохранилища в начале его существования было повышенным (табл. 2) из-за высокого водного обмена и поступления из затопленных почв и растительности. Наибольшее значение наблюдалось в начале лета в придонных слоях воды Приплотинного участка (рис. 1), когда в питании водохранилища преобладали талые снеговые воды [5]. По сравнению

с поверхностными горизонтами, содержание железа в придонных слоях воды было выше на $0,26 \text{ мг/дм}^3$. По мере наполнения водоема содержание железа постепенно снижалось, сглаживались и различия в концентрациях между поверхностными и придонными горизонтами.

Таблица 2

Концентрация железа в воде Бурейского водохранилища, мг/дм^3

Концентрация	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2011, июль	2019, январь
Среднегодовая	0,34	0,26	0,29	0,39	0,34	0,33	0,18	0,15
Максимальная	0,59	0,79	1,24	2,64	1,16	4,20	0,29	0,17
Минимальная	0,18	0,11	0,13	0,11	0,19	0,13	0,07	0,13

На второй год эксплуатации водохранилища содержание железа стало варьировать в более широких пределах (табл. 2). Наибольшие различия по глубине ($0,18\text{--}0,76 \text{ мг/дм}^3$) отмечались зимой на Приплотинном участке. На остальной части акватории амплитуда колебаний не превышала $0,12 \text{ мг/дм}^3$. В летне-осенний период содержание железа в воде изменялось, в основном, в более узком диапазоне ($0,22\text{--}0,34 \text{ мг/дм}^3$).

В последующие годы на содержание железа начинают все больше влиять затопленные почвы и растительность. В марте 2005 г. максимальные концентрации железа наблюдались в придонных слоях воды как в районе плотины (рис. 1), так и Тырминском ($1,14 \text{ мг/дм}^3$) и Мельгинском ($1,24 \text{ мг/дм}^3$) участках.

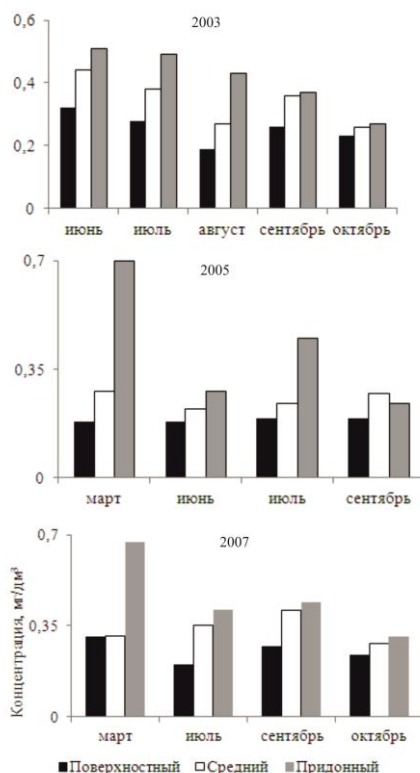


Рис. 1. Многолетняя и сезонная динамики распределения концентрации железа в воде Приплотинного участка Бурейского водохранилища

Существенные изменения в содержании железа отмечались после паводков. В июне 2005 г. большой приток ($7,6 \text{ км}^3$) обусловил не только полную смену воды в водохранилище, но и вызвал в июле повышение концентрации железа в придонном слое воды (рис. 1). На Чеугдинском и Тырминском участках она достигала $0,59 \text{ мг/дм}^3$. В поверхностных горизонтах воды содержание железа было менее $0,2 \text{ мг/дм}^3$ [6]. Различие в содержании между поверхностными и придонными слоями на Нижнемельгинском участке составляло $0,08 \text{ мг/дм}^3$, Сектаглинском – $0,06 \text{ мг/дм}^3$.

Осенью постепенное снижение притока речных вод в водохранилище обусловило снижение и выравнивание концентрации железа по глубине.

Зимой 2006 и 2007 гг. на содержание железа все больше начинают влиять внутриводоемные процессы, которые вызывают появление его высоких концентраций в придонных слоях воды с низким содержанием растворенного кислорода (рис. 1). Подобная стратификация отмечалась в период заполнения Зейского водохранилища, где в слоях воды с дефицитом кислорода содержание железа достигало $3,0 \text{ мг/дм}^3$ [7]. Лишь на Тырминском участке большие различия в содержании железа между верхними и нижними слоями отсутствовали из-за малых глубин ($< 25 \text{ м}$).

Значительно меньше содержалось железа осенью 2006 г. после большого притока (до 10 км^3) речных вод в конце лета. В придонных слоях воды Приплотинного участка его концентрация достигала $0,42 \text{ мг/дм}^3$, Нижнемельгинского – $0,22 \text{ мг/дм}^3$. В поверхностных горизонтах содержание железа изменялось в пределах $0,11\text{--}0,26 \text{ мг/дм}^3$.

Сезонная динамика содержания железа, отмечавшаяся в начале заполнения, в условиях снижения притока воды в водохранилище в 2006–2008 гг. (табл. 1) и затопления больших массивов заболоченных земель в его широкой части сохранялась и в 2008 г., однако в пространственном отношении претерпела существенное изменение.

В июне 2008 г. максимальное содержание железа отмечалось у плотины на глубине 111 м, где концентрация кислорода была менее $0,3 \text{ мг/дм}^3$. В поверхностных слоях воды его содержание изменялось в пределах $0,19\text{--}0,28 \text{ мг/дм}^3$, в средних – $0,28\text{--}0,43 \text{ мг/дм}^3$, по длине и глубине водоема различалось незначительно (рис. 2) из-за большого притока талых снеговых вод в апреле-мае ($5,3 \text{ км}^3$).

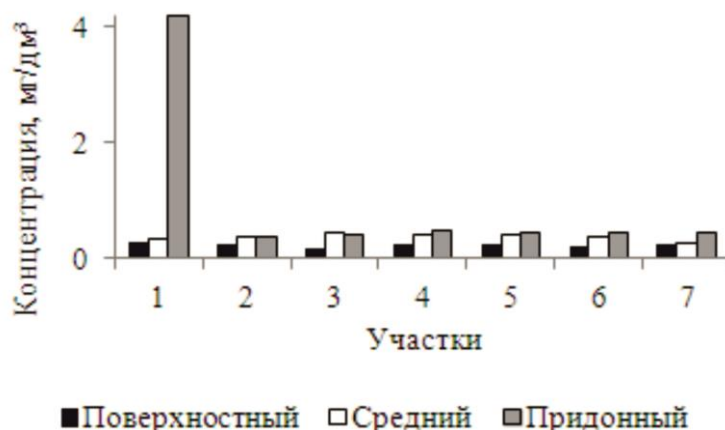


Рис. 2. Распределение содержания железа по акватории и глубине Бурейского водохранилища в июне 2008 г. Участки: 1 – Приплотинный; 2 – Чеугдинский; 3 – Сектаглинский; 4 – Тырминский; 5 – Нижнемельгинский; 6 – Верхнемельгинский; 7 – Чекудинский

Невысокий приток речных вод ($8,0 \text{ км}^3$) в течение лета 2008 г. не способствовал поступлению больших количеств железа, поэтому его содержание в поверхностных горизонтах воды находилось в пределах $0,13\text{--}0,25 \text{ мг/дм}^3$, в средних – $0,19\text{--}0,37 \text{ мг/дм}^3$ [8]. В придонных слоях большинства участков его содержание было ниже $0,41 \text{ мг/дм}^3$, лишь на Верхнемельгинском участке достигало $2,26 \text{ мг/дм}^3$. Среднее содержание железа в августе-октябре составило $0,36 \text{ мг/дм}^3$.

В последующие годы выход водохранилища на НПУ и большой приток речных вод в 2009–2010 гг. (табл. 1) обусловил резкое снижение концентрации железа (табл. 2). В верхних слоях воды его содержание находилось в пределах $0,06\text{--}0,14 \text{ мг/дм}^3$, в средних – $0,13\text{--}0,29 \text{ мг/дм}^3$, в нижних – $0,15\text{--}0,36 \text{ мг/дм}^3$. В пространственном отношении наименьшее значение отмечалось в поверхностных слоях воды Сектаглинского и Тырминского участков, наибольшее – в придонных горизонтах Приплотинного участка. Подобные низкие концентрации ($0,13\text{--}0,17 \text{ мг/дм}^3$) наблюдались на Верхнемельгинском участке и в январе 2019 г. в районе оползня, что свидетельствовало о стабилизации концентрации железа в воде водохранилища на уровне $0,1\text{--}0,2 \text{ мг/дм}^3$.

Таким образом, в начале заполнения водохранилища (2003–2008 гг.) максимальное содержание железа, обусловленное влиянием затопленных почв и растительности, отмечалось в придонных горизонтах воды зимой и в начале лета. В поверхностных слоях воды концентрация железа из-за высокого водного обмена не превышала $0,19 \text{ мг/дм}^3$.

С достижением НПУ большой приток речных вод и снижение поступления железа из затопленных почв и растений, вследствие улучшения кислородного режима, стабилизировало содержание железа на уровне $0,1\text{--}0,2 \text{ мг/дм}^3$.

Список литературы

1. Эдельштейн К.К., Белова С.Л., Заславская М.Б., Новикова Е.В. Гидролого-гидрохимические аспекты формирования качества воды в водохранилищах питьевого и рекреационного назначения // Водные ресурсы. 1993. Т. 20. № 5. С. 565-574.
2. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Гидрохимия Бурейского водохранилища в период заполнения (2005–2006 гг.) // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: тр. Междунар. науч.-практ. конф. Пермь: Перм. ун-т. 2007. С. 100-104.
3. Мордовин А.М., Шестеркин В.П., Антонов А.Л. Река Буря: гидрология, гидрохимия и ихтиофауна. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН. 2006. 149 с.
4. Шестеркин В.П., Сиротский С.Е., Таловская В.С. Минерализация и содержание органического вещества в воде Бурейского водохранилища в первые годы заполнения // Водное хозяйство России. 2011. № 4. С. 33-40.
5. Шестеркин В.П., Сиротский С.Е., Шестеркина Н.М. Воздействие гидроэнергетического строительства на содержание и сток растворенных веществ в воде реки Буря // Водное хозяйство России. 2014. № 4. С. 72-83.
6. Чудаева В.А., Шестеркин В.П., Чудаев О.В. Микроэлементы в поверхностных водах бассейна реки Амур // Водные ресурсы. 2011. Т. 38. № 5. С. 506-617.
7. Мордовин А.М., Петров Ю.С., Шестеркин В.П. Гидроклиматология и гидрохимия Зейского водохранилища. Владивосток-Хабаровск: Дальнаука. 1997. – 138 с.
8. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Влияние зарегулирования р. Буря на содержание и сток железа // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: тр. VI Междунар. науч.-практ. конф. Пермь: Пермский ун-т. 2017. Т. III. С. 157-160.

© Шестеркин В.П., 2019

ИЗМЕНЕНИЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ В АКВАТОРИИ КРУПНОГО ОПОЛЗНЯ НА БУРЕЙСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

Кондратьева Л.М., Махинов А.Н., Ким В.И., Филиппова Г.М.

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, г. Хабаровск

E-mail: kondratevalm@gmail.com

Аннотация. Представлены результаты исследования качества воды в Бурейском водохранилище после схода крупного оползня в декабре 2018 г. В связи с проведением взрывных работ с использованием тротила (тринитротолуола) проведено определение в воде летучих органических веществ методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Среди доминирующих компонентов в воде обнаружен ряд токсичных веществ, включая метанол и метилированные производные бензола, концентрация которых увеличивалась после дренажа воды сквозь тело оползня. Многие из летучих органических веществ имели природное происхождение и могли содержаться в поровом пространстве горных пород. После взрывных работ отмечено увеличение содержания гексана и изопропилбензола в воде искусственного канала.

Ключевые слова: Бурейское водохранилище, оползень, качество воды.

WATER QUALITY CHANGE IN THE WATER AREA OF A LARGE LANDSLIDE AT THE BUREYA RESERVOIR

Kondratyeva L.M., Makhinov A.N., Kim V.I., Filippova G.M.

Institute of water and ecological problems, Russian academy of sciences, Khabarovsk

E-mail: kondratevalm@gmail.com

Abstract. The results of the water quality study in the Bureya reservoir after the descent of a large landslide in December 2018 are presented. In connection with blasting operations using TNT (trinitrotoluene), volatile organic compounds in water have been determined by high performance liquid chromatography. Among the dominant components in the water, a number of toxic substances were found, including methanol and methylated benzene derivatives, the concentration of which increased after water drainage through the landslide body. Many of the volatile organic substances were of natural origin and could be contained in the pore space of rocks. After blasting, an increase in the content of hexane and isopropyl benzene the artificial channel water was noted.

Keywords: Bureya reservoir, landslide, water quality.

Согласно последним данным, наиболее распространенными факторами риска, ведущими к человеческим жертвам, являются снежные лавины (37 %), молнии (16 %), наводнения (12 %), ураганы (10 %), камнепады (8 %), оползни (7 %) и другие процессы (9 %). Анализ данных о природных опасностях за длительный период (1946-2015 гг.) свидетельствует, что кроме основного глобального фактора - изменения климата - существенная доля разнообразных стихийных бедствий связана с экономическим развитием, антропогенным изменением ландшафтов, влиянием на русловые процессы рек, интенсивным преобразованием подземного пространства [1].

Оползни широко распространены в регионах с резкопересеченным рельефом, в горах, на крутых берегах рек, водохранилищ и морей. Движение оползня всегда связано с наличием обильных грунтовых вод и крутизной склона. Важным геологическим условием для образования оползня, является наличие в основании оползневого склона водоупорного пласта, а выше - расположение водоносных пород.

Особенно часто наблюдают оползни в Швейцарии. За период наблюдений с 1972 по 2018 г. было установлено, что максимальное количество явлений, связанных с оползнями, происходят с января по апрель. Так, в 2011 г. в Швейцарии произошел мощный катастрофический оползень, вызванный естественными эрозионными процессами и образованием трещин, через которые вода просачивалась в горные породы. Было установлено, что за три года часть горы объемом в несколько млн м³ переместилась на 30 см. По мнению европейских ученых, основной причиной оползней является влияние многолетней мерзлоты на скальные породы, которое описывают, как

«глубинное движение» скальных пород, с одновременным «сдвигом в сторону и вниз» [2].

В связи с изменением климата в регионах с широким диапазоном изменения температур, все более актуальными становятся исследования поведения мерзлых грунтов, которые касаются различных объектов, включая строительство скоростных магистралей и эксплуатацию водохранилищ [3]. Эффект разрушения пород зависит от химической эрозии и циклов замерзания-оттаивания, которые взаимно стимулируют друг друга [4]. Изучение механизмов разрушения горных пород в результате замерзания-оттаивания имеет большое теоретическое и практическое значение для анализа последствий и предотвращения разрушений инфраструктурных сооружений в холодных регионах [5, 6].

Важное неординарное событие произошло в декабре 2018 г. на Дальнем Востоке. В Верхнебуреинском районе с сопки на берегу водохранилища сошел оползень, который перекрыл бывшее русло р. Бурей, где в 2003 г. запущена в эксплуатацию Бурейская ГЭС. Уникальность бурейского оползня состоит в том, что подобные явления на Дальнем Востоке происходят обычно в летнее время, а не зимой.

При оценке любых природных аномалий (наводнений, оползней, обвалов, оледенений, извержений вулканов и др.) и техногенных катастроф поднимаются вопросы безопасности населения. В случае с бурейским оползнем, в первую очередь, встал вопрос о социальном риске, связанном с затоплением населенных пунктов и элементов инфраструктуры, например, железнодорожных путей и ЛЭП, а при экстремальных условиях с угрозой функционированию Бурейской ГЭС.

Однако, наряду с социальным риском существуют пролонгированные экологические риски, распознавание которых и тем более предотвращение - невероятно сложная задача. Кроме самого оползня, обусловившего поступление в водную среду размельченных горных пород, дополнительным источником риска выступали взрывчатые вещества - тринитротолуол и гексоген, продукты их детонации, которые приводят к загрязнению почвы, пород и водной среды.

На экологическую судьбу и потенциальную опасность взрывчатых веществ в окружающей среде влияет ряд физических, химических и биологических процессов [7]. Известно, что некоторые взрывчатые вещества, включая тротил (2,4,6-тринитротолуол) и гексоген (гексагидро-1,3,5-тринитро-1,3,5-триазин), подвергаются биоразложению в аэробных и анаэробных условиях [8]. Этот процесс зависит от комплекса геохимических условий, включая

степень увлажнения почвы, присутствие дополнительных органических веществ (ОВ) и условия аэрации. Установлено, что даже незначительные различия в свойствах почвы влияли на разложение тротила [9].

С этими рисками связано качество воды - основного фактора изменения структуры и разнообразия сообществ гидробионтов водохранилища, динамики сукцессионных процессов и основ стабильного функционирования водных экосистем.

В данной работе рассматриваются экологические проблемы, связанные с изменением качества воды, которые обусловлены не только самим сходом оползня, но и принятым решением о проведении взрывных работ для обеспечения проточности воды. Представлены первые результаты по оценке загрязнения водной среды летучими органическими веществами различного генезиса в акватории оползня в период ледостава.

Объект и методы исследования

Долина р. Буря в районе оползня имеет широтное направление, глубоко врезана, – составляя ширину 1,0-1,5 км при относительных превышениях близ расположенных вершин над днищем 400-500 м. Ширина затопленного русла составляет 500-550 м при глубине 60-80 м. Поперечный профиль долины асимметричный – левый берег высотой около 400 м, крутой, с уклоном 30-35°. Русло реки до затопления прижималось к левому берегу и подрезало основание склона, постоянно увеличивая крутизну и снижая его устойчивость. Правый склон долины представляет собой полого наклонную террасовидную поверхность эрозионного происхождения шириной более 1 км и высотой в своей тыловой части до 50 м над современным уровнем воды. Устьевые участки притоков также затоплены и образуют узкие и глубокие заливы протяженностью 1,5-3,0 км. Колебания уровней воды в водохранилище между максимальными отметками в начале осени и минимальными весной составляют 20 м.

Значительную роль в подготовке условий для смещения оползня сыграло заполнение водохранилища, в результате которого подземные воды проникли под основание склона, увеличив обводненность трещиноватых пород в его нижней части и снизив устойчивость горных пород. Согласно заключению экспертов геоморфологов и гидрогеологов, объем сошедшего оползня составляет 24,5 млн. м³. Объем надводной части оползня превышает 4,5 млн. м³, основная часть находится под водой. Глубина водохранилища в месте схода оползня составляет более 70 м. Параметры оползня: длина от края до края – 800 м, высота - от 7,5 до 46 м.

В связи с труднодоступностью района схода оползня, пробы воды в его акватории отбирали во время краткосрочных вылетов вертолетов МЧС России. Пробы воды отобраны до начала взрывных работ (выше и ниже тела оползня) и после проведения взрывов. По данным Минобороны России, для создания водного канала было использовано около 260 т тротила (тринитротолуола) и подорвано около 520 комплектов кумулятивных зарядов, содержащих гексоген.

Определение содержания летучих ОБ в пробах воды проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с использованием колонки HP-FFAP (50 м; 0,320мм; 0,50 мкн) при температуре 45-230 °С.

Результаты и обсуждение

Огромная масса размельченных горных пород и древесины, взрывные работы, временная инфраструктура Минобороны РФ, вертолеты, бульдозеры - все это было сосредоточено на локальном участке водного объекта, где уже произошло аномальное геологическое явление. Все эти факторы повлияли на химический состав воды.

Согласно результатам ВЭЖХ, качественный состав воды в Бурейском водохранилище до начала взрывных работ выше и ниже тела оползня существенно отличался (табл. 1), что может быть связано с медленным дренажом воды сквозь тело оползня и поступлением ОБ из слагающих его почв и горных пород. Максимальное количество компонентов (10) было установлено ниже тела оползня, пробы воды у разных берегов отличались по качественному составу. В основную группу компонентов в воде у левого берега, где произошел оползень, входили бензол и его различные производные. Высокие концентрации были характерны для метанола, *m*-ксилола и изопропилбензола. Доминирующим компонентом во всех пробах воды выступал метанол, чье максимальное содержание было установлено в воде, отобранной у правого берега, ниже тела оползня. Здесь же в воде обнаружены бутанол и гексан.

Таблица 1

Состав органических веществ в воде Бурейского водохранилища в акватории оползня

Компоненты, мкг/ см ³	Выше тела оползня		Ниже тела оползня		пос. Чекунда 5 (ЛБ)
	1 (ЛБ)	2 (ПБ)	3 (ЛБ)	4 (ПБ)	
Гексан	-	-	-	0,0077	-
Ацетальдегид	0,0089	0,0093	-	-	0,0113
Ацетон	0,0096	0,1406	0,0302	0,0402	0,0179
Метилацетат	-	-	-	-	0,0089
Метанол	0,0478	0,0716	0,0924	0,2329	0,1364
Пропанол	-	-	-	-	0,0232

Продолжение таблицы 1

Компоненты, мкг/ см ³	Выше тела оползня		Ниже тела оползня		пос. Чекунда
	1 (ЛБ)	2 (ПБ)	3 (ЛБ)	4 (ПБ)	5 (ЛБ)
Бензол	0,0009	-	0,0012	0,0011	-
Толуол	0,0014	0,0008	0,0013	0,0009	0,0009
Бутилацетат	-	-	0,0083	0,0014	-
Этилбензол	-	-	0,0025	-	-
<i>p</i> -ксилол	-	-	0,0025	-	-
<i>m</i> -ксилол	-	0,0138	0,0952	0,0011	0,0006
<i>o</i> -ксилол	-	-	0,0025	0,0010	0,0009
Бутанол	-	-	-	0,0042	-
Изопропилбензол	-	0,0013	0,0462	0,0005	0,0004

Пробы воды, отобранные из канала, образованного после взрывных работ, отличались по составу летучих ОВ (табл. 2). Особенно выделялась проба № 3, в которой присутствовали летучие соединения, характерные для проб воды, отобранных ниже тела плотины до взрывных работ (бензол, этилбензол, диметилбензол, метилацетат, бутанол и бутилацетат). В ней было также установлено максимальное содержание гексана, ацетальдегида, этилацетата, *m*-ксилола и *o*-ксилола, что, возможно, связано с присутствием взвешенных веществ из тонкодисперсных горных пород, поступивших в воду после взрывов.

Таблица 2

Основной состав органических веществ в воде из канала после проведения взрывных работ

Компоненты, мкг/см ³	Пробы воды, отобранные 14.02.2019 г. после взрывов				Вода из канала, 1.03.2019 и 17.04.2019	
	1	2	3	4	5	6
Гексан	-	-	1,30	0,0588	0,0054	0,0072
Ацетальдегид	0,0201	0,0172	0,0528	0,0211	0,0066	-
Ацетон	0,0202	0,2512	0,0576	0,0332	0,0052	0,0243
Этилацетат	-	-	0,0606	-	0,0021	0,033
Метанол	0,0666	-	0,07071	0,2205	0,0371	-
Толуол	0,0014	0,0018	0,0097	0,4282	0,0018	0,0014
<i>m</i> -ксилол	-	0,0185	0,0483	0,0009	-	0,0015
<i>o</i> -ксилол	0,0030	0,0047	0,0052	-	0,0011	0,0018
Изопропилбензол	0,0007	-	0,0247	0,0005	0,1920	-

Спустя две недели (1.03.2019 г.) качественный состав воды существенно изменился - установлено снижение концентрации многих компонентов, за исключением изопропилбензола, содержание которого было в 7,5 раз выше, чем в пробе № 3. Изопропилбензол присутствовал также в газовой фазе над размельченными после взрывов горными породами. Есть основание предполагать, что этот компонент содержался в поровых растворах горных пород.

Накануне ледохода, в апреле 2019 г. в воде, отобранной в канале, по-прежнему содержались метилированные производные бензола (толуол и ксилолы), гексан, ацетон и этилацетат.

Особый риск представляет использование в пределах водных экосистем тротила, который чаще всего применяют при разработке полезных ископаемых и сейсморазведке в пределах наземных экосистем. Гигроскопичность тротила составляет около 0,05 %, он плохо растворяется в воде (0,15 % при 100°C), хорошо – в органических растворителях (пиридин, ацетон, толуол, хлороформ). Учитывая слабую растворимость, можно предполагать его присутствие в составе взвешенных веществ, а также продуктов детонации в водной среде, включая ионы азота, алюминия и других токсичных элементов. Экологический риск увеличивается при одновременном поступлении нескольких тонн продуктов, образовавшихся в результате взрыва.

Присутствие метанола может быть связано с трансформацией природного метана в результате биогеохимических процессов. Группа метилированных производных бензола может присутствовать среди продуктов трансформации гумусовых веществ, образующихся при разложении растительных остатков, и поступать в воду в результате дренажа грунтовых вод через почву и сквозь тело плотины. Известно, что гексан может иметь природное и антропогенное происхождения. В первом случае он входит в состав природных углеводов, во втором – выступает в качестве одного из продуктов взрывчатых веществ. Толуол часто встречается в незагрязненных водных экосистемах в довольно низких концентрациях, образуясь во время анаэробной деградации ароматических аминокислот. Для бензола и этилбензола пороговые концентрации при их разложении в донных отложениях были зарегистрированы в диапазоне μM , в то время как для толуола и ксилолов они были, как минимум, на два порядка ниже [10].

Таким образом, в воде Бурейского водохранилища в акватории гигантского оползня был установлен широкий спектр ароматических соединений природного и антропогенного происхождения. Это может быть причиной снижения самоочищающегося потенциала, особенно в придонных слоях воды и в зонах седиментации взвешенного материала. Ароматические соединения, которые входили в состав продуктов взрыва или содержались изначально в подземных водах, дренирующих горные породы, способны адсорбироваться на размельченных частицах пород. В результате весенних паводков и наводнений, масштабы взаимодействия воды с размельченными горными породами могут провоцировать увеличение концентраций токсичных веществ в воде вокруг оползня. Многие ароматические соединения, включая метилированные производные бензола (толуол и ксилолы), представляют опасность для гидробионтов, вызывая так называемые пролонгированные риски в пространстве и во времени.

Список литературы

1. Badoux A., Andres N., Techel F., Hegg C. Natural hazard fatalities in Switzerland from 1946 to 2015 // *Natural Hazards and Earth System Science*. 2016. Vol. 16, N 12. P. 2747-2768.
2. Andres N., Badoux A. The Swiss flood and landslide damage database: normalisation and trends// *Journal of Flood Risk Management*. 2018. e12510 (12 pp.). <https://doi.org/10.1111/jfr3.12510>
3. Pei W., Zhang M., Li S., Lai Y., Jin L. Enhancement of convective cooling of the porous crushed-rock layer in cold regions based on experimental investigations//*International Communications in Heat and Mass Transfer*. 2017. Vol.87. P. 14-21.
4. Qu D., Dengke L., Li X., Luo Y., Kun X. Damage evolution mechanism and constitutive model of freeze- thaw yellow sandstone in acidic environment // *Cold Regions Science and Technology*. 2018. Vol. 155. P. 174-183.
5. Yu Q., Fan K., You Y., Guo L., Yuan C. Comparative analysis of temperature variation characteristics of permafrost roadbeds with different widths//*Cold Regions Science and Technology*. 2015. Vol. 117. P. 12-18.
6. Lu Y., Li X., Chan A. Damage constitutive model of single flaw sandstone under freeze-thaw and load // *Cold Regions Science and Technology*. 2019. Vol. 159. P.20-28.
7. Juhasz A.L., Naidu R. Explosives: fate, dynamics, and ecological impact in terrestrial and marine environments// *Rev Environ Contam Toxicol*. 2007. Vol.191. P.163-215.
8. Won J., and Borden R.C. Impact of glycerin and lignosulfonate on biodegradation of high explosives in soil // *J. Contam. Hydrol*. 2016. Vol.194. P.1-9.
9. Borden R.C., Won J., Yuncu B. Natural and Enhanced Attenuation of Explosives on a Hand Grenade Range // *Journal of Environmental Quality*. 2017. Vol. 46. P. 961-967.
10. Cozzarelli I.M., Bekins B.A., Eganhouse R.P., Warren E., Essaid H.I. In situ measurements of volatile aromatic hydrocarbon biodegradation rates in groundwater// *J. Contam Hydrol*. 2010. Vol.111(1-4). P. 48-64.

© Кондратьева Л.М., Махинов А.Н., Ким В.И.,
Филиппова Г.М., 2019

СОСТОЯНИЕ ЦИМЛЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ НИЖНЕГО УРОВНЯ

Сухоруков Б.Л.^{1,2}, Решетняк Н.В.¹, Ковалёва Г.Е.^{1,2}

¹ФГБУ «Гидрохимический институт» г. Ростов-на-Дону

²Гидрохимический отдел ИВП РАН г. Ростов-на-Дону

E-mail: bls-phys@yandex.ru

Аннотация. Представлены результаты 9 дистанционных спектрометрических (ДС) съемок Цимлянского водохранилища за период с 2011-2018 гг. В видимом диапазоне спектра, 400–750 нм, со спектральным разрешением менее 2 нм измеряли яркость восходящего от воды излучения, яркость эталона и рассчитывали спектры коэффициента спектральной яркости (СКСЯ). Показано, что на основе многолетних измерений формы СКСЯ может быть отслежена динамика развития состояния водного объекта (ВО). Содержательная интерпретация этого понятия может приобретать все более углубленный экологический смысл по мере проведения синхронных

спектрометрических и специальных аналитических измерений показателей качества воды. На Цимлянском водохранилище получены СКСЯ, заметно отличающиеся по форме от аналогичных спектров Нижнего Дона. Данные ДС измерений показывают, что «синезеленое цветение» водохранилища начинается в конце мая – начале июня и заканчивается не раньше конца октября. В период июль – октябрь водохранилище находится в гиперэвтрофном состоянии.

Ключевые слова: дистанционная спектрометрия, состояние ВО, трофность, коэффициент спектральной яркости, фитопланктон, хлорофилл, фикоцианин.

STATE OF THE TSIMLYANSK RESERVOIR BASED ON THE LOW LEVEL REMOTE SPECTROMETRY DATA

Sukhorukov B.L.^{1,2}, Reshetnyak N.V.¹, Kovaleva G.E.^{1,2}

¹ Hydrochemical Institute, Rostov-on-Don,

² Water Problems Institute of Russian Academy of Sciences, Hydrochemical department, Rostov-on-Don
E-mail: bls-phys@yandex.ru

Abstract. The results of 9 remote spectrometric (RS) surveys of the Tsimlyansk reservoir for the period from 2011-2018 are presented. The brightness of the reference and that of the radiation ascending from water were measured in the visible spectral range, 400–750 nm, with a spectral resolution of less than 2 nm, and spectra of the spectral brightness coefficient (SSBC) were calculated. It is shown that the dynamics of the development of the state of a water body can be established on the basis of long-term measurements of the SSBC shape. A thoughtful interpretation of this concept can acquire an increasingly immersed ecological meaning as synchronous spectrometric and special analytical measurements of water quality indicators are conducted. The obtained Tsimlyansk reservoir's spectra of SBC are noticeably different in shape from similar spectra of the Lower Don. The RS data of measurements show that the “blue-green flowering” of the reservoir begins from late May to early June and ends not earlier than late October. The reservoir is in a hypereutrophic state in the period between July and October.

Key words: remote spectrometry, state of water bodies, trophicity, spectral brightness coefficient, phytoplankton, chlorophyll, phycocyanin.

Согласно ГОСТ 17.1.1.01. Состояние водного объекта: «характеристика водного объекта по совокупности его количественных и качественных показателей применительно к видам водопользования». Унифицированная система оценки качества воды до настоящего времени отсутствует, поэтому оценивать состояние ВО по данным какого-либо специального вида измерений принципиально некорректно. Тем не менее, существует множество подходов, в которых используют различные, более или менее широкие перечни гидрохимических или гидробиологических показателей, по которым выполняют «оценку состояния водного объекта». В последние годы все чаще считается корректным (необходимым) использовать совокупность и химических и биологических и гидрологических показателей, и кроме того, учитывать геохимические (региональные) и климатические аспекты при получении требуемой

информации о состоянии ВО. Очевидно, что такая многофакторная задача не имеет однозначного корректного решения.

В настоящем сообщении рассмотрен один из подходов к оценке состояния водного объекта по его дистанционно измеряемой излучательной характеристике: СКСЯ восходящего от воды излучения. По этой характеристике можно говорить о состоянии ВО по следующим причинам. Восходящее от воды излучение формирует оптически активные (видимые) компоненты, изменяющие комплексный показатель преломления его действительную (поглощение) или мнимую (рассеяние) части. К рассеивающим компонентам относят как взвешенные вещества, в основном минеральные, с относительным показателем преломления 1.15, так и отдельные органические, с относительным показателем преломления от 1.02 до 1.04. Существенным фактором в оценке этого процесса является учет распределения частиц по размерам, меняющимся и в различные гидрологические сезоны, и от объекта к объекту.

Поглощают как растворенные органические вещества с различной молекулярной массой, так и пигменты планктона, в основном, фитопланктона: хлорофиллы, фикобилины, каротиноиды. Известно, что эти компоненты при различных условиях (различных рН, температуре, химическом составе) могут образовывать многослойные частицы, обладающие различными оптическими свойствами.

Спектральное разрешение современной аппаратуры в видимой области спектра, использующейся для решения различных природоресурсных задач по дистанционно регистрируемому излучению, недостаточно для разделения этих компонентов, но позволяет регистрировать спектральные особенности различных сочетаний этих оптически активных компонентов. Поэтому регистрируемый сигнал СКСЯ в видимой области спектра, 400–750 нм, может быть предложен в качестве интегральной характеристики для оценки состояния водной экосистемы. Особенно эффективен такой подход при наблюдении за водами типа II, мутными, продуктивными, к которым и относятся воды Цимлянского водохранилища.

Основная проблема широкого использования этого показателя, СКСЯ, заключается именно в его комплексности, в возможности определения ограниченного перечня показателей однозначно связанных с общепринятым понятийным базисом: определением концентраций известных компонентов. В наших работах [1, 2] предложен и запатентован способ оценки трофности водных объектов по данным спектрометрии высокого разрешения, где оценку состояния водного объекта выполняют по шкале категорий СКСЯ, однозначно связанной с трофностью водного объекта. Настоящая работа развивает

положения, предложенные в этих работах. Аналогичный подход использован для классификации (типизации) водных объектов различных континентов [3].

Дистанционную спектрометрическую съемку Цимлянского водохранилища проводили на 7 (редко 9) станциях сети Росгидромета (см. рис. 1). Анализировали данные, полученные в 9 съемках: август, октябрь 2011 г., июнь, октябрь 2012 г., июнь, август 2013 г., октябрь 2015 г., май, сентябрь 2018 г. Всего получено более 100 СКСЯ.

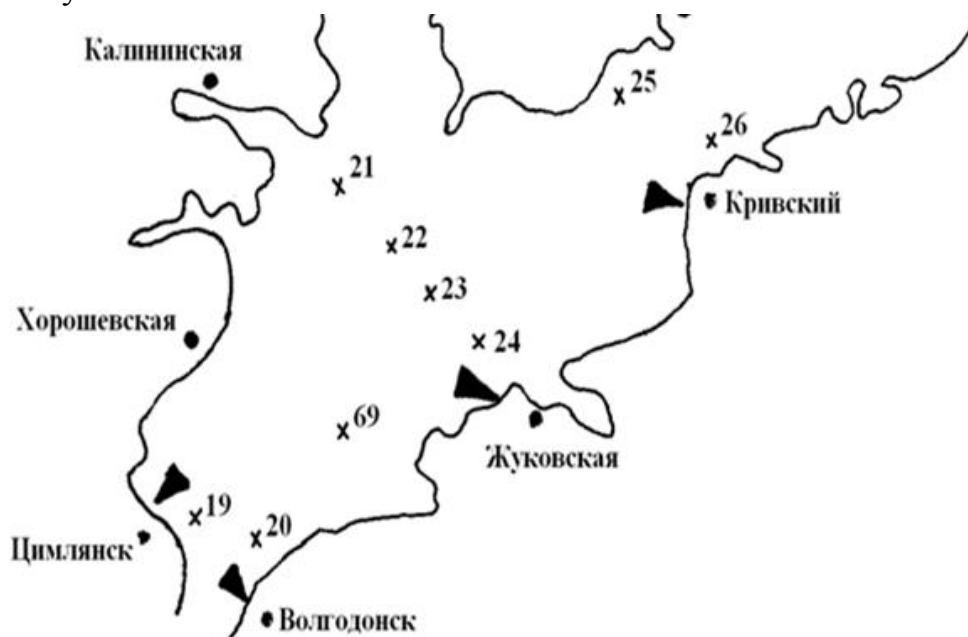


Рис. 1. Схема расположения станций на приплотинном плесе Цимлянского водохранилища сети Росгидромета. Номерами указаны станции проведения спектрометрической съемки

Съемку проводили с борта судна (высота около 3 м) спектрометром S41 (LaserLS) в диапазоне 389 – 750 нм со спектральным разрешением 1,8 нм. Расположенная перед объективом трубка Гершуна позволяла ограничить размер регистрируемого пятна диаметром около 30 см. Учитывая, что глубина видимости белого диска Секки для Цимлянского водохранилища составляет около 1,0 м, сигнал формируется объемом воды около 0,1 м³. В большинстве съемок параллельно отбирали пробы воды для лабораторного определения концентрации хлорофилла «а» фитопланктона и фикоцианина.

Типичные СКСЯ, полученные в различные гидрологические сезоны, представлены на рис. 2. В отличие от спектров, полученных в наших работах ранее по нижнему Дону и Таганрогскому заливу Азовского моря [4] все СКСЯ отличаются «острой» формой главного максимума на длине волны около 550 нм, что можно считать индивидуальной спектральной особенностью этого ВО. Такая форма СКСЯ характерна для прозрачных вод, с высоким содержанием фитопланктона. Спектры, отмеченные на рис. 2,б и 2,г),

имеющие более размытый максимум, смещенный в длинноволновую сторону, характерны для более мутных вод, с повышенным содержанием минеральных взвешенных веществ. Такой СКСЯ был отмечен в районе с. Жуковская в октябре 2012 г. (ст. 24), где происходит обмеление прибрежной полосы за счет постоянного размыва крутого берега, и на мелководном участке этого же разреза в октябре (ст. 21).

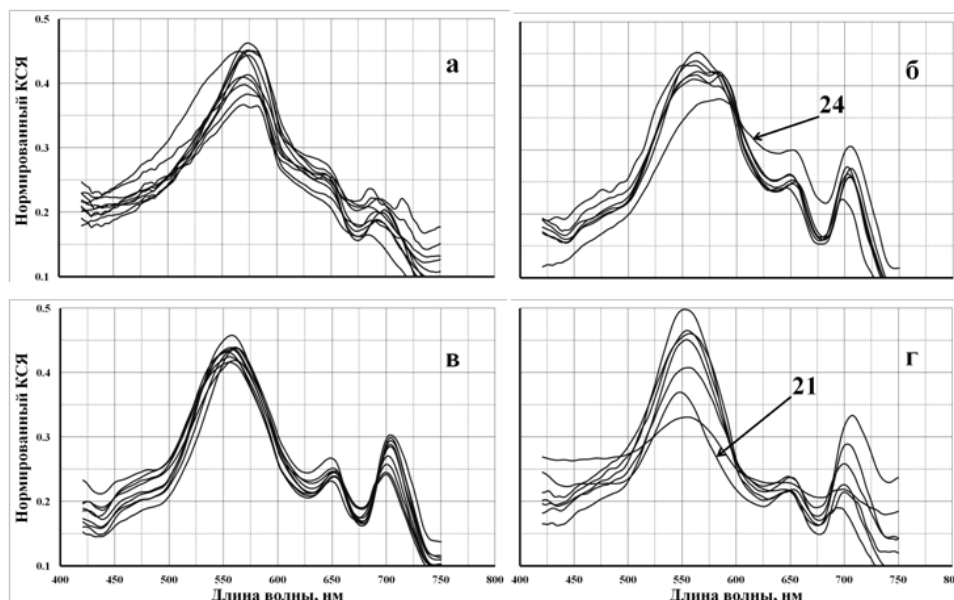


Рис. 2. СКСЯ приплотинного плеса Цимлянского водохранилища, полученные на станциях Росгидромета а) в мае 2018 г.; б) в июне 2012 г.; в) в августе 2011 г.; г) в октябре 2012 г.

На этом же рис. 2,б отмечено появление СКСЯ с «двойным» главным максимумом. До настоящего времени причина такой формы главного максимума однозначно не установлена. На основании модельных расчетов СКСЯ у нас есть основания предполагать, что такая форма главного максимума СКСЯ связана с перестройкой фитопланктона ВО: перехода от доминирования диатомовых к появлению зеленых водорослей.

Сравнение рис. 2,а и 2,в показывает, что в августе в экосистеме преобладают синезеленые водоросли, на что указывает появление минимума на длине волны около 620 нм. Наши работы по аналитическому определению концентрации фикоцианина, начатые в 2017 г., показали, что алгоритм дистанционного определения фикоцианина по СКСЯ, предложенный в работе [5], может быть использован и для наших ВО, в том числе Цимлянского водохранилища.

В табл. 1 приведены значения концентраций хлорофилла «а» фитопланктона, и фикоцианина, восстановленные по биооптическим моделям, построенным по данным, полученным в 2018 г., через 6 лет после получения СКСЯ, приведенных на рис. 2 и сохраненных в соответствующей базе данных [6].

В этой же таблице приведены значения категорий СКСЯ, полученные на каждой из станций по шкале, разработанной в 2017 г. [2], где приведено описание экологического смысла СКСЯ всех шести категорий.

Кроме того, отношение концентраций фикоцианина $C_{PC}^{дист}$ и хлорофилла «а» фитопланктона $C_{chl a}^{дист}$, можно рассматривать как показатель, характеризующий потенциальную токсобность ВО. Это отношение находится в интервале значений, характерных для водных объектов Германии и Израиля [7].

Таблица 1

Показатели качества воды, $C_{PC}^{дист}$, и $C_{chl a}^{дист}$, и состояния Цимлянского водохранилища, восстановленные по ранее измеренным КСЯ [6]

Станция наблюдения / дата	$C_{PC}^{дист1)}$	$C_{chl a}^{дист2)}$	$\frac{C_{PC}^{дист}}{C_{chl a}^{дист}}$	Категория СКСЯ ³⁾	Станция наблюдения / дата	$C_{PC}^{дист1)}$	$C_{chl a}^{дист2)}$	$\frac{C_{PC}^{дист}}{C_{chl a}^{дист}}$	Категория СКСЯ ³⁾
2011									
19 30-08	38.9	33.6	1.16	5	22 06-10	32.4	39.1	0.83	5
20 30-08	31.0	28.7	1.08	4	23 06-10	22.9	22.5	1.02	5
23 08-10	43.3	71.3	0.61	5	25 08-10	48.6	79.3	0.61	5
24 30-08	35.5	39.3	0.90	5	26 08-10	21.6	17.8	1.21	3
19 06-10	23.9	15.1	1.58	3	28 08-10	22.3	20.6	1.08	3
20 06-10	22.8	14.8	1.54	3	29 08-10	18.0	19.1	0.94	3
2012									
19 23-06	23.6	30.5	0.77	4	20 10-10	28.0	25.2	1.11	4
20 23-06	22.4	21.7	1.03	3	21 10-10	26.5	17.7	1.50	3
21 23-06	21.5	35.9	0.60	5	22 10-10	29.7	28.9	1.03	5
69 23-06	33.7	31.3	1.08	5	23 10-10	20.2	14.6	1.39	3
19 10-10	50.0	57.9	0.86	6	69 10-10	27.3	29.3	0.93	5
2013									
19 26-06	29.4	34.9	0.84	5	23 26-06	29.8	40.7	0.73	5
20 26-06	38.9	68.8	0.57	5	24 26-06	29.6	39.5	0.75	5
21 26-06	25.0	29.6	0.85	4	69 26-06	27.0	33.7	0.80	5
22 26-06	25.0	43.3	0.58	6					
2015									
19 07-10	18.1	28.3	0.64	4	23 07-10	23.4	24.7	0.94	4
20 07-10	22.5	17.3	1.30	3	24 07-10	20.1	26.2	0.77	4
21 07-10	20.4	137.7	0.15	6	69 07-10	18.2	10.9	1.66	2
22 07-10	22.8	34.2	0.67	5					
2018									
19 20-05	13.2	11.6	1.14	2	19 29-09	50.9	33.8	1.50	5
20 20-05	14.3	3.4	4.22	2	20 29-09	88.7	72.0	1.23	6
23 21-05	18.1	18.0	1.01	3	21 29-09	40.5	32.3	1.25	5
24 20-05	12.7	11.6	1.10	3	22 29-09	67.2	63.1	1.07	5
26 21-05	15.3	10.9	1.39	3	23 29-09	59.3	46.5	1.28	5
69 20-05	24.5	15.9	1.55	3	24 29-09	38.6	35.3	1.09	5
					69 29-09	151.7	92.6	1.64	6
<p>¹⁾ $C_{PC}^{дист}$ – концентрация фикоцианина, по [5] ²⁾ $C_{chl a}^{дист}$ – концентрация хлорофилла «а» по БОМ: $C_{chl a} = 54.657 \cdot RP - 36.168$, $RP = \rho^{708} / \rho_{665}$ ³⁾ категории СКСЯ, по [1, 2]</p>									

Таким образом, приведенные на рис. 2 данные дистанционных спектрометрических съемок и восстановленные по этим данным показатели качества и состояния ВО (табл. 1), показывают, что Цимлянское водохранилище, в целом, относится к эвтрофно-полиэвтрофному и даже гиперэвтрофному типу ВО. В большинстве съемок наблюдаются СКСЯ V–VI категорий, имеющие отличительные особенности, отмеченные выше. Отдельные СКСЯ III и IV категории свидетельствуют всего лишь о том, что акватория этого ВО подвержена значительному влиянию ветровых процессов, приводящих к смещению значительных масс поверхностного слоя воды. Именно такое сочетание процессов эвтрофирования, волнения и направления ветра привело к возникновению чрезвычайной ситуации, описанной в [8].

Такое состояние ВО наблюдается по всей акватории приплотинного плеса с середины июня и заканчивается в середине октября. Сравнение с результатами аналогичных дистанционных спектрометрических съемок Нижнего Дона показывает, что СКСЯ подобного типа нетипичны для Нижнего Дона, условно начинающегося от плотины водохранилища. Как указано выше, воды Цимлянского водохранилища более прозрачны, но имеют значительно большую концентрацию фитопланктона. Очевидно, что из приведенных утверждений можно сделать косвенный вывод о том, что в подобном ВО соединения азота и фосфора находятся в количествах, значительно превышающих и рекомендуемые, и допустимые [9]. Необходимо отметить, что если синезеленое цветение в низовьях Дона наблюдается не более 2-3 недель в августе, то аналогичное цветение в Цимлянском водохранилище можно зафиксировать в течение 3-4 месяцев. Спектры I категории, характерные для олиготрофных ВО и для межсезонной смены доминирующих видов фитопланктона в наших съемках не зарегистрированы.

Список литературы

1. Сухоруков Б.Л., Ковалёва Г.Е., Никаноров А.М. Патент на изобретение «Способ оценки трофности водных объектов», заявка № 2016115903, дата подачи заявки 22.04.2016. Опубл. 9.10. 2017. Бюл. № 28. Патентообладатели: ФГБУ «ГХИ», ФГБУ ИВП РАН.
2. Сухоруков Б.Л., Ковалёва Г.Е. Новиков И.В. Оценка трофности водных объектов по данным дистанционной спектрометрии высокого разрешения видимого диапазона // Водные ресурсы, 2017. Т.44. № 1. С.79-90.
3. Spyarakos E., O'donnell R., Hunter P. et. al. Optical types of inland and coastal waters // Limnol. Oceanogr, 2018. 63(2). P. 846-870.
4. Сухоруков Б.Л., Решетняк Н.В., Сапрыгин В.В., Бердников С.В. Состояние экосистемы Таганрогского залива и устьевой области Дона по данным дистанционной спектрометрической съемки 2017 г // Наука юга России, 2017. Т. 13. № 4. С. 71-82.

5. Mishra S., Mishra D. R. A novel remote sensing algorithm to quantify phycocyanin in cyanobacterial algal blooms // Environ. Res. Lett. 9. 2014. 114003 (9pp) doi:10.1088/1748-9326/9/11/114003.
6. Сухоруков Б.Л., Новиков И. В., Ковалёва Г.Е., Решетняк Н. В. Свидетельство о государственной регистрации базы данных «База спектрометрических данных высокого разрешения по водным объектам юга России», заявка № 2017621561, дата подачи заявки 25.12.2017. Оpubл. 14.02. 2018. Бюл. № 2. Патентообладатели: ФГБУ «ГХИ», ФГБУ ИВП РАН.
7. Yacobi Y.Z., Kohler J., Leunert F., Gitelson A. Phycocyanin-specific absorption coefficient: Eliminating the effect of chlorophylls absorption // Limnol. Oceanogr. 2015.: Methods 13. –P. 157–168. doi: 10.1002/lom3.10015.
8. Цимлянское водохранилище: состояние водных и прибрежных экосистем, проблемы и пути решения / Отв. ред. акад. Г.Г. Матишов. Ростов н/Д: ЮНЦ РАН, 2011. 216 с.
9. Хоружая Т.А., Минина Л.И. Оценка экологического состояния Цимлянского, Пролетарского и Веселовского водохранилищ // Метеорология и гидрология, 2017. № 5. С. 117–122.

© Сухоруков Б.Л., Решетняк Н.В., Ковалёва Г.Е., 2019

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ РЕАБИЛИТАЦИЯ САЯНО-ШУШЕНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА: СБОР, ИЗВЛЕЧЕНИЕ И ЗАХОРОНЕНИЕ ДРЕВЕСНОГО ХЛАМА

Яхонтова М.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Управление эксплуатации Саянских водохранилищ», Республика Хакасия, рп. Майна
E-mail: fguusv@rambler.ru

Аннотация. Строительство Саяно-Шушенской ГЭС и создание водохранилища создало одну из наиболее сложно разрешаемых проблем – засорение водного объекта древесной массой. В конце 80-х гг. начались работы по сбору и транспортировке древесины в долину залива Джойская Сосновка. За весь период с начала работ в 1984 г. по 2016 г. из Саяно-Шушенского водохранилища было извлечено более 1 530 тыс. м³ плавающей древесины.

Ключевые слова: водохранилище, лесочистка, древесный хлам, сбор, транспортировка, захоронение.

ECOLOGICAL REHABILITATION OF SAYANO-SHUSHENSK RESERVOIR: THE COLLECTION, RETRIEVAL AND DISPOSAL OF WOOD STUFF

Yakhontova M.V.

Federal State budgetary institution operation management of reservoirs,
Sayan Respublika Khakasiya, rp. Mayna

Annotation. Construction of the Sayano-Snushinsk Hydroelectric powerstation and forming the reservoir created one of the most difficult to solve problems – clogging water bodies with wood mass. At the end of the 1980s, work began on collecting and transporting

wood to the valley of the Gulf of Joyskaya Sosnovka. For the whole period from the beginning of works in 1984 to 2016 more than 1 530 m³ thousand. of floating wood were extracted from Sayano-Shushenskiy reservoir.

Keywords: Reservoir, forest cleaning, wood rubbish, collection, transportation, disposal.

Гидроузел Саяно-Шушенской ГЭС является первой ступенью каскада водохранилищ на р. Енисей и расположен в 3 050 км от устья реки. Саяно-Шушенское водохранилище образовано при перекрытии р. Енисей плотиной Саяно-Шушенской ГЭС в октябре 1975 г. В сентябре 1990 г. Саяно-Шушенское водохранилище наполнилось до проектного НПУ 540 м БС на территории трех субъектов Российской Федерации – Красноярского края, Республик Хакасия и Тыва, площадь водного зеркала при НПУ – 621 км².

Конфигурация водохранилища и его берегов обусловлена рельефом местности. Ложем водоема служит долина р. Енисей с притоками. При затоплении речных долин в нижней части водохранилища образовались глубокие узкие заливы, а в верхней части – большое озеровидное расширение – Шагонарский плес. Колебание уровня, в основном, происходят в пределах полезной емкости 30,71 км³ между отметками 500,00 м БС и 539,00 м БС.

Строительство ГЭС и создание водохранилищ порождают одну из наиболее сложно разрешаемых проблем – засорение водных объектов древесной массой.

В соответствии с требованиями СанПиН 3907-85 «Санитарные правила проектирования, строительства и эксплуатации водохранилищ», при подготовке лож водохранилищ под затопление необходимо выполнение работ по лесосводке и лесочистке. Лесочистка предполагает уборку всей древесно-кустарниковой растительности, включая сухостой и валежник [1].

При подготовке ложа Саяно-Шушенского водохранилища было признано экономически нецелесообразным освободить всю зону затопления от деревьев. Работы по лесосводке были выполнены лишь на участке вблизи самой плотины и в озеровидной части ложа водохранилища – на территории Тувы. Из общего запаса леса на корню 3 733 тыс. м³ в порядке лесочистки было вырублено и сожжено 740 тыс.м³, вывезено на переработку около 800 тыс.м³, 2 193 тыс.м³ древесины осталось на корню и было затоплено [2], (рис. 1).

В первые годы эксплуатации акватория водохранилища оказалась засорена плавающей древесиной, что оказало влияние на качественный состав воды. В конце восьмидесятых годов начались работы по сбору и транспортировке древесины в долину залива Джойская Сосновка.



Рис. 1. Сухостойная древесина в зоне колебания уровней воды

В 90-е гг. часть древесины из водоохранной зоны водохранилища была транспортирована на участок складирования, организованный в долине руч. Безымянный, где укладывалась навалом для естественного перегнивания без проведения рекультивационных работ. Участок складирования древесины использовался как береговой склад более 20-ти лет (рис. 2).



Рис. 2. Лог ручья Безымянный. Береговой склад

Для сбора плавающего древесного хлама проектом строительства Саяно-Шушенского водохранилища предусматривалось устройство запаней, накопление древесины в заливах-лесоохранилищах и последующее складирование на береговых складах для дальнейшей переработки, в том числе на щепу. Однако, в связи с низким качеством извлеченной из воды древесины, ее утилизация оказалась экономически неэффективной (рис. 3).

Концентрация плавающей древесины в заливах, а также на береговых складах, вызывала массу неудобств и серьезные претензии со стороны природоохранных органов. Сосредоточение значительной части плавающего древесного хлама в заливе Джойская Сосновка препятствовало эксплуатации причальных сооружений и транспортных средств (рис. 4).



Рис. 3. Боновое ограждение запани, общий вид



Рис. 4. Водохранилище перед плотиной Саяно Шушенской ГЭС в 2009 г.

Саяно-Шушенская ГЭС осуществила строительство пиролизного цеха для пережигания древесины в древесный уголь, однако мощность установки относительно невелика, а ее эксплуатация оказалась убыточной ввиду низкого качества исходного сырья – извлеченного из воды древесного хлама. В 2013 г. пиролизный цех был закрыт.

Древесный хлам – древесина, которая не может быть использована в хозяйственных целях вследствие утраты технических качеств.

В 1994 г. Ленгидропроектom запроектирована первая очередь лесного склада для захоронения древесного хлама площадью 17,8 га и емкостью до 1 млн. м³ [3].

В 1994-2000 гг. с поверхности водохранилища было собрано, выгружено на берег на узле выгрузки, перевезено и складировано около 783 тыс. м³ древесины.

В 2008 г. проведена оценка объемов древесного плавника в акватории Саяно-Шушенского водохранилища, его экологической опасности и товарной

составляющей. По результатам оценочных работ общий объем древесного хлама в запанях, на акватории водохранилища, по его берегам по состоянию на 2010 г. достигал 0,73 млн. м³ [4].

В процессе длительного нахождения в водохранилище древесина полностью лишилась коры, содержащей повышенное (в сравнении с древесиной свежесрубленной) количество минеральных и экстрактивных водорастворимых веществ.

Исследование химического состава древесины проводилось кафедрой химической технологии древесины и биотехнологии Межвузовского центра коллективного пользования приборами по проблемам химико-лесного комплекса СибГТУ. Осредненные значения результатов исследований приведены в табл. 1 [5].

При сопоставлении усредненных значений химического состава по всем породам исследованных образцов плавающей древесины с данными по свежесрубленной древесине можно сделать вывод, что остаток веществ, экстрагируемых водой из древесины, составляет 5-10 % от первоначального содержания.

Таблица 1

Химический состав плавающей древесины

Компоненты	Содержание, %
Зольные вещества	0,34
Вещества, экстрагируемые:	
– жиром	3,14
– водой	2,31
Легкогидролизуемые полисахариды	24,02
Трудногидролизуемые полисахариды	42,56
Негидролизуемый остаток (лигнин)	27,49

С 2009 по 2016 гг. осуществлялось извлечение, сбор и захоронение древесного хлама в рамках 1-3 очередей по проектной документации «Саяно-Шушенское водохранилище. Сбор, извлечение из водохранилища и захоронение древесного хлама на участке площадью 30 га, Красноярский край и Республика Хакасия», разработанной ЗАО «Центр инженерных технологий». Проведены работы по извлечению древесного хлама водохранилища, его транспортировке водным транспортом до места выгрузки на выгрузочный рейд, погрузке в автомобильный транспорт до места последующего захоронения. Лесной участок площадью 30 га, полученный ФГУ «УЭСВ» в постоянное (бессрочное) пользование для захоронения древесного хлама, собираемого в акватории водохранилища, берегового склада в заливе Джой-

ская Сосновка, расположен на территории Шушенского района Красноярского края в долине руч. Безымянный.

Общий объем древесного хлама, извлеченного и захороненного на 1-3 очереди, согласно проекту, составляет 730 тыс. м³ [6].

За весь период – с начала работ в 1984 г. по 2016 г. – из Саяно-Шушенского водохранилища было извлечено более 1 530 тыс. м³ плавающей древесины.

В 2015 г. ФГБОУ ВО «Сибирский государственный технологический университет» провело оценку объемов плавающего древесного хлама (плавника) в акватории Саяно-Шушенского водохранилища по состоянию на 2 квартал 2015 г. (01.07.2015 г.). В 2016 г. уточнены объемы древесного хлама, подлежащие извлечению из водохранилища и захоронению (табл. 2).

Таблица 2

Объемы древесного хлама

Дислокация древесного хлама, тыс. м ³			
Лесоудерживающая запань в заливе Кантегирская Сосновка	Свободноплавающий древесный хлам	Лесоудерживающая запань в заливе Джойская Сосновка	Всего
112,5	78,9	36,7	228,1

Таким образом, древесный хлам, подлежащий извлечению с акватории Саяно-Шушенского водохранилища с его последующим захоронением, составляет 228,1 тыс. м³ [4]. Для этих целей в 2018 г. разработана проектная документация «Саяно-Шушенское водохранилище. Сбор, извлечение из водохранилища и захоронение древесного хлама на участке площадью 30 га, Красноярский край и Республика Хакасия, 4 очередь». Предусматривалось захоронение древесного хлама на участке захоронения 1-3 очередей, расположенном в долине руч. Безымянный – правого притока р. Джойская Сосновка. Но результатам государственной экологической экспертизы проектной документации, проведенной Управлением Росприроднадзора по Красноярскому краю в январе 2017 г., древесный хлам признан отходом V класса опасности, практически не опасным, а продолжение его захоронения на участке захоронения 1-3 очередей недопустимым.

В связи с невозможностью захоронения древесного хлама на участке захоронения 1-3 очередей и необходимостью дальнейшей очистки акватории Саяно-Шушенского водохранилища от древесного хлама, принято решение осуществлять размещение (захоронение) древесного хлама на полигоне твердых коммунальных отходов (ТКО), зарегистрированном в Государственном реестре объектов размещения отходов (ГРОРО).

В 2018 г. проектная документация «Саяно-Шушенское водохранилище. Сбор, извлечение из водохранилища и захоронение древесного хлама на участке площадью 30 га, Красноярский край и Республика Хакасия, 4 очередь» была откорректирована [8].

Работы по очистке содержат несколько этапов:

– **Лесосплавные работы** – сбор свободно плавающего древесного хлама с акватории водохранилища, транспортировка собранного свободно плавающего и локализованного в заливе Кантегирская Сосновка кошелюми с буксировкой водным транспортом в залив Джойская Сосновка в лесохранилище и далее на рейд приплава.

– **Извлечение древесного хлама из водохранилища** производится в заливе Джойская Сосновка на рейде приплава. Рейд приплава состоит из лесохранилища и узла выгрузки [7]. Лесоохранилище в заливе Джойская Сосновка отделено от основной части акватории Саяно-Шушенского водохранилища запанями. Выгрузка древесного хлама из воды производится погрузчиками. Непосредственно в самосвалы грузятся сортименты и коротье, составляющие 43,5 % от общего объема древесного хлама. Хлысты и корчи, составляющие 52,5 % от общего объема древесного хлама, выгружаются из воды для предварительной сортировки и раскряжевки перед погрузкой в самосвалы.

– **Транспортировка древесного хлама от узла выгрузки к участку захоронения** по существующим землевозным дорогам и дорогам общего пользования. Транспортировка древесного хлама на участок захоронения выполняется параллельно с его извлечением из воды.

– **Размещение (захоронение) древесного хлама** производится на полигоне ТБО г. Черногорск силами организации, эксплуатирующей и имеющей лицензию на осуществление деятельности по обезвреживанию и размещению отходов I-IV класса опасности.

В 2020-2025 г. планируется реализация проекта. Данное мероприятие носит водоохраный характер и направлено, в первую очередь, на экологическую реабилитацию Саяно-Шушенского водохранилища. Выполняется полностью за счет средств федерального бюджета.

Список литературы

1. СанПиН 3907-85. Санитарные правила проектирования, строительства и эксплуатации водохранилищ.
2. Приказ Минэнерго СССР и Минлеспрома СССР от 05.02.1969 № 57/50.
3. Саяно-Шушенская ГЭС. Водоохранилище. Сбор и утилизация плавника: рабочий проект – Т. 5. Технические мероприятия по доставке древесного плавника с запаней-лесоохранилищ в залив Джойская Сосновка в пункты утилизации. Пояснит. записка. № 1047-8-294г. СПб, 1994.

4. Проведение оценки объемов плавающего древесного хлама (плавника) в акватории Саяно-Шушенского водохранилища, его экологической опасности и товарной составляющей: отчет о науч.-исслед. работе. ФГБОУ ВО «Сибирский гос. технол. ун-т». Красноярск, 2008.
5. Проведение оценки объемов плавающего древесного хлама (плавника) в акватории Саяно-Шушенского водохранилища, его экологической опасности и товарной составляющей: отчет о науч.-исслед. работе. ФГБОУ ВО «Сибирский гос. технол. ун-т». Красноярск, 2015.
6. Саяно-Шушенское водохранилище. Сбор, извлечение из водохранилища и захоронение древесного хлама на участке площадью 30 га, Красноярский край и Республика Хакасия: рабочий проект. ЗАО «Центр инженерных технологий». Барнаул. 2009.
7. ГОСТ 16032-70. Лесосплав. Термины и определения.
8. Корректировка проекта «Саяно-Шушенское водохранилище. Сбор, извлечение из водохранилища и захоронение древесного хлама на участке площадью 30 га, Красноярский край и Республика Хакасия, 4 очередь» ЗАО «Центр инженерных технологий». Барнаул. 2018.

© Яхонтова М.В., 2019

ОСОБЕННОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НАРВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Еремеева А.О., Бобровицкая Н.Н.

ФГБУ «Государственный гидрологический институт», г. Санкт-Петербург
E-mail: eranol@mail.ru

Аннотация. В рамках реализации программы трансграничного мониторинга водных объектов бассейна р. Нарва сотрудниками ГГИ в 2009 и 2012 гг. были выполнены исследования загрязнения донных отложений Нарвского водохранилища. Согласно полученным данным, приоритетными загрязнителями водохранилища в 2009 г. были марганец и бенз(а)пирен, в 2012 г. марганец и свинец.

Ключевые слова: трансграничный мониторинг, Нарвское водохранилище, донные отложения, приоритетные загрязнители.

FEATURES OF POLLUTION OF THE NARVA RESERVOIR BOTTOM SEDIMENTS

Eremeeva A.O., Bobrovitskaya N.N.

State Hydrological Institute, Saint.-Petersburg

Annotation. Within the implementation of the program of water bodies transboundary monitoring in the Narva River basin in 2009 and 2012, the researchers of the State Hydrological Institute (SHI) carried out studies on pollution of the Narva reservoir bottom sediments. According to the data obtained, the priority pollutants of the reservoir were Mn and benzo (a) – pyrene in 2009, Mn and Pb in 2012.

Keywords: transboundary monitoring, Narva reservoir, bottom sediments, priority pollutants.

Введение. Нарвское водохранилище было образовано в нижнем течении реки Нарва в 1955-56 гг. для работы Нарвской ГЭС в целях суточного регулирования стока. В дальнейшем водохранилище стало источником водоснабжения и водоемом-охладителем двух крупных тепловых электростанций (Балтийской и Эстонской). Площадь водосбора водохранилища (без площади самого водохранилища) составляет 55 848 км², из которой основную часть составляют водосборы р. р. Нарва (82 %) и Плюсса (12 %). Площадь акватории самого водохранилища (при НПУ 25,0 м) 191 км², из которой в границах Эстонии только 35 км² или 18 %.

Экосистема Нарвского водохранилища испытывает значительное антропогенное воздействие. В настоящее время основными источниками загрязнения Нарвского водохранилища являются сбросы шахтных, промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод в р. р. Нарва и Плюсса с российской и эстонской частей водосбора. Объем сброса загрязненных вод с российской части водосбора в 2010 г. составил около 40000 тыс.м³, из них только объем неочищенных шахтных вод в р. Плюсса был более 15000 тыс.м³.

Основную часть объема сбрасываемых загрязненных вод с территории РФ составляют недостаточно-очищенные и не очищенные шахтные воды предприятий по добыче и переработке сланцев. Наибольший вклад в загрязнение бассейнов р. Нарва и Плюсса веществами II и IV классов опасности вносит ОАО «Завод Сланцы». Часть функции по очистке загрязненных вод берут на себя донные отложения водохранилища, мелкодисперсные фракции которых сорбируют на водосборе реки загрязняющие вещества, поступающие от точечных и диффузных источников загрязнения.

Существенный вклад в антропогенную нагрузку водоема вносят выбросы в атмосферу и аэрогенный перенос отходов сжигания топлива с золоотвалов эстонских сланцевых ТЭС.

В рамках реализации программы мониторинга Совместной Российско-Эстонской комиссии по охране и рациональному использованию трансграничных вод бассейна р. Нарва, включая Чудско-Псковское озеро, в 2009 и 2012 гг. сотрудниками ФГБУ «ГГИ» было исследовано загрязнение донных отложений Нарвского водохранилища (рис. 1).

Материалы и методы. Пробы донных отложений отбирались в июне-сентябре 2009 и 2012 гг. в российских территориальных водах на 6-ти станциях в сроки, утвержденные программой исследований.

Химический анализ донных отложений включал следующие ингредиенты: рН, гранулометрический состав, нефтепродукты, нитриты, сульфаты, фосфаты, фториды, хлориды, железо, марганец, медь, никель, ртуть, свинец, цинк, ванадий, мышьяк, бенз-(а)-пирен, ПХБ.

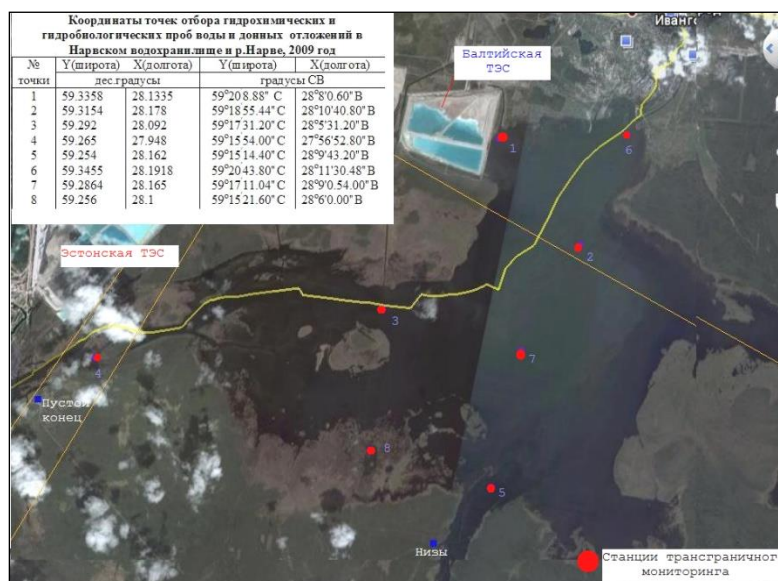


Рис. 1. Космоснимок Нарвского водохранилища с координатами станций совместного российско-эстонского трансграничного мониторинга

Гранулометрический состав донных отложений. Наиболее мелкие частицы донных отложений приурочены к центральной части водохранилища и островам-сплавинам (ст. 7 и 8). Здесь располагается застойная зона, где отсутствуют стоковые течения. В этой зоне происходит интенсивное осадконакопление мелкодисперсных пылевато-илистых фракций, образующих органо-минеральные комплексы с мертвым органическим веществом (рис. 2). Более крупный гранулометрический состав с илесто-песчаными фракциями отмечен в старых руслах р. р. Нарва и Плюсса.

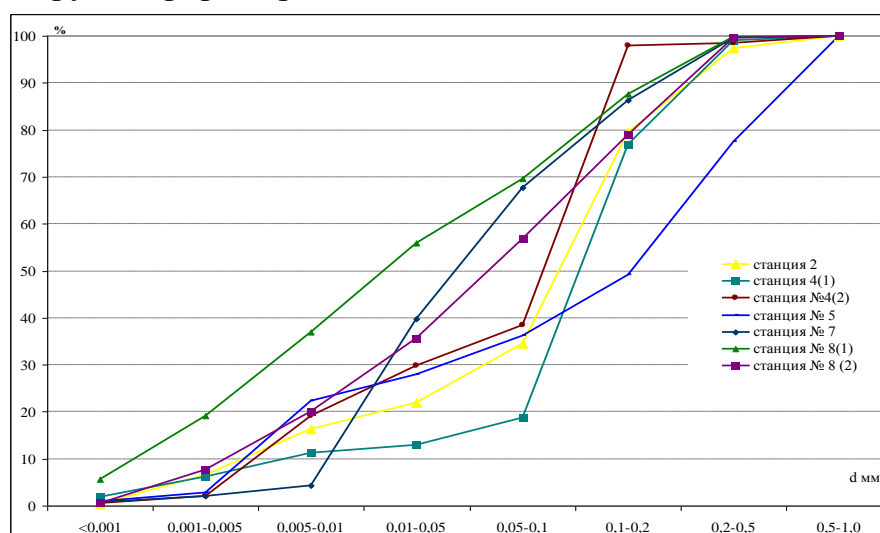


Рис. 2. Интегральные кривые гранулометрического состава донных отложений в Нарвском водохранилище в летний период 2012 г.

Состояние качества донных отложений Нарвского водохранилища.

Нормативы экологического состояния донных отложений в настоящее время

не разработаны. Наиболее правильным подходом, позволяющим оценить вклад антропогенной составляющей в накопление загрязняющих веществ в донных осадках, является сравнение показателей качества исследуемых донных отложений с региональными фоновыми величинами содержания этих показателей в почве. К сожалению, корректные характеристики регионального фона практически повсеместно отсутствуют.

В данной работе в качестве эколого-гидрохимического норматива содержания металлов в донных отложениях были использованы фоновые концентрации тяжелых металлов в почвах Ленинградской области, по данным «Невсгеология», предельно-допустимые концентрации (ПДК) – для валовых форм и ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) – для суглинистых почв.

Содержание органического вещества в исследованных пробах донных отложений варьирует в пределах 5-30 %. Наименьшие значения (менее 5 %), характерны для песчаных отложений. Органические взвеси, оседающие на песчаное дно, не удерживаются частицами песка и транспортируются в водоеме в наиболее глубоководную зону и оседают в заводях или на застойных участках. Осадки с высоким содержанием органического вещества, в основном более 10 %, выпадают на дно (ст. 2, 7, 8). Такие осадки содержат наибольшее количество пелитовой фракции, поэтому способны связывать большое количество загрязняющих веществ.

По результатам гидрохимического обследования водохранилища в 2009 и 2012 гг., значения рН для всех проб, отобранных на станциях трансграничного мониторинга, изменяются от нейтральной до слабощелочной области. Пределы изменения рН составляют 6,8-8,3. Наибольшие значения рН отмечены в начале июля 2009 г. для всех проб донных осадков, отобранных на всех станциях, – 8,0-8,3.

В 2012 г. концентрация сульфатов изменялась от <20 мг/кг до 32 мг/кг. Максимальное значение отмечено на ст. № 7 в центральной акватории водохранилища. По сравнению с 2012 г., содержание сульфатов в 2009 г. было значительно выше и изменялось в более широких пределах – от 8,2 мг/кг до 1580 мг/кг (ст. № 8). Содержание сульфатов и хлоридов в донных отложениях не нормируется.

Накопление сульфатов в донных отложениях водохранилища связано как со сбросом загрязненных стоков с золоотвалов и аэрогенным переносом сернистых соединений, содержащихся в атмосферных выбросах Эстонской и Балтийской сланцевых ТЭС Эстонии, так и сбросами загрязненных шахтных вод с российской части водосбора. Концентрация хлоридов и сульфатов в

2012 г. была значительно ниже, чем в 2009 г., что свидетельствует о процессах самоочищения донных отложений в результате прекращения сброса загрязненных вод предприятиями сланцевой промышленности РФ и Эстонии.

Содержание нитритов в донных отложениях не нормируется. Концентрация нитрит-ионов на станциях мониторинга находилась ниже предела чувствительности аналитического определения ($< 0,05$ мкг/кг). Загрязнения нитратами во всех точках наблюдений не выявлено. Содержание нитратного азота варьирует в достаточно широких пределах – от 0,3 мг/кг (ст. № 5) до 4,9 мг/кг (ст. № 2) и находится существенно ниже ПДК (130 мкг/кг). Величина фосфат-ионов во всех пробах - < 25 мг/кг. Содержание фосфатов в донных отложениях не нормировано. Железо изменяется в пробах водохранилища в интервале 4362-7378 мг/кг, и его концентрации ниже значений измеренных в 2009 г., которые были в пределах 6500-17000 мг/кг. Величина железа во всех исследуемых пробах не превышает его кларковое (380000,0 мг/кг) и фоновое (33592,0 мг/кг) значения.

Концентрация Zn, относящегося к элементам 1 класса опасности, на станциях мониторинга находилась в пределах 3,4 мг/кг (ст. №3) – 44 (ст. № 2) мг/кг и незначительно превышала региональный фон в июне 2012 г. (43,1 мг/кг – ст. № 2) – рис. 3.

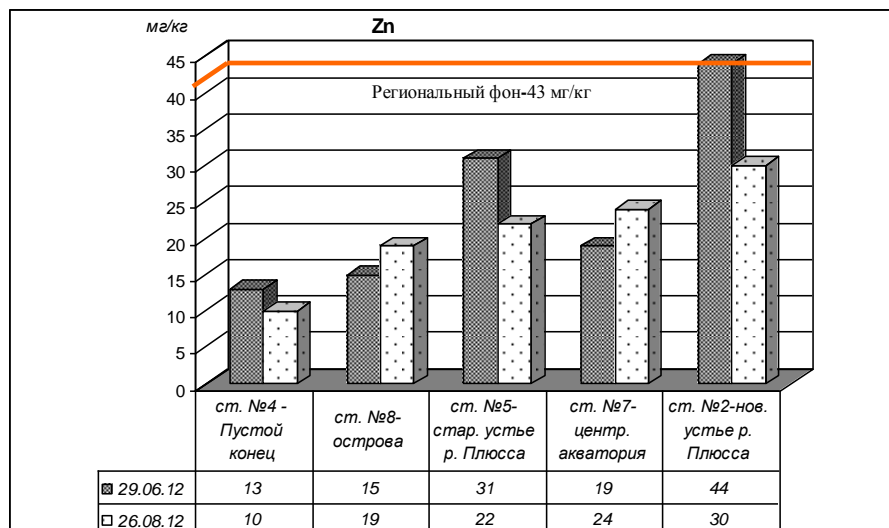


Рис. 3. Изменение концентрации цинка в донных отложениях Нарвского водохранилища на станциях трансграничного мониторинга РФ, лето 2012 г.

В 2012 г. пределы изменения свинца были значительно выше и составили 12-44 мг/кг, почти во всех точках превышая региональный фон (рис. 4). Максимальные концентрации отмечены в июне и августе на ст. № 5 в старом устье р. Плюсса, соответственно, 42 мг/кг (1,3 ПДК) и 44 мг/кг (1,4 ПДК).

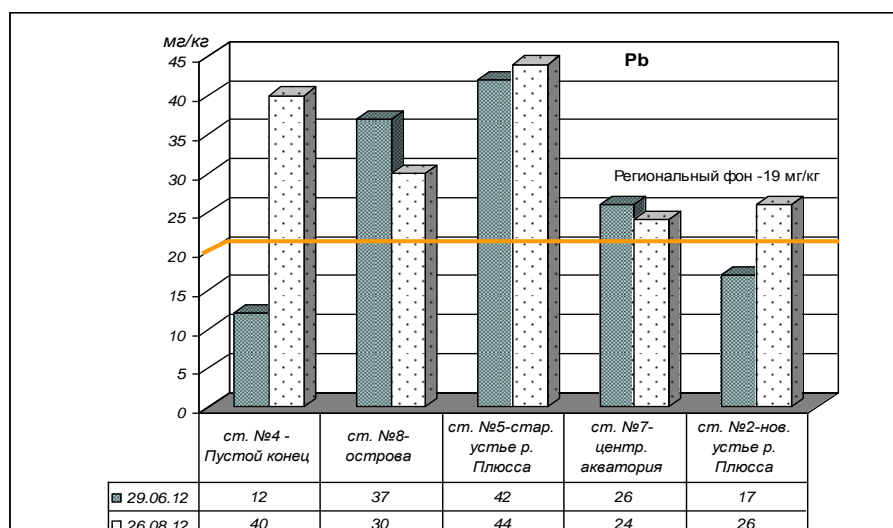


Рис. 4. Изменение концентрации Pb в донных отложениях Нарвского водохранилища на станциях трансграничного мониторинга РФ, лето 2012 г.

Концентрация *Mn* в 2009 г. изменялась от 200 мг/кг (ст. № 5) до 1200 мг/кг (ст. № 2). Превышение над региональным фоном для *Mn* (117,7 мг/кг) отмечено во всех точках водной акватории водохранилища. Кларковое содержание в донных отложениях (850 мг/кг) было превышено в двух точках: ст. № 5 – в 1,4 раза, ст. № 6 – 1,2 раза. Превышения концентрации над ПДК (1500 мг/кг) не наблюдалось.

Пределы изменения *марганца* в 2012 г. были меньше, чем 2009 г. – 144,0 мг/кг (ст. № 4) – 558 мг/кг (ст. № 5), но концентрации также превышали региональный фон (117,7 мг/кг) во всех отобранных пробах. Превышения концентрации над ПДК (1500 мг/кг) и кларковым значением (850 мг/кг) не зафиксировано.

Загрязнения донных отложений водохранилища *полихлорированными бифенилами*, которые внесены в черный список ЕС, не выявлено. Содержание ШПХБ во всех исследованных пробах находится ниже предела чувствительности аналитического метода определения (<0,01 мкг/кг), т.е. ниже ПДК, которое составляет 0,060 мг/кг.

Бенз(а)пирен, который также внесен в черный список ЕС, в водных экосистемах почти 100 %-но находится в донных отложениях, не накапливаясь в водной массе. В осадках Нарвского водохранилища содержание бенз(а)пирена за время наблюдений изменялось от менее 0,005 мг/кг (предел чувствительности обнаружения) до 0,038 мг/кг (1,9 ПДК). Предельно-допустимая концентрация бенз(а)пирена равна 0,02 мг/кг. Превышение над ПДК было отмечено в 2009 г. на ст. № 6, у Ивангорода.

Загрязнения донных отложений медью, никелем, мышьяком, хромом, ртутью, ванадием и нефтепродуктами не обнаружено.

Методом получения аддитивной оценки загрязнения донных отложений является показатель суммарного загрязнения Саета - Z_c , классифицированный по степени опасности, который рассчитывается по формуле:

$$Z_c = \sum Kc_i - (n-1),$$

где $Kc = C_i/C_f$ – коэффициенты концентрации элементов, C_i – содержания элемента; C_f – фоновое содержание; n – число учитываемых аномальных элементов с $Kc > 2$.

Согласно расчетам, приоритетными загрязнителями Нарвского водохранилища. в 2009 г. были марганец и бенз(а)пирен, в 2012 г. – марганец и свинец (табл. 1-3). Поскольку бенз(а)пирен включен в черный список ЕС и является канцерогенным элементом, его содержание в донных отложениях является недопустимым.

Таблица 1

Оценка степени загрязнения Нарвского водохранилища свинцом, лето 2012 г.

№ станции	Концентрация, мг/кг		Коэффициент концентрации, (фон-19,1 мг/кг)		Превышение над кларком почв мира-10 мг/кг		Превышение над ПДК (ОДК)-32 мг/кг	
	29.06	26.08	29.06	26.08	29.06	26.08	29.06	26.08
2	17	40	0,89	2,10	1,7**	4,0	0,53	1,25
4	12	30	0,63	1,58	1,2	3,0	0,38	0,94
5	42	44	2,2*	2,32	4,2	4,4	1,31***	1,38
7	26	24	1,37	1,26	2,6	2,4	0,50	0,75
8	37	26	1,95	1,37	3,7	3,7	1,15	0,50

* – превышение над фоном; ** – превышение над кларком почв; *** – превышение над ПДК.

Повышенные концентрации этих веществ в отложениях водохранилища вызваны многолетними сбросами неочищенных шахтных вод предприятий сланцевой промышленности России и Эстонии в реки Плюсса и Нарва и увеличивающейся техногенной нагрузкой от автотранспорта на водосборах этих рек.

Таблица 2

Оценка степени загрязнения Нарвского водохранилища марганцем, лето 2012

№ станции	Концентрация, мг/кг	Коэффициент концентрации (фон-17,7 мг/кг)	Превышение над кларком почв мира-850 мг/кг		Превышение над ПДК (ОДК) 1500 мг/кг			
	29.06		26.08	29.06	26.08	29.06	26.08	
2	144	205	1,22*	1,74	0,17	0,24	0,10	0,14
4	357	321	3,03	2,73	0,42	0,38	0,24	0,21
5	558	377	4,74	3,20	0,66	0,44	0,37	0,25
7	405	476	3,44	4,04	0,48	0,56	0,27	0,32
8	368	346	3,13	2,94	0,43	0,41	0,25	0,23

* – превышение над фоном.

Таблица 3

Расчет Z_c для проб донных отложений с выявленной аномалией хотя бы одного из элементов с $K_c > 2$

29.06.12 № станции	Z_c	26.08.12 № станции	Z_c
2	-	2	2,10
4	3,03	4	2,73
5	5,94	5	4,52
7	3,44	6	2,94
8	3,13	7	4,04

Содержание цинка, ртути, меди, ванадия, никеля, хрома, мышьяка и других тяжелых металлов в донных отложениях всех станций было ниже существующих фоновых концентраций, кларков и ПДК.

© Еремеева А.О., Бобровицкая Н.Н., 2019

**ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ КАК ИСТОЧНИК ВТОРИЧНОГО
ЗАГРЯЗНЕНИЯ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

Чекмарева Е.А., Григорьева И.Л.

Иваньковская НИС – филиал Института водных проблем РАН, г. Конаково
E-mail: s_taya@list.ru

Аннотация. Осадконакопление в водохранилищах связано с особенностями их водообмена. Высокие концентрации загрязняющих веществ наблюдаются в донных отложениях органического происхождения. Площади водохранилища, покрытые илами и заиленными песками, могут быть возможными зонами загрязнения донных отложений. Железо общее является загрязняющим веществом природного происхождения, характерным для Иваньковского водохранилища.

Ключевые слова: донные отложения, водные объекты, вторичное загрязнение, Иваньковское водохранилище, тяжелые металлы.

**BOTTOM SEDIMENTS AS A SOURCE OF SECONDARY
CONTAMINATION OF THE IVANKOVO RESERVOIR**

Chekmareva E.A., Grigoryeva I.L.

Ivankovskaya Research Station, Institute of Water Problems of the Russian Academy
of Sciences, Konakovo

Abstract. Sedimentation in reservoirs is associated with the peculiarities of their water exchange. High concentrations of pollutants are observed in bottom sediments of organic origin. The reservoir areas covered with silt and silted sand may be possible areas of bottom sediments contamination. Iron is a pollutant of natural origin, characteristic for the Ivankovo reservoir.

Keywords: bottom sediments, water bodies, secondary pollution, Ivankovo reservoir, heavy metals.

Донные отложения – это многокомпонентные природные объекты, отражающие в своей структуре и свойствах все разнообразие гидрофизических и биогеохимических процессов, непосредственно влияющих на функционирование пресноводных экосистем [1].

Поток взвешенных веществ поступает в водохранилища с поверхностным и речным стоками, при абразии берегов, отмирании живых организмов, взмучивании донных отложений. Так, для водохранилищ Верхней Волги, абразионные процессы составляют от 70 до 83 %, а сток речных наносов – от 14 до 25 % приходной части седиментационного баланса для Иваньковского и Рыбинского водохранилищ. В Угличском водохранилище абразионные процессы и сток речных наносов практически равноценны и находятся в соотношении 55 и 42 %. На продукцию фитопланктона и макрофитов приходится 3-5 % взвешенного вещества [2].

В составе донных отложений присутствует грубо- и мелкодисперстный материал (обломки горных пород, пески и глины, почвы) и органические отложения (илы, отложения из макрофитов). В основном, донные отложения водохранилищ Верхней Волги (Иваньковское, Угличское и Рыбинское) представлены песчаными отложениями (50-55 %), в меньшей степени – илами (25-40 %) и трансформированными грунтами (10-20 %) [2]. В результате процессов сорбции на взвешенных частицах из воды извлекаются химические элементы, благодаря седиментации происходит накопление этих элементов в осадках на дне водоема.

Осаждению химических элементов способствуют изменения окислительно-восстановительных и щелочно-кислотных условий водной среды, наличие физико-химического барьера. Процесс накопления химических элементов растительными и животными организмами можно отнести к биогеохимическому барьеру [3]. Органическое вещество переходит в донные осадки в результате процесса деструкции.

Специфика формирования донных отложений в водохранилищах связана с особенностями водообмена в водохранилищах, толщина осадков в водохранилищах невелика, как и средние глубины. В водохранилищах Верхней Волги (Иваньковском, Угличском, Рыбинском) при средней толщине отложений 9,8-11,6 см и средних глубинах 3,4-5,6 м накапливается 0,024 и 0,032 км² донных отложений в Угличском и Иваньковском водохранилищах и 0,526 км² – в Рыбинском водохранилище [2]. Следовательно, возможность вторичного загрязнения в результате взмучивания донных отложений возрастает, что может привести к ухудшению качества воды.

Донные отложения, обычно являющиеся депонирующей средой для токсичных микроэлементов, при изменении физико-химических условий в водоеме могут стать источником их вторичного поступления сначала в поровые воды, а затем и в поверхностные [4].

Приоритетными для наблюдений в донных отложениях являются ртуть, мышьяк, медь, цинк, кадмий, свинец, хром [5].

С целью оценки качества воды и донных отложений на границе «вода - донные отложения» на Иваньковском водохранилище в 2016 и 2017 гг. проводили исследования. Пробы воды отбирали, согласно ГОСТ [6], с поверхности водоема и у дна; пробы донных отложений были смешанными, отбирались, согласно ГОСТ [7]. Анализ проб проведен в химической лаборатории ИВНИС - филиала ИВП РАН по аттестованным методикам (аттестат аккредитации RA.RU.21АН36 от 21.11.2016 г.).

Анализ данных химического анализа проводили с использованием коэффициента донной аккумуляции (КДА) (табл. 1) [8]

$$КДА = C_{до} / C_{вода}, \quad (1)$$

где $C_{до}$ – концентрация загрязняющего вещества в донных отложениях, мг/кг;

$C_{вода}$ – концентрация этого вещества в воде, отобранной одновременно в этом же створе, мг/дм³.

Таблица 1

**Коэффициенты донной аккумуляции (КДА).
Иваньковское водохранилище, 2016-2017 гг.**

№ п/п	Место отбора	Fe _{общ.}	Cu	Pb	Zn	Cr
1.	Федоровский залив	2.1*10 ⁵	5*10	7.0	7.9*10	2.4*10
4.	Перетрусовский залив	5.7*10 ⁴	5.5*10	1.9*10 ²	9.0*10	5.1*10
5.	Омутнинский залив	1.8*10 ⁵	5.9*10	2.4*10	1.0*10 ²	9.6*10
6.	Домкинский залив	1.3*10 ⁵	6.9*10	2.7*10	6.5*10	4.8*10 ²
7.	Мошковичский залив	3.6*10 ⁴	3.4*10	4.1*10	2.9*10	8.9*10
8.	Новосельский залив	1.5*10 ⁵	8.3*10	1.8*10	4.5*10	6.9*10 ²
9.	Коровинский залив	9.4*10 ³	1.7*10	2.5*10	3.5*10	2.5*10
10.	о. Низовка	4.4*10 ⁴	1.0*10	-	3.8	-
11.	г. Конаково	1.0*10 ⁵	-	-	-	-
12.	д. Свердлово	5.6*10 ⁴	2.7*10	-	1.9	-
13.	д. Плоски	6.9*10 ⁴	6.1*10	-	1.0*10	-

Продолжение таблицы 1

№ п/п	Место отбора	Fe _{общ.}	Cu	Pb	Zn	Cr
14.	уст. р. Донховка	6.9*10 ⁴	6.1*10	-	3.6*10	-
15.	«Дунькина Гора»	6.8*10 ⁴	6.9	-	8.0	-
16.	уст. р. Терехова	4.5*10 ⁴	2.5*10	-	8.4	-
17.	о. Низовка	4.4*10 ⁴	-	-	-	-
18.	г. Конаково (ЛЭП)	1.0*10 ⁵	-	-	-	-
19.	д. Заборье	6.3*10 ⁴	2.8*10	-	1.1*10	-
20.	Шошинский плес	8.8*10 ⁴	3.9*10	-	0.6	-

Наиболее высокие значения коэффициента донной аккумуляции наблюдаются у железа общего ($9.4 \cdot 10^3$ - $2.1 \cdot 10^5$). Железо общее является загрязняющим веществом природного происхождения, характерным для данного региона, в связи с высокой заболоченностью водосборной территории Иваньковского водохранилища.

В донных отложениях идёт накопление железа, свинца, кобальта на всех плёсах Иваньковского водохранилища в формах, связанных с взвешенным веществом, детритом, сорбированных поверхностным слоем донных отложений. Такие элементы, как цинк, медь, хром, никель, кадмий преимущественно выносятся из донных отложений в водную массу в виде растворённых соединений [12].

Интенсивность аномалии элемента в донных отложениях зоны загрязнения относительно его фонового содержания рассчитывали с использованием коэффициента концентрации химического элемента K_c (2) и записывали формулу геохимической ассоциации, характеризующую качественный состав и структуру возможной геохимической аномалии [9].

$$K_c = C_i / C_{\phi}$$

где C_i – средняя концентрация i -го элемента в исследуемом объекте, мг/кг;

C_{ϕ} – фоновая концентрация этого элемента, мг/кг

В геохимическую ассоциацию включаются элементы со значением $K_c \geq 1,5$ (где концентрация элемента в 1,5 раза превышает фон), табл. 2.

Отмечено, что в Иваньковском водохранилище накопление железа происходит преимущественно в заливах, а цинка – в русле и устьях рек, в условиях высокой техногенной нагрузки. В основном, накопление загрязняющих веществ происходит в илах и заиленных песках.

Таблица 2

**Формула геохимической ассоциации.
Иваньковское водохранилище, 2016-2017 гг.**

№	Место отбора	Формула геохимической ассоциации
1.	Федоровский залив	$Fe_{11.2} - Sr_{5.5} - Zn_{4.3} - Cu_{2.6}$
2.	Перетрусовский залив	$Fe_{8.5} - Pb_{7.3} - Cu_{3.5} - Zn_{3.1} - Sr_{3.1}$
3.	Омутнинский залив	$Fe_{11.3} - Zn_{4.3} - Cr_{3.9} - Sr_{3.7} - Cu_{3.3} - Pb_{2.0}$
4.	Домкинский залив	$Fe_{11.2} - Cr_{4.9} - Sr_{4.2} - Cu_{3.9} - Zn_{3.7} - Pb_{1.9}$
5.	Мошковичский залив	$Fe_{6.6} - Sr_{3.9} - Cu_{3.3} - Cr_{2.8} - Pb_{1.9} - Zn_{1.5}$
6.	Новосельский залив	$Fe_{9.4} - Sr_{3.9} - Cu_{3.7} - Cr_{3.6} - Zn_{1.9}$
7.	Коровинский залив	$Fe_{7.1} - Zn_{4.0} - Sr_{3.5} - Cr_{3.4} - Cu_{2.6}$
8.	д. Свердлово	$Cu_{8.6} - Fe_{6.5} - Zn_{3.4}$
9.	Плоски (русло)	$Zn_{9.9} - Fe_{7.5} - Cu_{3.8}$
10.	уст. р. Донховка	$Zn_{24.6} - (Fe-Cu)_{4.3}$
11.	«Дунькина Гора»	$Zn_{16.4} - Fe_{6.8} - Cu_{2.8}$
12.	уст. р. Терехова	$Zn_{7.6} - Cu_{4.2} - Fe_{3.8}$
13.	д. Заборье	$Zn_{9.4} - Fe_{4.9} - Cu_{2.7}$

В осадках, обогащенных органическим веществом, вклад форм, связанных с органикой, возрастает для железа, кобальта, свинца, меди, никеля и не меняется для марганца, цинка, кадмия, бария и стронция [13].

Накопление загрязняющих веществ в донных отложениях водохранилища часто связывают с органическим веществом, что позволяет выделить возможные зоны загрязнения водохранилища, в зависимости от типов отложений. Высокий уровень загрязнения характерен для устьев рек, вблизи населенных пунктов, промышленных и сельскохозяйственных зон. Загрязняющим донные отложения веществом природного происхождения для Иваньковского водохранилища является железо общее, техногенного – цинк и свинец.

Работа выполнена в рамках темы № 0147-2019-0002 (№ государственной регистрации АААА-А18-118022090104-8) Государственного задания ИВП РАН.

Список литературы

1. Законнов В.В. Осадкообразование в водохранилищах Волжского каскада // дисс. докт. геогр. наук. М., 2007. 379 с.
2. Экологические проблемы Верхней Волги: [коллективная монография]. Ярославль: изд-во ЯГТУ, 2001. 427 с.
3. Алексеенко В.А. Экологическая геохимия // учебник. М.: Логос. 2000. 627 с.
4. Липатникова О.А., Гричук Д.В., Григорьева И.Л., Хасанова А.И., Шестакова Т.В., Бычков А.Ю., Ильина С.М., Пухов В.В. Формы нахождения микроэлементов в донных отложениях Иваньковского водохранилища // журн. Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. М.: РАН, №1. 2014. С. 37-48.
5. Методические указания по осуществлению государственного мониторинга водных объектов в части организации и проведения наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях водных объектов. Бюл. нормат. актов федер. органов исполн. власти, № 39, 29.09.2014. 16 с.

6. ГОСТ 3161-2012 «Вода. Общие требования к отбору проб». М.: Стандартинформ, 2013. 32 с.
7. ГОСТ 17.1.5.01-80 «Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность». М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. 7 с.
8. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. М.: Минприроды РФ, 1992. 58 с.
9. МУ 2.1.7.730-99. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. Утв. 5.02.99 г. 1999. 19 с.,
10. Янин Е.П. Техногенные геохимические ассоциации в донных отложениях малых рек (состав, особенности, методы оценки). М.: ИМГРЭ. 2002. 52 с
11. Решетняк О.С., Закруткин В.Е. Донные отложения как источник вторичного загрязнения речных вод металлами // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки, 2016. № 4. С.102-109.
12. Дебольский В.К., Кочарян А.Г., Григорьева И.Л., Лебедева И.П., Толкачев Г.Ю. Проблемы формирования качества воды в поверхностных источниках водоснабжения и пути их решения на примере Ивановского водохранилища // журн. «Вода: химия и экология». М.: изд. дом «Вода: химия и экология», № 7 (13), 2009. С. 2-11.
13. Липатникова О.А., Гричук Д.В., Григорьева И.Л., Хасанова А.И., Шестакова Т.В., Бычков А.Ю., Ильина С.М., Пухов В.В. Формы нахождения микроэлементов в донных отложениях Ивановского водохранилища // журнал «Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология». М.: РАН, №1, 2014. С. 37-48.

© Чекмарева Е.А., Григорьева И.Л., 2019

ДИНАМИКА КАЧЕСТВА ВОДЫ КАМСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ*

**Решетняк О.С.^{1,2,3}, Джамалов Р.Г.¹, Сафронова Т.И.², Власов К.Г.²,
Решетняк В.Н.³, Мягкова К.Г.²**

¹Гидрохимический институт, г. Ростов-на-Дону

²Институт водных проблем Российской академии наук, г. Москва

³Институт наук о Земле Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону

E-mail: olgare1@mail.ru

**Работа выполнена в рамках темы № 0147-2019-0001 (№ гос. рег. АААА-А18-118022090056-0) государственного задания ИВП РАН и при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 17-17-01262).*

Аннотация. В статье рассмотрены факторы формирования химического состава и качества воды трех Камских водохранилищ: Камского, Воткинского и Нижнекамского. Представлены данные по изменению качества воды (по значениям удельного комбинаторного индекса загрязнения – УКИЗВ) в 2008-2016 гг. Выявлена тенденция незначительного роста значений УКИЗВ, пока не переводящая качество воды водохранилищ в другой класс. Сохранение данной тенденции может привести к ухудшению качества воды Камских водохранилищ.

Ключевые слова: Камские водохранилища, качество воды, удельный комбинаторный индекс загрязнения воды, временная динамика качества воды.

DYNAMICS OF WATER QUALITY OF KAMA RESERVOIRS

*Reshetnyak O.S.^{1,2,3}, Jamalov R.G.¹, Safronov T.I.², Vlasov K.G.²,
Reshetnyak V.N.³, Myagkova K.G.²*

¹Hydrochemical Institute, Rostov-on-Don

²Institute of Water Problems (Russian Academy of Sciences), Moscow

³Institute of Earth Sciences (Southern Federal University), Rostov-on-Don

E-mail: olgare1@mail.ru

Abstract. The article considers the factors of the chemical composition formation and water quality of three Kama water reservoirs: Kama, Votkinsk and Nizhnekamsk. Data on the change in water quality between 2008 and 2016 according to the values of the specific combinatorial index of water pollution (SCIWP) are presented. The tendency of minor growth of SCIWP values is revealed, while the water quality of reservoirs is not turned to another class. Preservation of this tendency can result in declining of the Kama reservoirs water quality.

Keywords: Kama reservoirs, water quality, specific combinatorial index of water pollution (SCIWP), temporal dynamics of water quality.

Введение

Крупные водохранилища России существенно влияют на гидрологический режим рек и водные ресурсы на водосборах. При этом они являются основополагающими природно-техногенными элементами гидротехнических и водохозяйственных систем различного уровня. Основная задача эксплуатации водохранилищ заключается в возможности регулировать водные ресурсы рек и озер в необходимом для устойчивого развития экономики и населения объеме.

Наибольший объем пресной воды (47,9 %) сосредоточен в крупнейших водохранилищах Сибири, 14,9 % и 14,4 %, соответственно – в водохранилищах Дальневосточного и Приволжского федеральных округов. Из 70 крупнейших водохранилищ России, находящихся в федеральной собственности, основная доля водных ресурсов этих водохранилищ (60 % полного объема) сосредоточена в бассейнах Волги и Ангары. При этом наибольшее количество федеральных водохранилищ (31) находится в бассейне Волги, их полный объем составляет 22 %, полезный 28 %, а площадь зеркала – 47 % от суммарных показателей для водохранилищ федерального списка [1].

Развитие гидротехнического строительства в РФ (строительство крупнейших водохранилищ и каскадов ГЭС) привело к серьезным изменениям естественного гидрологического режима большинства речных систем, ранее сложившихся под влиянием природно-климатических факторов. Проблемы управления поверхностным стоком рек решаются при помощи создания и эксплуатации водохранилищ многолетнего, сезонного, недельного и суточного

регулирования, обеспечивающих перераспределение водных ресурсов во времени [1].

Функционирование водохранилищ не только влияет на гидрологический режим реки, но и меняет многолетние и сезонные закономерности гидрохимических процессов. Это, в свою очередь, оказывает влияние на качество воды водохранилищ, которые являются своеобразными «отстойниками» речных вод.

Волжско-Камский бассейн является одним из важнейших эколого-экономических регионов России, в пределах которого сформирована высокая плотность промышленных производств и населения (то есть, высокая техногенная и демографическая нагрузки). Водохранилища Камского каскада испытывают сильное антропогенное воздействие. В таком контексте цель настоящего исследования по оценке динамики качества воды Камских водохранилищ приобретает особую актуальность.

Материалы и объекты исследования

В качестве объектов исследования выбраны крупные водохранилища в бассейне р. Кама: Камское, Воткинское и Нижнекамское. Площадь этих трёх водохранилищ составляет более 90 % площади всех искусственных водоемов Камского бассейна.

Исследование проведено на основе многолетней (2008-2016 гг.) гидрохимической информации Государственной сети наблюдений Росгидромета в 6 створах (в 4-х пунктах контроля) Камского, 6 створах (4-х пунктах) – Воткинского и 5 створах (4-х пунктах) Нижнекамского водохранилищ.

Камское водохранилище имеет полный объем 12 205 млн.м³, полезный – 9 235 млн. м³, площадь зеркала 1 915 км². Основные виды использования: энергетика, водоснабжение, водный транспорт и орошение. Камское – водохранилище сезонного регулирования [1, 2].

Воткинское водохранилище сезонного регулирования имеет полный объем 9 360 млн.м³, полезный – 3 700 млн. м³, площадь зеркала 1 120 км². Основные виды использования: энергетика, водоснабжение, водный транспорт и орошение [1, 2].

Нижнекамское водохранилище имеет полный объем 2 900 млн.м³, полезный – 0,77 млн. м³, площадь зеркала 1 000 км². Основные виды использования Нижнекамского водохранилища: энергетика, водоснабжение, водный транспорт, рыбное хозяйство и рекреация. Это водохранилище также сезонного регулирования [1, 2].

Результаты и обсуждение

Разнообразие форм рельефа, особенности геологической истории и литологического строения бассейна р. Кама обусловили сложный рисунок речной сети в бассейне, наличие резких изменений в направлении течения рек. Почвенный покров территории бассейна разнообразен: преобладают подзолистые, глеево- и дерново-подзолистые почвы, распространены чернозёмы, серые, горно-лесные, серые лесные почвы, встречаются также горно-таежные подзолистые почвы [3].

Бассейн р. Кама расположен в зоне избыточного увлажнения и отличается высокой водоносностью. Реки бассейна относятся к типу рек с чётко выраженным весенним половодьем и устойчивой зимней меженью. Летняя и осенняя межени бывают неустойчивы и прерываются иногда летне-осенними дождевыми паводками.

В бассейне р. Кама сосредоточена большая часть карстовых массивов Предуралья, которые оказывают существенное влияние на формирование основного химического состава воды отдельных водных объектов. Для рек, водосборы которых сложены карстующимися и трещиноватыми породами, характерен повышенный подземный приток. На водосборах отмечается частая смена карстующихся (карбонатных, сульфатных, галогенных) и некарстующихся пород [3, 4].

Значительная водосборная площадь бассейна р. Кама, разнообразие природных особенностей, формирующих химический состав поверхностных вод на его территории, определяют наличие существенных отличий основного химического состава ряда водных объектов от преобладающих в бассейне гидрокарбонатно-кальциевых вод малой либо средней минерализацией как в периоды наибольшей, так и минимальной водности. В 2017 г. минерализация поверхностных вод бассейна р. Кама, в целом, варьировала в широком диапазоне от 19,6 мг/л до 2639 мг/л [5].

Комплексная оценка качества воды показала, что в большинстве створов наблюдений по акватории Камских водохранилищ водная среда оценивалась как «загрязненная» (3 «А») и «очень загрязненная» (3 «Б») и соответствовала 3-му классу качества (табл. 2). Только в отдельные годы класс качества достигал 4-го класса (4 «А» – градации «грязная») в некоторых створах, что в целом характерно и для всего бассейна р. Кама [5].

Таблица 2

Временная динамика качества воды Камских водохранилищ

Пункт наблюдений	Показатель	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Камское водохранилище										
г. Соликамск	УКИЗВ	2,72	3,00	2,34	2,84	2,59	2,80	2,90	3,61	2,89
	Класс	ЗБ	ЗБ	3А	3А	3А	3А	ЗБ	ЗБ	ЗБ
г. Березники (выше города)	УКИЗВ	2,55	3,05	2,54	2,44	3,06	2,51	3,04	3,56	2,60
	Класс	3А	ЗБ	3А	3А	ЗБ	3А	ЗБ	ЗБ	3А
г. Березники (ниже города)	УКИЗВ	2,76	3,11	3,30	3,17	3,36	3,29	3,52	3,57	3,11
	Класс	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ
г. Добрянка	УКИЗВ	3,28	2,94	2,86	3,21	3,39	3,54	2,80	2,85	3,13
	Класс	ЗБ	3А	3А	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	3А	ЗБ
г. Пермь (выше города)	УКИЗВ	3,03	3,02	3,12	2,87	3,03	2,77	3,51	3,29	3,30
	Класс	ЗБ	ЗБ	ЗБ	3А	ЗБ	3А	ЗБ	ЗБ	ЗБ
г. Пермь (в черте города)	УКИЗВ	2,78	3,14	2,61	3,18	3,62	3,16	3,11	3,26	3,47
	Класс	ЗБ	ЗБ	3А	ЗБ	4А	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ
Воткинское водохранилище										
г. Пермь, ниже плотины Камской ГЭС	УКИЗВ	2,99	2,55	2,73	2,76	3,02	2,87	2,71	3,27	3,58
	Класс	3А	3А	3А	3А	ЗБ	3А	3А	ЗБ	ЗБ
г. Пермь (ниже города)	УКИЗВ	3,17	3,05	2,70	3,37	3,19	3,47	3,32	3,80	3,21
	Класс	ЗБ	ЗБ	3А	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ
г. Краснокамск (выше города)	УКИЗВ	3,10	2,70	2,50	3,72	3,23	3,42	3,52	3,03	3,13
	Класс	ЗБ	3А	3А	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ
г. Краснокамск (ниже города)	УКИЗВ	3,37	2,68	3,05	3,26	3,22	3,43	3,69	3,55	3,25
	Класс	ЗБ	3А	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ
г. Оханск	УКИЗВ	3,07	2,71	2,72	3,35	3,51	3,10	3,28	3,53	2,78
	Класс	ЗБ	3А	3А	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	3А
г. Чайковский	УКИЗВ	2,97	3,04	2,97	3,19	3,15	3,41	3,46	3,67	3,47
	Класс	3А	ЗБ	3А	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ
Нижнекамское водохранилище										
д. Андреевка	УКИЗВ	3,86	3,60	4,45	3,87	3,99	4,40	4,49	4,17	5,08
	Класс	ЗБ	ЗБ	4А	ЗБ	ЗБ	4А	4А	4А	4А
г. Сарапул (выше города)	УКИЗВ	3,33	3,98	2,97	3,23	3,16	3,61	3,80	3,55	3,84
	Класс	ЗБ	ЗБ	3А	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ
г. Сарапул (ниже города)	УКИЗВ	3,90	3,93	3,26	3,29	3,73	3,97	3,97	3,49	3,83
	Класс	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ
с. Каракулино	УКИЗВ	3,70	3,60	3,13	3,56	3,97	3,84	3,55	3,73	3,15
	Класс	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ
с. Красный Бор	УКИЗВ	4,02	4,34	3,81	3,84	3,64	3,60	2,86	3,65	3,01
	Класс	4А	4А	ЗБ	ЗБ	ЗБ	ЗБ	3А	ЗБ	ЗБ

Временная динамика качества воды исследуемых участков Камского каскада водохранилищ рассмотрена по верхним и нижним створам. Для Камского и Воткинского водохранилищ в обоих створах выявлена тенденция увеличения значений УКИЗВ, что указывает на незначительное ухудшение качества воды во времени. При сохранении данного тренда может произойти дальнейшее ухудшение качества воды на данных участках водохранилищ и переход к 4-му классу качества воды («грязная») (рис. 1 и 2).

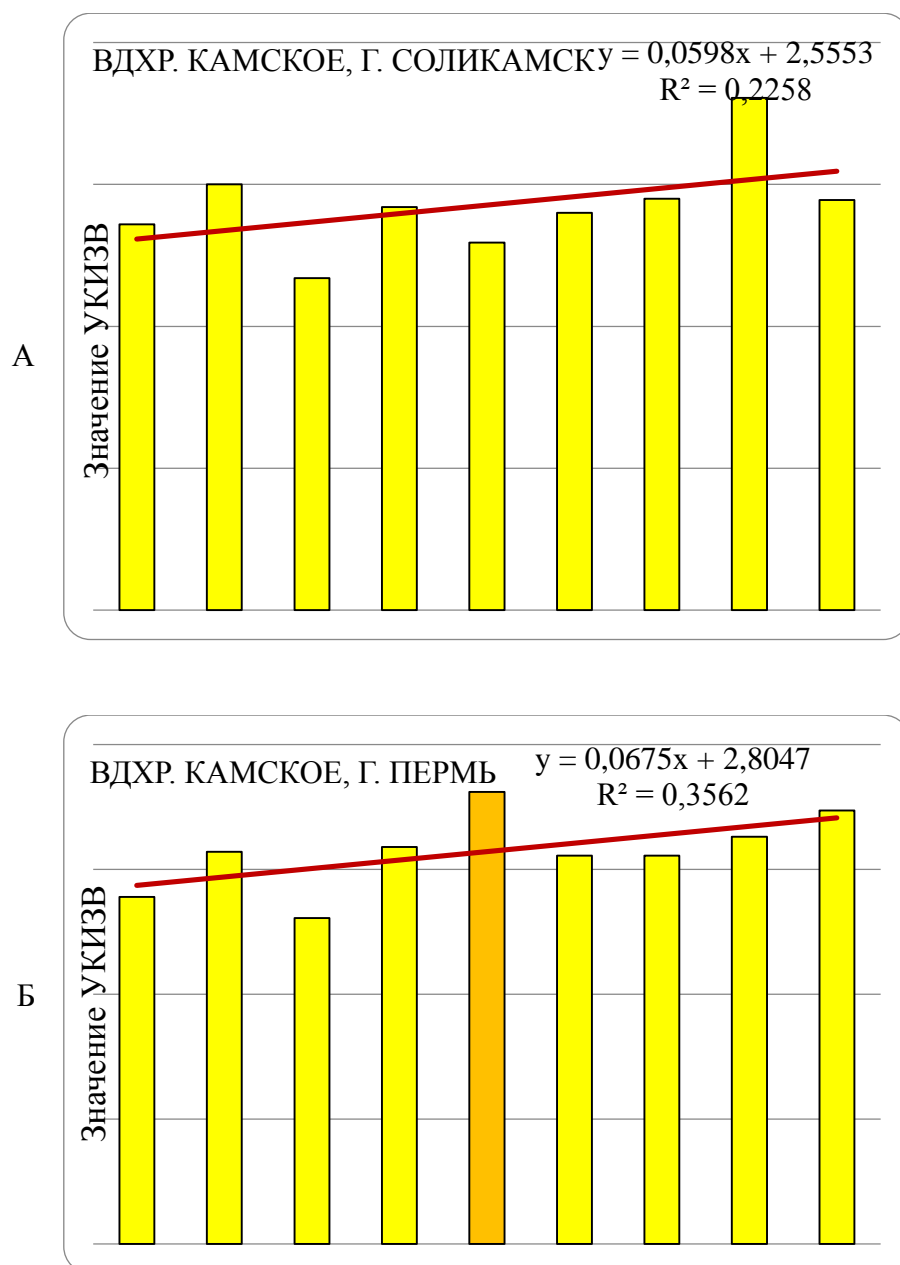


Рис. 1. Тенденции изменчивости качества воды (по УКИЗВ) в верхнем (А) и нижнем (Б) створах Камского водохранилища

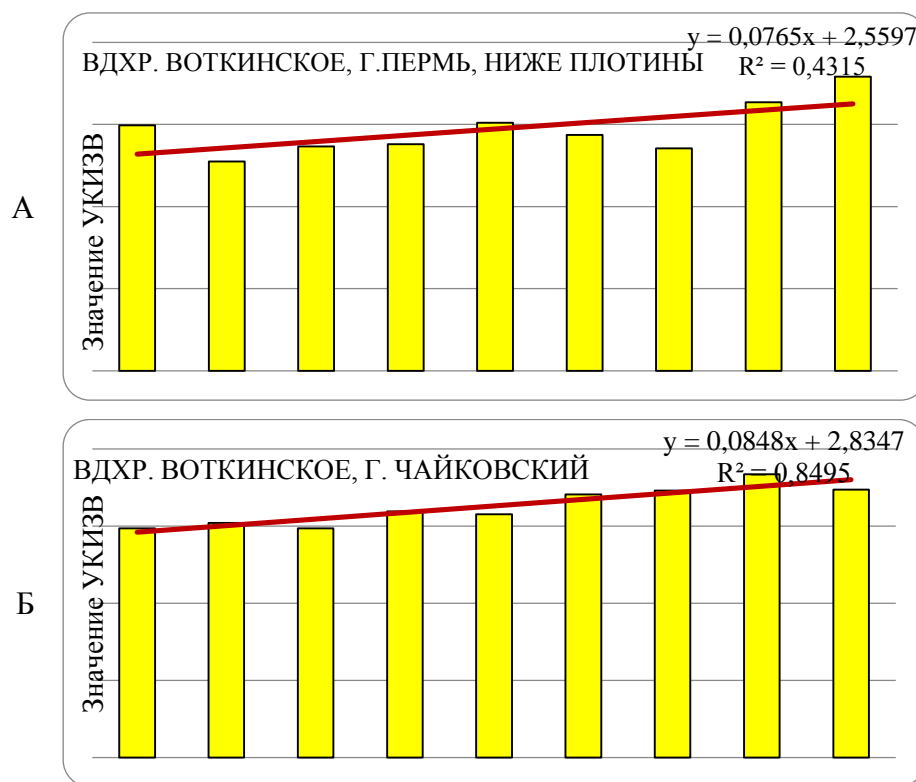


Рис. 2. Тенденции изменчивости качества воды (по УКИЗВ) в верхнем (А) и нижнем (Б) створах Воткинского водохранилища

Для Нижнекамского водохранилища, напротив, выявлены разнонаправленные тенденции изменения качества воды в верхнем (д. Андреевка) и нижнем (с. Красный Бор) створах (рис. 3). Причем, если в районе д. Андреевка отмечается значимый тренд ($R^2=0,54$) возрастания значений УКИЗВ (ухудшения качества воды за счет влияния выше лежащих источников загрязнения и верхних водохранилищ каскада), то в нижней части – выявлен еще более значимый тренд ($R^2=0,66$) снижения значений УКИЗВ и, соответственно, улучшения качества воды.

Комплексная оценка качества воды за 2017 г. [5] показала, что в большинстве створов наблюдений (68 % створов) вода р. Кама и её водохранилищ оценивалась как «очень загрязненная» (3 «Б»). При этом несколько снизилась (до 16 %) доля створов, вода в которых в 2017 г. характеризовалась как «загрязненная» (3 «А») и одновременно возросло до 16 % количество створов, в которых речная вода соответствовала 4-му классу качества (4 «А», «грязная»).

По данным за 2017 г., к характерным загрязняющим веществам в воде Камских водохранилищ, как и в предыдущие годы, относились соединения марганца, железа, меди, органические вещества (по ХПК). В отдельных створах фиксировались превышения ПДК по аммонийному азоту, фенолам, нефтепродуктам, соединениям цинка [5].

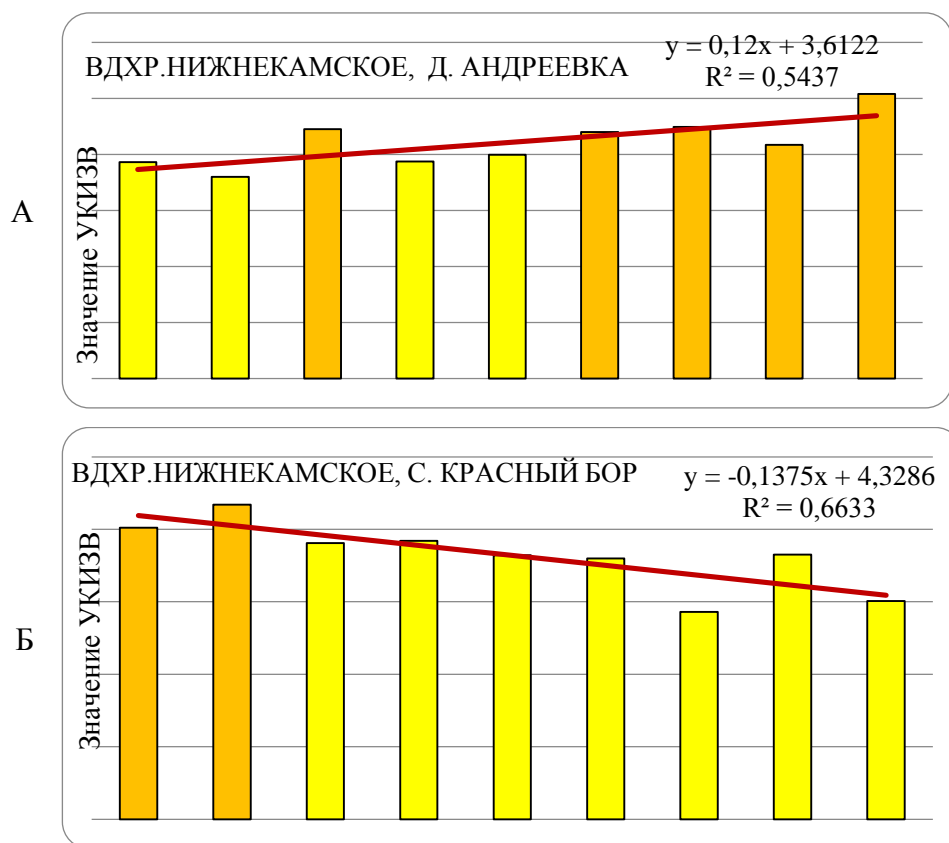


Рис. 3. Тенденции изменчивости качества воды (по УКИЗВ) в верхнем (А) и нижнем (Б) створах Нижнекамского водохранилища

Многие годы для Камских водохранилищ остаётся характерной загрязненность воды соединениями металлов, обусловленная как природными, так и антропогенными факторами формирования химического состава и качества воды.

Заключение

Результаты комплексной оценки качества воды крупнейших Камских водохранилищ показали, что вода на различных участках характеризуется 3-им классом качества («загрязненная» или «очень загрязненная»). При такой стабилизации качества воды на уровне 3-го класса в период с 2008 по 2016 гг. проявляется тенденция незначительного ухудшения качества (по временной динамике значений УКИЗВ). Сохранение данной тенденции может привести к ухудшению качества воды Камских водохранилищ.

Список литературы

1. Водные ресурсы России и их использование / Под ред. И.А. Шикломанова. СПб.: Гос. гидролог. ин-т, 2008. 600 с.
2. Вода России. Водоохранилища / Под научн. ред. А.М.Черняева; ФГУП РосНИИВХ. Екатеринбург: Изд-во «АКВА-ПРЕСС», 2001. 700 с.
3. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 11. Средний Урал и Приуралье / Под ред. Алюшинской М.Н. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 848 с.

4. Лушников Е.А. О влиянии состава пород и карстовых явлений на денудацию рек Урала / Гидрогеология и карстоведение, 1966. Вып.3. С.15-26.
5. Качество поверхностных вод Российской Федерации в 2017 г. / Под ред. М.М. Трофимчука // Ростов-на-Дону: ФГБУ «ГХИ», 2018. 555 с.
6. Гордиенко А.С., Решетняк О.С. Многолетняя изменчивость качества воды в бассейне реки Кама // Актуальные проблемы наук о Земле. Сб. тр. II науч. конф. студ-в и молодых ученых с междунар. участием, Ростов-на-Дону: Южный федер. ун-т, 2016. С. 313 -315.

© Решетняк О.С., Джамалов Р.Г., Сафронова Т.И., Власов К.Г.,
Решетняк В.Н., Мягкова К.Г., 2019

ОЦЕНКА МНОГОЛЕТНЕЙ ДИНАМИКИ КАЧЕСТВА ВОД ДЕЛЬТЫ Р. ВОЛГА

Волкова З.В., Бреховских В.Ф.

Институт водных проблем РАН, г. Москва

E-mail: zinaL@bk.ru

Аннотация. Приведена многолетняя динамика приоритетных показателей качества вод на Нижней Волге, рассмотрены особенности динамики качества вод в рукавах дельты и русловой части, а также роль водности в формировании показателей качества вод.

Ключевые слова: гидрохимические показатели, качество вод, водность.

EVALUATION OF LONG - TERM DYNAMICS IN THE WATER QUALITY CHARACTERISTICS OF THE VOLGA RIVER DELTA

Volkova Z.V., Brekhovskikh V.F.

Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow

E-mail: zinaL@bk.ru

Abstract. Dynamics of priority characteristics of water quality in the Lower Volga river for many years is given, the dynamics features of water quality in the delta arms and in the channel part as well as the role of water quality characteristics are considered.

Keywords: hadrochemical characteristics, water quality, water content.

Изучение многолетних изменений показателей качества вод нижнего участка р. Волга с целью выявления временных тенденций и определяющих их факторов имеет важное практическое значение для развития экономики в регионе и оценки экологического состояния уникального водного объекта. Волжский бассейн испытывает высокую антропогенную нагрузку, связанную с заселенностью территории и развитием промышленного и аграрного произ-

водства. Степень загрязненности воды реки в целом устойчиво сохраняется на уровне прошлых лет, не смотря на снижение контролируемой массы поступающих загрязненных веществ, улучшения качества воды в целом не наблюдается. Это вызвано, с одной стороны, воздействием неконтролируемых (рассредоточенных) источников загрязнения, а с другой стороны, источников вторичных (накопленных) загрязнений, которые вносят большой вклад в поступление загрязняющих веществ в воды реки. Согласно данным о динамике удельного использования воды на хозяйственно-питьевые цели населения Астраханской и Волгоградской областей в период 2000-2015 гг., для района Нижней Волги отмечено значительное снижение водопотребления для Астраханской области с 249 до 129., а для Волгоградской – с 285 до 224 л/сут/чел. [1, 2].

Таблица 1

Динамика удельного водопотребления на хозяйственно-питьевые нужды населения в бассейне р. Волга (л/сут./чел.)

Субъект федерации	2000 г.	2005 г.	2010 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.
Астраханская обл.	249	208	148	113	121	129
Волгоградская обл.	285	243	280	227	231	224

Таблица 2

Удельный вес проб воды, не соответствующих санитарно-эпидемиологическим требованиям по санитарно-химическим и микробиологическим показателям в водоемах I (числитель) и II (знаменатель) категорий в бассейне Волги, %

Субъект федерации	2000 г.	2010 г.	2015 г.	2000 г.	2010 г.	2015 г.
	Санитарно-химические показатели			Микробиологические показатели		
Астраханская обл.	9,2/9,0	10,5/7,0	3,9/1,9	7,7/14,3	4,8/18,3	5,2/16,1
Волгоградская обл.	24/37,9	2,2/17,3	35,2/8,7	18,7/21,1	5,9/27,7	3,6/14,0

Между тем, суммарное количество проб, не соответствующих нормативным требованиям, остается высоким как для водоемов I, так и II категорий.

Для рассмотрения динамики качества вод на Нижней Волге проводилось обобщение многолетних данных мониторинговых и экспедиционных наблюдений за стоком и приоритетными загрязняющими веществами наиболее опасных для биоты: (тяжелые металлы Cu, Zn, Co, Ni, Pb, Cr_{общ} и др., нефтяные углеводороды НУ, БПК₅, фенолы) для вершины дельты (створ Верхнее Лебяжье) в период 1977-2014 гг., а также русловых станций и в рукавах дельты р. Волга (2001-2010 гг). Были обобщены данные по станциям с. Селитренное,

пос. Аксарайский, пос. Подчалык (р. Ахтуба)) и станциям на рукавах Кривая Болда, Камызяк, Бузан. Использование такого приема позволило сравнить многолетние изменения показателей качества вод в русловой части и в рукавах дельты.

Материалы и методы исследования

При обработке данных наблюдений применялся статистический подход, широко распространенный в гидрологии для анализа многолетних рядов стока. Оценка качества вод проводилась как на основе изучения изменений рассматриваемых гидрохимических показателей и объема стока, так и с применением общепринятых подходов к оценке качества вод, в том числе, с использованием интегральных индексов качества вод, комплексной экологической классификации поверхностных вод суши и кривых обеспеченностей для загрязняющих веществ. Поскольку ранее было показано наличие связи в содержании ряда ЗВ в воде и водностью реки, то при оценке качества вод учитывались условия разной водности.

Результаты и обсуждение

Характеристики межгодовой изменчивости показателей для русловой части Нижней Волги (ст. Верхнее Лебяжье (вершина дельты)) приведены в табл. 3.

Таблица 3

Характеристики межгодовой изменчивости стока и гидрохимических показателей в створе Верхнее Лебяжье в период 1977–2014 гг.

Характеристики	Сток, км ³ /год	Медь, мкг/л	Цинк, мкг/л	НУ, мг/л	БПК 5, мО ₂ /л	Фенолы, мкг/л
ПДК		1	10	0,05	2	1
Среднее	256	7,0	27,8	0,20	3,4	3,2
Станд. ошибка	6,4	0,5	2,9	0,03	0,1	0,2
Станд. отклонение	39,7	3,4	18,2	0,18	0,6	1,3
Минимум	178	1,8	3,8	0,02	2,2	1,0
Максимум	340	15,2	74,8	0,83	5,1	6,0
Счет	38	38	38	38	34	38
Коэффициент вариации	0,16	0,48	0,65	0,9	0,19	0,4
Коэфф. асимметрии	-0,16	0,95	0,83	1,6	0,44	0,36
Коэфф. эксцесса	-0,70	0,4	-0,07	2,85	0,5	-1,02

Как следует из табл. 3, наиболее высокая межгодовая изменчивость рассматриваемых показателей характерна для концентраций НУ и Zn (коэффициент вариации составляет, соответственно, 0,9 и 0,65), затем идут Cu и фенолы (0,48 и 0,4). Низкие величины коэффициента вариации имеют БПК5 (0,19) и объем стока (0,16). Превышения концентраций относительно ПДК меняются для рассматриваемых элементов от 2-3 (БПК5 и фенолы) до 4 (НУ)

и до 7 – для Cu. Наиболее высокие различия максимальных и минимальных значений показателей отмечены для HУ и Zn, что подтверждает их высокую неоднородность в рассматриваемый период.

Для вершины дельты были построены кривые обеспеченности гидрохимических показателей с целью определения различий в показателях для многоводных и маловодных условий (табл. 4).

Таблица 4

Значения показателей различной обеспеченности с теоретической кривой для многоводных и маловодных условий на Нижней Волге, в створе Верхнее Лебяжье

Обеспеченность, %	5	25	50	75	95	5	25	50	75	95
Показатели	Многоводные годы					Маловодные годы				
Zn, мкг/л	74,3	46,3	31,7	21	11,3	62,3	30,1	15,6	5,3	6,6
Cu, мкг/л	15,8	10,4	7,3	4,7	2,2	13	8,5	5,8	4,6	3,9
HУ, мг/л	0,6	0,32	0,18	0,08	0,02	0,7	0,29	0,12	0,03	0,1
БПК ₅ , мгО ₂ /л	-	3,9	3,3	2,8	2,2	4,4	3,8	3,4	3,0	2,5
Фенолы, мкг/л	6,25	4,45	3,4	2,5	1,5	5,35	3,6	2,6	1,8	1,0
W км ³ /год	338	305	285	270	255	257	243	229	210	176

Как видно из табл. 4, различия в концентрациях элементов 50 % обеспеченности, в зависимости от водности, в величинах ПДК составляют: для Cu – 7,3 раз (многоводные годы) – 5,8 раз (маловодные годы); для Zn (3,2 – 1,6); HУ (3,6 – 2,4); фенолов (3,4 – 2,6); БПК₅ (1,6 – 1,3 раза), соответственно. Таким образом, в многоводные периоды следует ожидать более высоких величин концентраций гидрохимических показателей по сравнению с маловодными. При этом различия для рассматриваемых элементов достаточно велики, (наиболее существенны они для Cu, HУ и Zn).

На основе использования кривых обеспеченности гидрохимических показателей, построенных для многоводных и маловодных лет, было определено число случаев превышения ПДК в различные по водности периоды. Наиболее значительные различия между многоводными и маловодными годами в числе случаев превышения ПДК характерны для концентраций цинка (1,6 раза) и HУ (1,3). Для фенолов и БПК₅ оно равно (1,1). Для меди превышение ПДК характерно для всех значений концентраций как в многоводные, так и в маловодные годы. Значения ПДК фенолов превышены для всех концентраций в многоводные годы, в маловодные – в 89 % случаев.

Рассмотрение изменения класса качества вод с использованием экологической классификации поверхностных вод суши (табл. 5) показало, что для вод Нижней Волги диапазон классов качества вод по различным элементам (для 50 % обеспеченности) составляет от 3«б» (слабо загрязненная) до 5«а» (весьма грязная).

Таблица 5

Изменение класса качества воды р. Волга в створе Верхнее Лебяжье для условий различной обеспеченности

Обеспеченность, %	10	25	50	75	90
Сток Волги, км ³	312	284	256	227	201
Медь, мкг/л	12,3	9,3	6,5	4,5	3,3
Класс качества вод	4б	4а	4а	3б	3б
Цинк, мкг/л	57	40	25	14	7
Класс качества вод	4б	4б	4а	4а	3б
НУ, мг/л	0,50	0,30	0,15	0,06	0,04
Класс качества вод	5а	5а	5а	4б	4а
БПК ₅ , мгО ₂ /л	4,2	3,8	3,4	2,9	2,6
Класс качества вод	4б	4а	4а	4а	4а
Взвешенные вещества, мг/л	42	31	21	14	9
Класс качества вод	4а	4а	3б	2б	2а
Фенолы, мкг/л	4,9	3,6	2,4	1,5	1,0
Класс качества вод	4б	4б	4б	4б	4б

Полученные данные свидетельствуют, что более стабилен класс качества вод по фенолам: сильно загрязненная (4«б») для всех величин обеспеченности, по показателю БПК₅ он сохраняется на уровне умеренно загрязненной (4«а»), за исключением 10 % обеспеченности (сильно загрязненная (4«б»). По меди и по цинку класс качества вод изменяется от слабо загрязненной (3«б») до умеренно загрязненной (4«а») и сильно загрязненной (4«б»). По НУ – от умеренно загрязненной (4«а») до весьма грязной (5«а»).

Анализ многолетних изменений концентраций гидрохимических показателей для рукавов Волги показал, что наиболее значительный диапазон их межгодовых колебаний отмечен для Hg, Zn, Cu, НУ. Так, максимальные и минимальные значения концентраций Hg различались в 9-11 раз, Zn – в 6 раз, Cu – в 5-6 раз, НУ – в 3 раза. Меньшие различия наблюдались для ХПК (в 2,5 раза), общего железа в (2,2-4,0 раза), БПК₅ в (1,8-2,4 раза). На всех станциях и водотоках отмечается падение концентраций ЗВ, что обусловлено рядом факторов, в том числе и уменьшением водности. Между тем для разных элементов изменения отличаются. В 2002 и 2005 гг. наблюдались высокие концентрации Cu в воде как на русловых станциях, так и в рукавах. Однако для Zn самые высокие концентрации были в 2002-2003 гг. на всех станциях, а в последующие годы они были низкими, такая же картина наблюдалась и для фенолов. А наибольшие концентрации железа отмечались в 2005-2009 гг. Таким образом, поведение среднегодовых концентраций элементов во времени достаточно разнообразно, разброс значений для рассматриваемых станций невелик и оставляет от 1,5 до 3 раз.

Гидрохимические показатели, характерные для рукавов дельты и русловых станций дельты Волги, различаются в связи с влиянием местных условий (рис. 1). На рис. 1 приведено сравнение суммы Me, мкг/л, полученной по 6 элементам (Cu, Zn, Co, Cr_{общ}, Ni, Pb) для рукавов дельты (а) и русловых станций (б) (период 2001-2010 гг.)

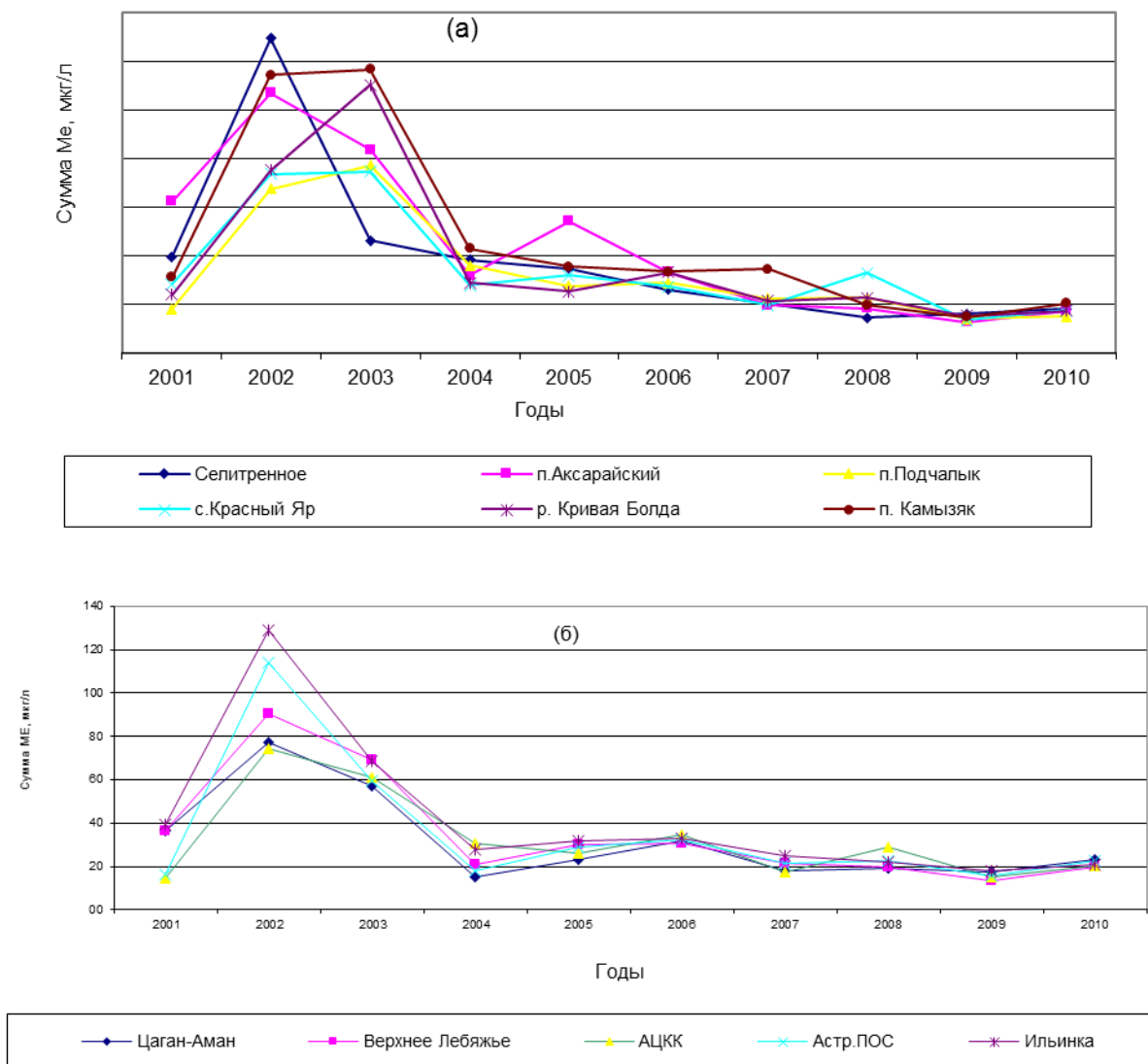


Рис. 1. Изменение суммы Me за 2001-2010гг. для рукавов дельты (а) и русловых станций (б) Нижней Волги

Как видно из рис. 1, русловые величины суммы Me имеют более низкие значения, чем обобщенные для рукавов дельты, к 2009-2010 гг. их величины сближаются. Это подтверждает и изменение класса качества воды по УКИЗВ (табл. 6).

Таблица 6

**Изменения комплексных показателей качества вод русла и рукавов
Нижней Волги, класс качества вод в период 2001–2010 гг.**

Водотоки		ПКЗВ, %	ИЗВ	КИЗВ	УКИЗВ	Класс качества воды по УКИЗВ
Р. Волга- русло	Среднее	48	3,0	66,0	4,4	3«б» очень загрязненная –4 «а» грязная
	Диапазон	35-61	2,2-4,3	46,2-77,0	3,7-5,4	
Рук. Ахтуба	Среднее	50	2,9	69,0	4,6	3«б» очень загрязненная –4 «а» грязная
	Диапазон	46-54	2,0-5,0	52,1-82,7	3,7-5,1	
Рук. Бузан	Среднее	54	2,8	70,5	4,7	3«а» загрязненная –4 «а» грязная
	Диапазон	-	2,1-3,7	51,0-77,0	3,4-5,1	
Рук.Кривая Болда	Среднее	53	2,8	67,5	4,5	3«а» загрязненная –4 «а» грязная
	Диапазон	-	2,1-3,4	54,2-77,3	3,3-5,0	
Рук. Кизань	Среднее	53	2,2	63,0	4,2	3«а» загрязненная –4 «а» грязная
	Диапазон	-	2,1-5,6	48,0-71,4	3,2-4,8	

Для показателей КИЗВ и УКИЗВ характерна небольшая пространственная неоднородность. Так, для русловой части Волги (с.Верхнее Лебяжье) диапазон изменения КИЗВ составил 46,2-77,0, а УКИЗВ 3,7-5,4, тогда как для станций на рук. Ахтуба среднегодовые величины КИЗВ изменялись от 52,1 до 82,7, соответственные величины УКИЗВ – от 3,7 до 5,1.

Для рукавов Бузан, Кривая Болда также, как и для водотоков Ахтубы отмечаются более высокие средние величины ПКЗВ, КИЗВ и УКИЗВ по сравнению с русловой станцией. Анализ комплексных показателей загрязнения вод Нижней Волги показал, что в многолетнем периоде как в русле, так и в рукавах дельты Волги отмечается достаточно устойчивое загрязнение водных масс приоритетными ЗВ (табл. 5). Класс качества вод по УКИЗВ менялся в рассматриваемый период от – 3 «а» загрязненная до – 4 «а» грязная.

Выводы

Показано, что в некоторых случаях существует связь концентраций ЗВ с объемом стока. Однако для одних веществ (например, цинка, меди, углеводов, взвешенных веществ) отмечаются заметные отличия между многоводными и маловодными периодами, а для других - такие различия невелики (БПК₅, фенолы).

С 2002-2003 г. отмечено снижение концентраций приоритетных загрязняющих веществ в водах Нижней Волги как в рукавах, так и в русловой части. Анализ комплексных показателей загрязнения вод Нижней Волги показал, что в период 2000-2010 гг. как в русле, так и в рукавах дельты Волги отмечается достаточно устойчивое загрязнение водных масс приоритетными ЗВ, класс качества вод менялся от – 3 «а» загрязненная до – 4 «а» грязная (рукава Бузан, Кривая Болда, Кизань) В русловой части Волги – от 3«б» очень загрязненная до 4 «а» грязная.

Анализ уровня загрязнения вод Нижней Волги с использованием кривых обеспеченности гидрохимических показателей в период 1977-2014 гг. для створа Верхнее Лебяжье позволил получить данные об особенностях формирования качества вод при различной водности Волги и выявить тенденции изменения содержания различных элементов для многоводных и маловодных лет, что имеет важное значение при прогнозной оценке водных ресурсов.

Работа выполнена в рамках темы № 0147-2019-0002 (№ государственной регистрации АААА18-118022090104 - 8) Государственного задания ИВП РАН.

Список литературы

1. Демин А.П. Сточные воды и качество воды в бассейне реки Волга (2000-2015 гг.) // Ученые записки. №48. Гидроэкология. С 55-71.
2. Демин А.П., Исмаилов Г.Х. Водопотребление и водоотведение в бассейне Волги // Водные ресурсы. 2003. Т.30. №3. С. 366-380.

© Волкова З.В., Бреховских В.Ф., 2019

АНАЛИЗ МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МОЖАЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПО РАСЧЕТАМ ЕГО КИСЛОРОДНОГО РЕЖИМА

Даценко Ю.С., Пуклаков В.В.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва
E-mail: yuri0548@yandex.ru

Аннотация. Анализируются результаты многолетних изменений концентраций растворенного кислорода в Можайском водохранилище за 55-летний период. Приведены типовые графики внутригодовых изменений индекса кислорода, рассчитанного как средневзвешенное по слоям водохранилища отклонение концентраций кислорода от равновесных. Установлены тенденции роста значений Индекса в многолетнем аспекте. индекс кислорода хорошо коррелирует с характеристикой объемов зон аноксии в гипolimнионе водохранилища.

Ключевые слова. Можайское водохранилище, кислородный режим, зоны аноксии, индекс кислорода, эвтрофирование.

ANALYSIS OF LONG-TERM CHANGES IN THE ECOLOGICAL STATE OF THE MOZHAISK RESERVOIR BY THE CALCULATIONS OF ITS OXYGEN REGIME

Datsenko Y.S., Puklakov V.V.

Lomonosov Moscow State University, Moscow

Abstract. The results of long-term changes in the concentrations of dissolved oxygen in the Mozhaisk reservoir over a 55-year period are analyzed. The typical graphs of intra-annual changes in the oxygen index, calculated as a weighted average over the layers of the reservoir

deviation of oxygen concentrations from the equilibrium, are shown. The tendencies of growth of Index values in the long-term aspect are established. The oxygen index correlates well with the characteristic volume of the zones of anoxia in the hypolimnion of the reservoir.

Keywords: Mozhaysk reservoir, oxygen regime, anoxia zones, oxygen index, eutrophication.

Режим растворенного кислорода в водоемах интегрально отражает особенности сложного круговорота биогенных и органических веществ, обусловленного комплексом продукционно-деструкционных и динамических процессов в экосистеме водоема. В водохранилищах с ярко выраженной плотностной стратификацией в летний период особенности внутриводоемных процессов зависят от вертикальной неоднородности физических (плотность, температура), химических (концентрации биогенных и органических веществ) и биологических (водные организмы) компонентов экосистемы. Процесс фотосинтеза протекает только в верхнем фотическом слое, деструкция органического вещества происходит во всей толще воды, при этом количество разлагаемого органического вещества прямо зависит от продуктивности водоема. В период летней и зимней стагнаций в таких водоемах наблюдается резко выраженная стратификация растворенного кислорода, как правило, с возникновением зон аноксии, к которым относятся водные массы с содержанием кислорода менее 1 мг/л.

Наиболее общие черты кислородного режима в водохранилище – образование и постепенное в течение лета заглубление термоклина и оксиклина, их относительно горизонтальное положение вдоль водоема и короткопериодные колебания градиентов, в целом, сохраняются от года к году. Однако колебания уровня водохранилищ и изменчивость синоптических ситуаций как в отдельные годы, так и в течение вегетационного периода вносят определенные изменения в режим кислорода.

Особенности и тенденции пространственно-временных изменений концентраций растворенного кислорода в многолетнем аспекте можно проанализировать на основе концентраций, полученных в результате моделирования. В настоящей работе использована математическая двумерная боксовая гидро-экологическая модель водохранилища ГМВ–МГУ. Расчетами по ней оцениваются среднесуточные значения физических, химических и биологических характеристик состава воды в отдельных плесах долинных водохранилищ сезонного и многолетнего регулирования речного стока при меняющихся погодных условиях и расходах воды притоков. Анализ применения модели ГМВ–МГУ для расчетов гидрологического режима различных водохранилищ Московского региона за отдельные годы показал вполне удовлетворительные

результаты при условии тщательной подготовки (проверки на репрезентативность и достоверность) необходимых для расчетов исходных данных [1].

Объект моделирования и анализа изменений кислородного режима – типичное долинное Можайское водохранилище, расположенное на западе Московской области и служащее источником водоснабжения г. Москвы. Для расчета многолетних изменений экологических характеристик водных масс водохранилища был сформирован файл исходных данных и проведены расчеты значений переменных с суточным разрешением за период с 1961 по 2015 гг. Для характеристики режима растворенного кислорода водохранилища рассчитывался индекс кислорода (ИК), представляющий собой средневзвешенные по слоям отклонения концентраций растворенного кислорода от равновесных значений [2].

$$ИК = \frac{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\sum_{j=1}^n |C_i - C^*|}{n} \right) \cdot \Delta V_i}{V},$$

где n – число станций измерения вертикального распределения кислорода; m – число вертикальных слоев водоема; C_i – измеренная концентрация кислорода, мг/л; C^* – концентрация насыщения, мг/л; ΔV_i – объем отдельного слоя; V – объем водоема.

Чем выше значения этого индекса, тем более напряженный характер носит режим кислорода и тем больше вероятность аноксии. Внутригодовые изменения ИК иллюстрируются графиком типовых изменений индекса, полученным обобщением среднемесячных значений ИК за 55-летний период (рис. 1). Изменения ИК характеризуются максимумом в зимний период, когда в результате процессов деструкции наблюдается недонасыщенность водных масс водохранилища по всей толще воды.

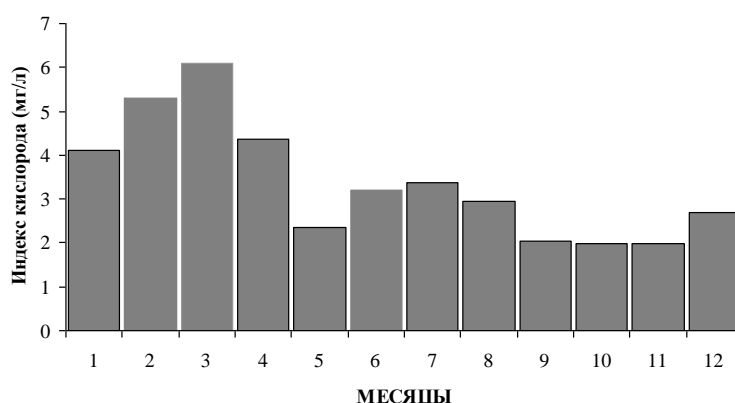


Рис. 1. Внутригодовые изменения Индекса кислорода в Можайском водохранилище

После минимальных значений ИК в период весеннего перемешивания значения индекса повышаются летом, когда в результате установления стратификации начинают возникать зоны аноксии в придонных слоях и, наконец, осенью водные массы водохранилища вновь насыщаются кислородом.

Величина ИК в значительной степени связана с интенсивностью развития фитопланктона в летний период. Прогрессирующее эвтрофирование Можайского водохранилища обусловило появление тенденций роста биомассы фитопланктона в периоды цветения [3]. Многолетнее увеличение фотосинтеза в летний период нашло свое отражение в изменении средних за вегетационный период значений ИК (рис. 2).

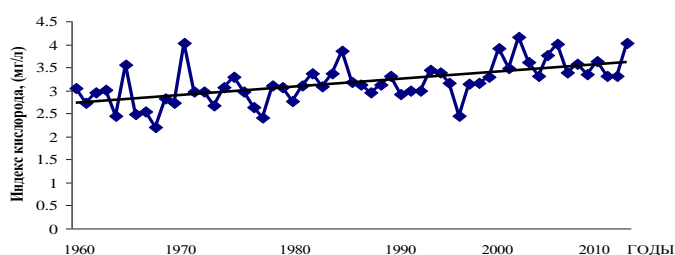


Рис. 2. Многолетние изменения величины ИК в Можайском водохранилище в летний период

Увеличение первичной продуктивности Можайского водохранилища привело к возрастанию объемов зон аноксии в гипolimнионе водохранилища. Эта характеристика кислородного режима рассчитывалась в модели на каждые сутки суммированием объемов бескислородной зоны во всем водохранилище. Тенденция роста объемов зон аноксии хорошо коррелирует с индексом кислорода (рис. 3).

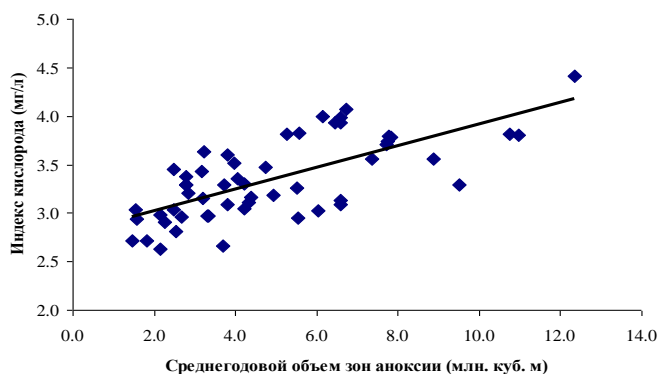


Рис. 3. Связь индекса кислорода с объемами зон аноксии в Можайском водохранилище

Таким образом, модельные расчеты представляют широкие возможности анализировать многолетние изменения пространственно-временных распределений основных экологических характеристик экосистемы водохранилища,

наиболее информативной из которых следует считать режим растворенного кислорода. Полученные результаты анализа тенденций изменения режима кислорода подтверждают тенденцию эвтрофирования Можайского водохранилища.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ. Проект 18-05-01066.

Список литературы

1. Гидроэкологический режим водохранилищ Подмосковья (наблюдения, диагноз, прогноз). М. «Перо», 2015. 286 с.
2. Даценко Ю.С., Ветрова Е.И. Оценка трофического состояния озер умеренной зоны по характеристикам их кислородного режима // Вестник МГУ, сер. География, 2006. № 1. С. 36-39.
3. Даценко Ю.С., Пуклаков В.В., Эдельштейн К.К. Анализ влияния абиотических факторов на развитие фитопланктона в малопроточном стратифицированном водохранилище // Тр. Карельского научного центра РАН. Сер. Лимнология, 2017. № 10. С. 75-85.

© Даценко Ю.С., Пуклаков В.В., 2019

ОЦЕНКА ДИФFUЗНОГО СТОКА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В БАСSEЙНЕ КАМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В РАЙОНЕ СОЛИКАМСКО-БЕРЕЗНИКОВСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО УЗЛА

Возняк А.А.^{1,2,3}, Лепихин А.П.^{1,2,3}

¹Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН, г. Пермь

²Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов, Камский филиал, г. Пермь

³Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь

E-mail: AAVoznyak@gmail.com

Аннотация. Представлен метод оценки диффузного стока загрязняющих веществ для крупных водных объектов, где есть мониторинг гидрохимического и гидрологического режимов, а также данные государственной отчетности 2-ТП (водхоз). Проведена оценка диффузного стока для Камского водохранилища в районе Соликамско-Березниковского промышленного узла. Рассмотрены естественный гидрохимический режим и техногенное загрязнение Камского водохранилища. Отмечен неравномерный характер распределения загрязнения по ширине и глубине водного объекта. Показано, что состав загрязняющих веществ при техногенном загрязнении определяется характером деятельности предприятий, осуществляющих сброс сточных вод.

Ключевые слова: гидрохимический режим, водный объект, техногенное загрязнение, качество природных вод, диффузное загрязнение.

ASSESSMENT OF CHEMICAL RUNOFF VOLUME OF DIFFUSE ORIGIN IN THE KAMA RESERVOIR BASIN IN THE AREA OF SOLIKAMSK-BEREZNIKI INDUSTRIAL AGGLOMERATION

Wozniak A.A.^{1,2,3}, Lepikhin A.P.^{1,2,3}

¹Perm' Federal Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm

²Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection,
Kamsky Branch, Perm

³Perm' State National Research University, Perm

Abstract. A method for assessing the diffuse flow of pollutants for large water bodies, where there is a monitoring of hydrochemical and hydrological regimes, as well as data from state reporting 2-TP (water management), is presented. An assessment of the diffuse flow for the Kama reservoir in the area of the Solikamsk-Berezniki industrial hub is produced. The natural hydrochemical regime and technogenic pollution of the Kama reservoir are considered. The uneven distribution of pollution across the width and depth of the water body is marked out. It is shown that the composition of pollutants in industrial pollution is determined by the nature of the activities of enterprises engaged in the discharge of wastewater.

Keywords: hydrochemical regime, water body, industrial pollution, natural water quality, diffuse pollution.

Введение

В настоящее время декларируются и регламентируются, как правило, точечные источники загрязнения. В то же время анализ состояния водных объектов показывает, что на их гидрохимический режим могут очень существенное влияние оказывать рассредоточенные неточечные источники загрязнения. В большинстве случаев такие источники загрязнения связывают со смывом загрязняющих веществ с сельскохозяйственных угодий и городских агломераций. Однако в зоне очень высокой техногенной нагрузки таким источником загрязнения могут быть фильтрационные разгрузки от шламохранилища и породных отвалов. Примером очень высокой горнопромышленной нагрузки на водные объекты является Соликамско-Березниковский промышленный узел, разрабатывающий одно из крупнейших в мире месторождение калийных и магниевых руд – Верхнекамское месторождение калийных и магниевых солей.

Соликамско-Березниковский промузел располагается в верхней части Камского водохранилища, самого верхнего из каскада трех водохранилищ на р. Кама, крупнейшем притоке р. Волга. Камское водохранилище начало функционировать в полном объеме с 1956 г.

Антропогенное загрязнение водного объекта определяется видом деятельности промышленных или сельскохозяйственных предприятий, находящихся на водосборе этого объекта. В настоящее время основными загрязни-

телями являются предприятия гг. Соликамск и Березники, активно использующие в своих технологических цепочках сырье, получаемое в результате разработки Верхнекамского месторождения калийных и магниевых солей (далее ВКМКС). Такими являются не только предприятия калийной промышленности, но и содовой, и магниевой промышленности, составляющие костяк промышленного комплекса Соликамско-Березниковского промузла.

Для анализа влияния антропогенного загрязнения необходимо исследовать естественный гидрохимический режим р. Кама во избежание ложных, ошибочных выводов при оценке переносимой рекой массы загрязняющих веществ (далее ЗВ).

Интегральная оценка диффузной составляющей техногенного загрязнения, поступающего на рассматриваемом участке в р. Кама (Камское водохранилище), проводилась на основе прямой балансовой схемы. При этом для оценки потоков веществ в самом водотоке-приемнике использовались два совершенно независимых массива данных: материалы сетевых наблюдений Пермского ЦГМС за период с 1994 по 2015 гг., а также материалы детальных полевых исследований, выполненных в июне – августе 2018 г. Характерной особенностью материалов сетевых наблюдений является то, что при их проведении отбор проб проводился только на одной вертикали и двух горизонтах: поверхность, дно, тогда как при проведении полевых работ оценки проводились по значительно более детализированной схеме. Поэтому определение расхода воды в расчетном створе проводилось с использованием поля скоростей и профиля русла, а расчет массы ЗВ – с использованием поля концентраций.

Материалы ЦГМС содержат концентрации ЗВ в воде в пунктах отбора проб воды из рек бассейна р. Кама. Умножив эти концентрации на объемы воды в этих пунктах и в эти сроки отбора, можно определить объемы загрязняющих веществ, переносимых р. Кама как до Камского водохранилища (пгт Тюлькино), так и в отдельные створы вдоль водохранилища. Материалы госотчетности 2-ТП (водхоз) дают объемы ЗВ, поступающие в водные объекты между выбранными створами от сбросов предприятий, то есть регламентируемые. Разность между приростом объема ЗВ по наблюдениям ЦГМС и объемами из 2-ТП (водхоз) дает объемы латентного, диффузного загрязнения от не регламентируемых источников.

Значения прироста загрязняющих веществ по среднегодовым значениям концентраций были рассчитаны по данным наблюдения Пермского ЦГМС между створами пгт Тюлькино и ниже г. Березники. Затем значения прироста загрязняющих веществ сравнили с их годовыми объемами, сбрасываемыми со

сточными водами на этих же участках, согласно госотчетности 2-ТП (водхоз). Результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1

Диффузный сток за год по данным Пермского ЦГМС

Составляющие химического стока	Характеристика	Тюлькино	Березники, ниже города
Значения в створах	Интенсивность переноса, кг/с	165	372
	Масса ЗВ, т	5204898	11747586
Привнос ЗВ на участке	Интенсивность переноса, кг/с	207	
	Масса ЗВ, т	6542688	
Регламентированный сброс по 2-ТП (водхоз)	Интенсивность переноса, кг/с	22,6	
	Масса ЗВ, т	714440	
Диффузный сток	Интенсивность переноса, кг/с	185	
	Масса ЗВ, т	5828248	

Данные табл. 1 показывают, что масса ЗВ в результате диффузного загрязнения на участке Камского водохранилища в районе Соликамско-Березниковского промузла составляет 5,8 млн тонн в год при средней интенсивности 185 кг/с. Диффузный привнос в нижней части рассматриваемого участка Камского водохранилища, наиболее техногенно нагруженном, от Соликамска (ниже города) до г. Орел составляет 89 % от диффузного привноса на всем участке от Тюлькино до г. Орел. При этом диффузная составляющая в общем привносе техногенного загрязнения на всем участке Соликамско-Березниковского промузла составляет 88 %.

Для того, чтобы оценить реальность таких значений диффузного стока, подобные же расчеты были выполнены по данным полевых исследований. В 2018 г. были проведены два экспедиционных обследования рассматриваемого участка р. Кама: первое – в конце весны, на спаде весеннего половодья, второе – в летний период, при низких меженных расходах. В обоих обследованиях электропроводность на 187 вертикалях была измерена от поверхности до дна через 1 м. В 6 створах (3 весной и 3 летом) были отобраны пробы воды на трех горизонтах, и проведен химический анализ качества отобранной воды.

В связи с тем, что полевые исследования проводились в августе-месяце, а гидрохимический режим водохранилища весьма различен в разные периоды года, диффузный сток по данным наблюдений Пермского ЦГМС был также подсчитан только за август-месяц; данные госотчетности 2-ТП (водхоз) также взяты по сбросам за август. Результаты представлены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Диффузный сток за август-месяц по данным Пермского ЦГМС

Составляющие химического стока	Характеристика	Тюлькино	Березники, ниже города
Значения в створах	Интенсивность переноса, кг/с	98	290
	Масса ЗВ, т	262770	776628
Привнос ЗВ на участке	Интенсивность переноса, кг/с	193	
	Масса ЗВ, т	513858	
Регламентированный (декларируемый) сброс по 2-ТП (водхоз)	Интенсивность переноса, кг/с	22,2	
	Масса ЗВ, т	59537	
Диффузный сток	Интенсивность переноса, кг/с	170	
	Масса ЗВ, т	454321	

Таблица 3

Диффузный сток за август-месяц по данным полевых исследований

Составляющие химического стока	Характеристика	Тюлькино	Соликамск, ниже города	Березники, ниже города, г. Орел
Значения в створах	Интенсивность переноса, кг/с	88,5	116	291
	Масса ЗВ, т	237075	310529	779903
Привнос ЗВ на участке	Интенсивность кг/с	27,4	175	
	Масса ЗВ, т	73454	469374	
Регламентированный (декларируемый) сброс по 2-ТП (водхоз)	Интенсивность а, кг/с	7,8	14,4	
	Масса ЗВ, т	20948	38704	
Диффузный привнос	Интенсивность, кг/с	19,6	161	
	Масса ЗВ, т	52506	430670	

Сравнение результатов, представленных в табл. 2-3, показывает, что при общеваловых расчетах химического стока по средним характеристикам источник исходных данных значения не имеет – в обоих случаях интенсивность диффузного привноса между Тюлькино и Березниками в августе-месяце составляет 170-180 кг/с или 460-480 тыс. т. Данное обстоятельство достаточно хорошо объясняется тем, что в трех выбранных створах, вследствие особенностей морфометрии р. Кама на участках расположения этих створов, распределение макрокомпонентов по поперечному сечению значительно выравнивается, и их оценки по двухточечной схеме ЦГМС достаточно объективно отражают их потоки. Небольшие расхождения объясняются разными периодами, за которые были взяты данные для расчета.

Совпадение расчета за август-месяц по двум, совершенно независимым массивам данным, позволяет принять годовые расчеты, представленные в

табл. 1, также правомерными. Однако равноправие исходных данных справедливо только для оценки общих объемов загрязнения на рассматриваемом участке Камского водохранилища.

Для исследования характера и структуры распределения диффузного загрязнения по результатам проведенных экспедиционных исследований были построены карты распределения удельной электропроводности и минерализации в придонной области и поверхностном слое в 2-х точках рассматриваемого участка р. Кама (Камского водохранилища): в пределах г. Соликамск, от р. Усолка до п. Лысьва и в пределах г. Березники, от автодорожного моста до г. Орел. Построения были сделаны для обоих периодов исследования. В статье представлена одна из построенных картосхем (рис. 1).

По результатам экспедиционных исследований и анализу построенных картосхем можно сделать следующие выводы. Вода в водохранилище на спаде весеннего половодья существенно чище, чем летом, в период межени. Кроме того, на верхнем участке водохранилища, напротив г. Соликамск, загрязнение существенно меньше, чем на нижнем участке, и на поверхности, и в придонной области. На спаде половодья в основном русле качество воды по глубине достаточно однородно, исключение – заливы трех небольших рек Усолка, Поповка и Черная, по которым осуществляются промышленные сбросы сточных вод, и акватория порта, где идет погрузка соли. При этом минерализация в придонном слое на этих 4-х участках в 3-4 раза выше, чем в поверхностном.

На нижнем участке в районе г. Березники от автодорожного моста до г. Орел, различие в распределениях электропроводности поздней весной на спаде половодья и в период летней межени становится очень существенным. В период половодья по основному руслу проходит достаточно чистая вода. Загрязнение наблюдается в 3-х зонах вдоль левого берега: первая зона – устье р. Толыч, в которую сбрасывают сточные воды 4 предприятия, вторая зона – устье Березниковского промканала, третья зона – створ у г. Орел, ниже устья р. Яйва.

В период летней межени вся вода Камского водохранилища имеет более высокую минерализацию как на поверхности, так и в придонном слое. Но если весной на нижнем участке минерализация поверхностного и придонного слоев различалась достаточно слабо, максимум в 2 раза, за исключением трех отмеченных зон, где у левого берега максимальное различие составило 5 раз, то в летний период, даже на стрежне и у правого берега, минерализация придонного слоя воды больше поверхностного от 3 до 10 раз (рис. 1). В придонном слое число зон не просто увеличилось до шести (к перечисленным

четырем добавились две – у станции перекачки и весь левый берег, начиная от устья р. Толыч до г. Огурдино. Минерализация на этом участке от устья р. Толыч до г. Огурдино в придонном слое не опускается ниже 3000 мг/л, максимальные же значения около 6000-7000 мг/л (рис. 1). От устья р. Толыч до станции перекачки нет ни одного декларируемого выпуска, зато на берегу располагаются многочисленные техногенные «озера», включая известное «Белое море».



Рис. 1. Карта-схема распределения минерализации для периода летней межени в придонной области, г. Березники

Таким образом, согласно предложенной методике, проведено сравнение объемов загрязняющих веществ, сбрасываемых со сточными водами на участке, согласно гособъектности 2-ТП (водхоз), и значений прироста загрязняющих веществ, по данным наблюдений Пермского ЦГМС на Камском водохранилище от пгт Тюлькино до ниже г. Березники. Результаты в % приведены в последней строчке табл. 2 и они показывают, что прирост всех загрязняющих существенно больше по объемам, представленным в отчетности 2-ТП (водхоз). Объяснить этот факт можно только значительными объемами диффузного стока.

Характерной особенностью формирования диффузного неточечного загрязнения на рассматриваемом участке р. Кама является не смыв загрязняющих веществ с водосборной поверхности, а фильтрационные разгрузки, в первую очередь, от техногенных комплексов.

Наиболее заметно и явно фильтрационные разгрузки проявляются у левого берега р. Кама, в непосредственной близости от шламохранилища «Белое море». Эта зона отчетливо идентифицируется как результатами весеннего, так и летнего опробования.

Возможными причинами такой ситуации являются:

- несоблюдение регламентных условий сбросов по декларируемым водовыпускам сточных вод;
- недекларируемый сброс сточных вод через точки водовыпуска;
- недекларируемые фильтрационные разгрузки от шламохранилища и породных отвалов;
- естественные высокоминерализованные рассолы и самоизливы из старых незатапливаемых скважин, расположенных в зоне затопления Камского водохранилища.

© Возняк А.А., Лепихин А.П., 2019

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЦИМЛЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ МИКРОЗООПЛАНКТОНА

Кренёва К.В.¹, Кренёва С.В.²

¹Южный научный центр, г. Ростов-на-Дону

²Азовский филиал Мурманского Морского Биологического Института,
г. Ростов-на-Дону

E-mail: kreneva@ssc-ras.ru

Аннотация. Для оценки состояния вод Цимлянского водохранилища был использован индекс эвтрофирования Кренёвых (ИНЭК). Исследования были проведены в 2018 г, характеризующимся сильным половодьем. По результатам исследований Цимлянское водохранилище можно отнести к водоёмам с мезоэвтрофными водами.

Ключевые слова: инфузории, коловратки, Цимлянское водохранилище, оценка качества вод.

MODERN CONDITION OF THE TSIMLYANSK RESERVOIR BY MICROZOOPLANKTON MEASURES

Kreneva K.V.¹, Kreneva S.V.²

¹Southern Scientific Center, Rostov-on-Don

²Azov Branch of Murmansk Marine Biological Institute, Rostov-on-Don

E-mail: kreneva@ssc-ras.ru

Abstract. To assess the state of the Tsimlyansk reservoir waters, Krenev's eutrophication index (INEK) was used. Studies were conducted in 2018, characterized by strong flood. According to the research results, the Tsimlyansk reservoir can be attributed to reservoirs with mesoeutrophic waters.

Keywords: ciliates, rotifers, Tsimlyansk reservoir, water quality assessment.

Неотъемлемой частью современных гидроэкологических исследований является изучение структуры и функционирования водных экосистем во взаимосвязи с окружающей средой, оценка их экологического состояния, определение трофического статуса и качества воды, изменяющихся под влиянием природных и антропогенных факторов.

Основу сообщества пресноводного микрозоопланктона составляют два наиболее многочисленных ценоза: инфузории и коловратки. Структура сообщества очень мобильна при воздействии таких факторов, как трофия, сапробность, токсичность и т.п., и служит прекрасным экологическим показателем. Диапазон выносливости микрозоопланктона значительно больше, чем у других групп, что расширяет возможности при контроле. Большинство представителей этого сообщества – непосредственные потребители органики сточных вод, занимают низшую гетеротрофную ступень трофической пирамиды. Особая организация простейших, качественно разные типы размножения, быстрая смена поколений, высокая интенсивность обменных процессов, всеядность и необычайная прожорливость этого ценоза, сочетающаяся со специализацией отдельных популяций, его специфическое положение в трофической структуре биоценоза, высокая чувствительность и пластичность, широкий спектр критериев оценки реакции на условия обитания, скорость этой реакции, позволяющая использовать их в самых сложных условиях и разрабатывать методы ранней диагностики, большая роль в процессах самоочищения и многое другое определяют их существенные преимущества перед прочими гидробионтами в вопросах исследования самоочищения и биологического анализа загрязненных вод.

Отбор проб микрозоопланктона проводился, согласно стандартным методам [1, 2]. При обработке проб было использовано несколько методик. Часть проб была обработана в живом виде. Количественный учет инфузорий проводился по методике Н.С. Гаевской [3], с некоторыми модификациями. Остальной материал был зафиксирован кислым раствором Утермеля. Дальнейшая обработка представляла собой комбинацию камерного и отстойного методов.

Для оценки загрязненности водных объектов с помощью индекса эвтрофирования необходимы количественные характеристики уровней развития двух основных микрозоопланктонных ценозов: суммарная численность инфузорий и суммарная численность коловраток.

Индекс антропогенного эвтрофирования Крениных [4]

$$\text{ИНЭЖ} = C / R + 1,$$

где C – численность Ciliata; R – численность Rotatoria.

ИНЭК – индекс очень чувствительный именно к антропогенному загрязнению и почти не зависящий от типа водоема, климатической зоны, естественной трофности водоема [5].

Определение видовой принадлежности входящих в состав этих ценозов форм не требуется. Это является бесспорным достоинством метода, так как дает возможность широкого внедрения его в качестве рутинных наблюдений в подразделениях любого уровня.

Для учета коловраточного планктона используется та же методика, что и для цилиоценоза. Отличия могут состоять лишь в объемах просматриваемой воды, зависящих от плотности организмов.

Исследования микрозоопланктона Нижнего Дона и приплотинного плёса Цимлянского водохранилища проводились в весенний и ранне-осенний период. К сожалению, литературные данные о качественном составе и количественных характеристиках цилиатоценоза этого района весьма фрагментарны, что не позволяет использовать их для сравнения.

По результатам обработки нативных и камеральных проб можно отметить довольно высокий уровень количественных и качественных показателей состояния микрозоопланктона. Особенно обращает на себя внимание уровень развития коловраточного планктона, который на некоторых участках превышает уровень развития цилиатоценоза. Такое состояние характерно для весеннего пика численности коловраток, следующего за пиком массового развития диатомовых и часто совпадает с периодом весеннего половодья, что мы и наблюдали в данном случае.

Всего, в собранном материале, было встречено 18 видов инфузорий. Доминировали представители pp. *Strombidium* и *Strobilidium*. На всей акватории встречались такие виды как *Coleps hirtus* (O.F. Müller, 1786) Nitzsch, 1827 и представители классов Sessilida и Litostomatea. Количество видов по станциям колебалось от 1 (в районе Кумженской роши) до 11 (ст. 5 Цимлянское водохранилище), в среднем – 7.

При анализе размерной структуры цилиатоценоза исследованного района можно сказать, что на всех станциях доминировала мелкая размерная группа, представленная такими видами, как *Halteria grandinella* (O.F. Muller, 1773) Dujardin, 1841, и мелкими стромбидиумами, однако на всей исследованной акватории встречались и представители крупной размерной группы.

На исследованной акватории было обнаружено 12 видов коловраток. Уровень видового богатства и плотности коловраточного планктона не уступал, а на некоторых станциях и превышал таковой инфузорий. На фоне продолжающегося пика численности коловраток-альгофагов, таких как *Keratella cochlearis* (Gosse, 1851) и *Polyarthra dolichoptera* (Idelson, 1925), высокого

уровня численности успела достигнуть и хищная *Asplanchna priodonta* (Gosse, 1850). Количество видов, по станциям колебалось от 1 (ст. 6) до 8 (на ст. 3 и ст. 18), в среднем – 6.

Плотность цилиатопланктона колебалась в диапазоне от 0,3 тыс.экз./л. до 8,2 тыс.экз./л., в среднем составив 2,7 тыс.экз./л. Плотность коловраточно-го планктона – от 0,1 до 3 тыс.экз./л., в среднем – 1,0 тыс.экз./л..

В сентябре можно было наблюдать повышение плотности цилиато-планктона (рис. 1) на фоне понижения остальных качественных и количе-ственных характеристик микрозоопланктонного сообщества (рис. 2, 3). Рост плотности инфузорий на фоне понижения плотности коловраточного планктона и общего видового богатства микрозоопланктонного сообщества указы-вает на ухудшение качества вод и уменьшение стабильности биоценоза в целом.

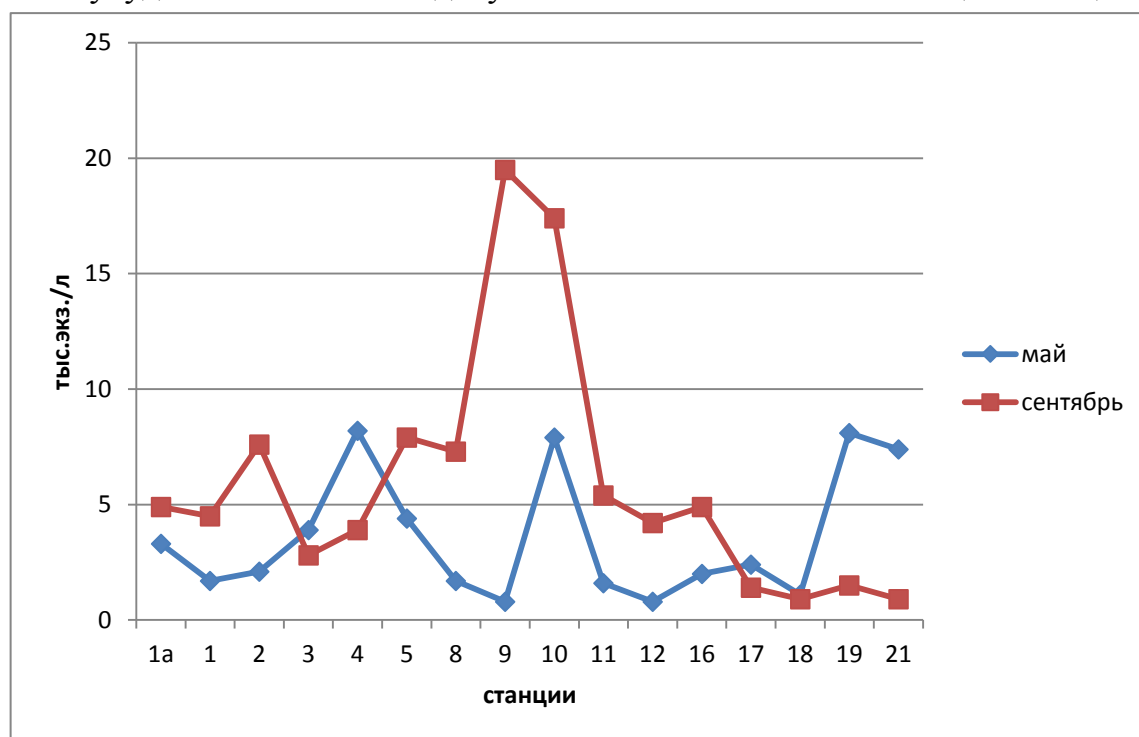


Рис. 1. Динамика плотности цилиатопланктона по станциям (тыс. экз./л) май, сентябрь 2018 г.

В этот период на исследованной акватории было встречено 11 видов инфузорий. Доминировали представители класса Sessilida pp., такие как *Vorticella anabaena* Stiller, 1940. В момент исследования наблюдалось «цветение» сине-зелёных водорослей, которые служат субстратом и «транспортом» для сидячих форм инфузорий. Таким образом, основу сообщества цилиат (64 %) в этот период составили сидячие, фильтрующие бактериофаги – доля их численности на некоторых станциях (станции 9 и 10) достигала 92 %. На всех станциях доминировала мелкая размерная группа. Представители крупной и средней размерных групп на станциях 9, 10, 18 и 21 отсутствовали.

На остальных станциях представители этих размерных групп присутствовали в виде единичных экземпляров.

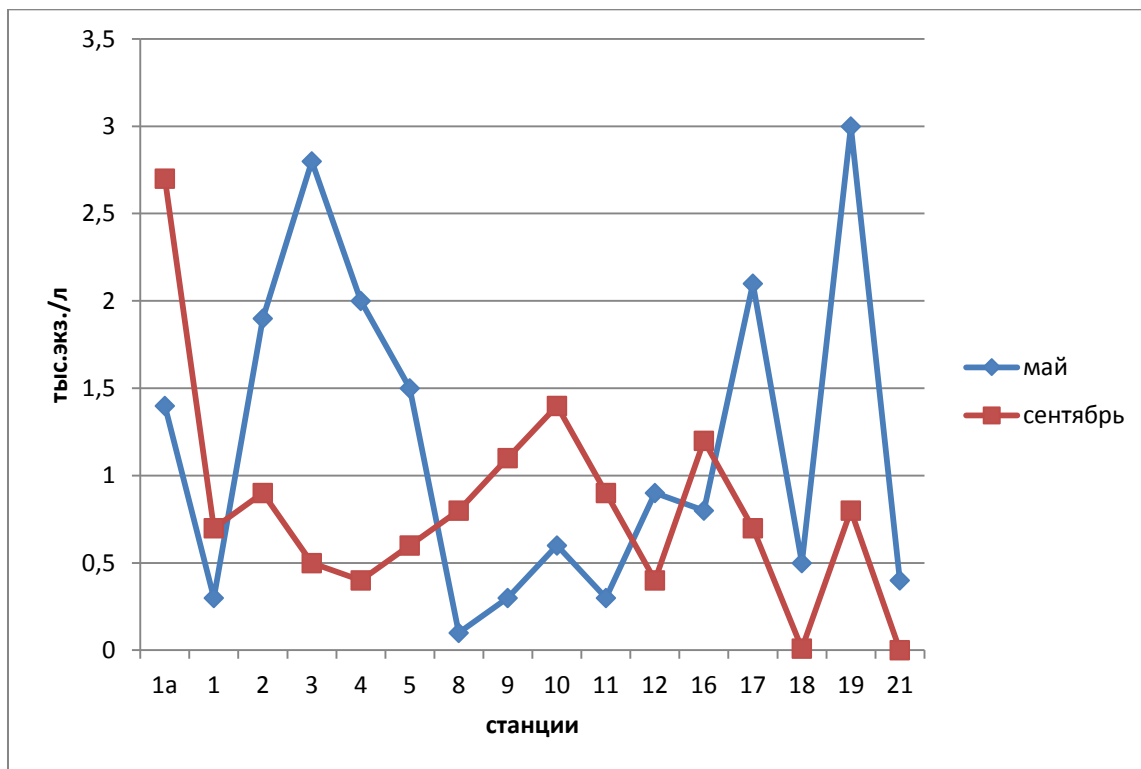


Рис. 2. Динамика плотности коловраток по станциям (тыс. экз./л) май, сентябрь 2018 г.

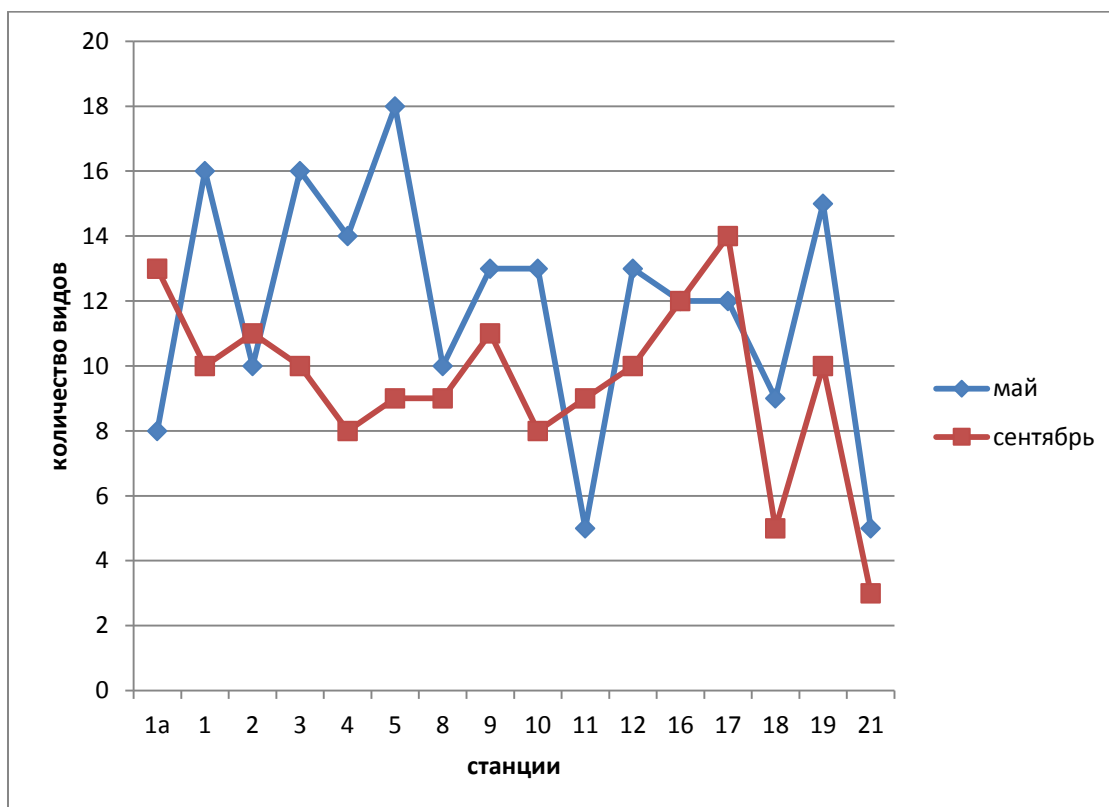


Рис. 3. Динамика общего количества видов микрозоопланктона по станциям (тыс. экз./л) май, сентябрь 2018 г.

Количество видов инфузорий, по станциям, колебалось от 3 до 7, в среднем – 5 видов.

На исследованной акватории было обнаружено 10 видов коловраток. На всей акватории встречались *Keratella cochlearis* (Gosse, 1851), *Polyarthra dolichoptera* (Idelson, 1925) и *Asplanchna priodonta* (Gosse, 1850). Количество видов, по станциям колебалось от 0 (ст. 21) до 6 (на ст.1 и ст. 17), в среднем – 4 вида.

Плотность цилиатопланктона колебалась в диапазоне от 0,9 тыс.экз./л. до 19,5 тыс.экз./л., в среднем составив 7,2 тыс.экз./л..

Плотность коловраточного планктона – от 0 до 2,7 тыс.экз./л., в среднем – 0,7 тыс.экз./л..

Большинство значений индекса эвтрофирования (ИНЭК) и в весенний, и в осенний периоды в пределах 10 единиц, что характеризует слабозагрязнённые воды со стабильным биоценозом или первыми признаками нарушения стабильности биоценоза. Однако весной на станциях 6 (Цимлянское водохранилище) и 21 (устьевая область р. Дон), значение индекса в 2 раза превышает это значение, что соответствует мезоэвтрофным, сильнозагрязнённым водам с нарушенным биоценозом. Этому состоянию соответствует и остальной комплекс количественных характеристик биоценоза. На станциях 8 и 10 значения индекса немного выходят за пределы 10 единиц, однако остальной комплекс признаков соответствует более слабой степени загрязнения.

В сентябре уже 6 станций соответствуют грязным мезоэвтрофным водам (4, 5, 9, 10, 12 и 21). Остальной комплекс признаков, характеризующих нарушенный биоценоз, также присущ для более сильной степени загрязнения водоёма.

В пространственном отношении можно сказать, что наблюдается естественный, но ярко выраженный тренд ухудшения качества вод по направлению к устью р. Дон. В Цимлянском водохранилище заметное ухудшение качества вод наблюдается в прибрежных районах, наиболее подверженных антропогенному влиянию. Однако картирование акватории по качеству вод затруднено сложной гидродинамикой водоёма. Здесь, вместо стандартной системы - «точечное загрязнение зоны разбавления», мы можем наблюдать «пятнистость» распределения зон, характеризующихся разным уровнем качества вод. В таких условиях пространственная оценка качества вод требует дополнительных данных, уточняющих гидродинамику водоёма.

Таким образом, согласно общему комплексу характеристик микрозоопланктонного сообщества, можно сделать вывод о том, что состояние исследованного участка р. Дон выше водохранилища и центральная часть Цимлян-

ского водохранилища находятся на стадии мезоэвтрофного водоёма со слабо загрязнёнными водами и первыми признаками нарушения стабильности биоценоза. Нижнее течение р. Дон и прибрежная часть Цимлянского водохранилища относятся к мезоэвтрофным, сильнозагрязнённым водам с признаками нарушения стабильности биоценоза.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и РГО в рамках научного проекта № 17-05-41145 РГО_а «Изучение трансформации среды и биоты Цимлянского водохранилища и Нижнего Дона в условиях изменения климата».

Список литературы

1. Руководство по методам биологического анализа морских вод и донных отложений. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 186 с.
2. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеиздат 1992. 319 с.
3. Гаевская Н.С. Простейшие (Protozoa) // Жизнь пресных вод СССР. М.-Л.: АН СССР. 1949. Т.2. С.229-310.
4. А.с. 1789920 СССР, МКИ5 G 01n 33/18. Способ оценки качества вод и санитарного состояния водоемов / Кренева С.В. // Заявлено 2.12.1987. № 4337416. Опубл. 23.01.1993, Бюл. № 3.
5. Кренева С.В., Кренева К.В. Количественные и структурные показатели гидробиоценозов как основа оценки антропогенного пресса // Тез. докл. XI Междунар. симпоз. "Современные проблемы биоиндикации и биомониторинга" 11-21 сент., 2001 г. Сыктывкар, Республика КОМИ, Россия. Сыктывкар, Коми науч. центр УрОРАН, 2001. С. 90-91.

© Кренёва К.В., Кренёва С.В., 2019

МОДЕЛИРОВАНИЕ КИСЛОРОДНОГО РЕЖИМА ЦИМЛЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Кулыгин В.В.

Федеральный исследовательский центр Южный научный центр
Российской академии наук, г. Ростов-на-Дону
E-mail: kulygin@ssc-ras.ru

Аннотация. В работе приведена математическая модель кислородного режима Цимлянского водохранилища. Модель описывает сезонный ход и вертикальное распределение температуры воды и концентрации растворенного кислорода, а также учитывает взаимодействие с атмосферой и донными отложениями. Предлагаемая модель может быть использована для решения задач, связанных с качеством воды в водохранилище и оценкой риска заморных явлений.

Ключевые слова: растворенный кислород, математическая модель, Цимлянское водохранилище.

MODELING DISSOLVED OXYGEN REGIME IN THE TSIMLYANSK RESERVOIR

Kulygin V. V.

Federal Research Center The Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences,
Rostov-on-Don

E-mail: kulygin@ssc-ras.ru

Abstract. In the article, a mathematical model of the dissolved oxygen regime in the Tsimlyansk Reservoir is given. The model describes the seasonal variation and vertical distribution of water temperature and dissolved oxygen concentration, and also takes into account the interaction with the atmosphere and sediments. The proposed model can be used to solve issues related to the water quality in the reservoir and the assessment of the fish kill risk.

Keywords: dissolved oxygen, mathematical model, Tsimlyansk Reservoir.

Среди основных абиотических факторов, тесно связанных с биологической продуктивностью гидроэкосистем, особое место принадлежит растворённому кислороду, причём не только как источнику дыхания гидробионтов, но и как фактору, определяющему полноту и скорость минерализации органического вещества, особенно в бентали. В условиях высокого уровня первичного продуцирования Цимлянского водохранилища, его кислородный режим весьма напряжённый, ежегодно летом на значительных площадях отмечается глубокая кислородная депрессия, что приводит к ухудшению условий воспроизводства биологических популяций и снижению качества вод.

Программы мониторинга Цимлянского водохранилища после 1991 г. по разным причинам существенно сократились [1, 2]. В этих условиях возрастает роль математического моделирования как одного из основных методов исследования. Целью настоящей работы является разработка математической модели кислородного режима для решения задач, связанных с качеством воды и оценкой риска заморных явлений.

При моделировании кислородного режима в реках и водохранилищах используется широкий спектр моделей, включая достаточно сложные двух-трёхмерные биогидрофизические модели. Высокие затраты на разработку, значительное время вычислений и многочисленные параметры, и гидродинамические данные, необходимые для калибровки и проверки этих моделей, являются недостатками многомерных моделей. Однако приемлемые результаты могут давать и упрощённые агрегированные модели. Мировой опыт показывает, что достаточной для решения практических задач адекватностью обладают одномерные диффузионные модели.

При разработке модели кислородного режима Цимлянского водохранилища в основу был положен следующий принцип: сложность модели (размерность, степень пространственного разрешения, нелинейность и т.п.) должна быть такой, чтобы обеспечить её прозрачность (понимание устройства), возможность идентификации и осуществления настройки. Поэтому за основу была взята одномерная математическая модель [3], описывающая сезонный ход содержания кислорода, его вертикальное распределение и взаимодействие с донными отложениями. При адаптации модели к условиям Цимлянского водохранилища были выполнены следующие модификации.

Необходимым элементом при моделировании процессов продукции и деструкции органического вещества, а также при оценке интенсивности газообмена с атмосферой, является информация о температурном режиме водохранилища. В стратифицированных водоемах термоклин действует как барьер для переноса кислорода между эпилимнионом и гипolimнионом. Таким образом, в период стратификации источники кислорода ограничиваются только эпилимнионом. В свою очередь, потребление кислорода путем дыхания организмов, живущих в гипolimнионе, вызывает дефицит у дна. Стратификацию и перемешивание можно достаточно адекватно моделировать с использованием одномерной модели переноса тепла, таким образом общая модель [3] была дополнена соответствующим уравнением.

Вместо решения отдельных уравнений переноса (баланса массы) для органических и биогенных веществ было решено зафиксировать все биологические переменные на основе трофического уровня водоема и тем самым уменьшить модель до модели с двумя уравнениями для температуры воды и растворенного кислорода соответственно.

Цимлянское водохранилище имеет характерные участки - плесы: Чирской, Потемкинский и Приплотинный, которые разграничиваются сужениями береговой линии и различаются морфометрическими, гидрологическими и промыслово-биологическими особенностями. В соответствии с этим выделено три района: верхний (Чирской), центральный и приплотинный (рис. 1), для каждого из которых сделан свой экземпляр модели.

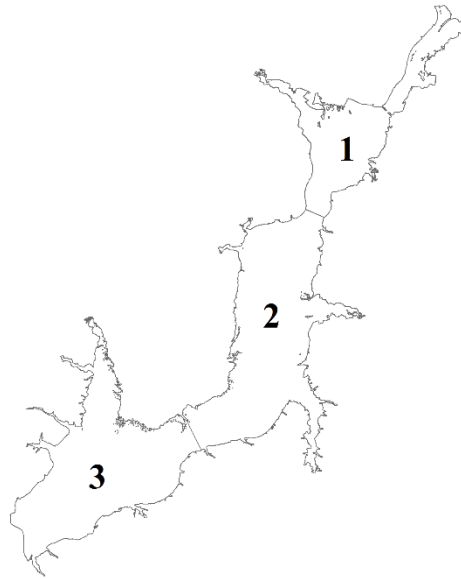


Рис. 1. Районирование Цимлянского водохранилища: 1 – верхний участок, 2 – центральный участок; 3 – приплотинный участок

В модели район водохранилища представляется набором горизонтальных слоев, каждый из которых считается хорошо перемешанным (однородным). Подобное предположение правомерно как для температуры воды, так и для растворенного кислорода, поскольку горизонтальные градиенты в водохранилище малы по сравнению с изменениями в вертикальном направлении. Притоки и оттоки в явном виде не учитываются, при этом вертикальное перемешивание, вызванное волнами, конвекцией и циркуляционными течениями, в значительной степени способствует обмену между горизонтальными слоями. Все эти механизмы имеют суммарную нулевую вертикальную скорость, и поэтому термин адвекции в уравнении вертикального массового переноса не рассматривается.

Динамика вертикального распределения температуры $\theta(t,z)$ описывается уравнением:

$$A_z \frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} (A_z D(t,z) \frac{\partial \theta}{\partial z}) - \frac{1}{\rho \cdot c_p} \cdot \frac{\partial A_z Q}{\partial z}, \quad 0 < z < H, \quad (1)$$

где $\theta(t,z)$ – температура воды на глубине z в момент времени t , °С; A_z – площадь горизонтального сечения района водоема на глубине z , м²; $Q(t,z)$ – поток поглощенной солнечной радиации внутри водного столба, кДж/(м² сек); $D(t,z)$ – коэффициент вертикального перемешивания, м²/сек; ρ – плотность воды, кг/м³; c_p – удельная теплоёмкость воды, кДж/(°С кг); H – средняя глубина района водоема, м; z – вертикальная координата; t – время. Ось z направлена вертикально вверх от дна к свободной поверхности водоема, начало координаты z совмещено с дном водоема.

Функция зависимости площади водоема от глубины строится на основе цифровой модели рельефа водоема.

Распределение поглощенной солнечной радиации внутри водного столба может быть выражено как:

$$Q(t, z) = (1 - \beta)Q_s(t) \exp(-\lambda(H - z)), \quad 0 < z < H,$$

где $Q_s(t)$ – поток солнечной радиации, поглощенной столбом воды, кДж/(м² сек); β – доля коротковолновой радиации, поглощенной поверхностным слоем; λ – коэффициент экстинкции, 1/м; z – расстояние от дна водоема, м.

Величина $Q_s(t)$ рассчитывается как:

$$Q_s(t) = (1 - A) \cdot Q_0(t) \cdot (1 - c_{sw} \cdot n(t)),$$

где A – альbedo водной поверхности; $Q_0(t)$ – суммарная солнечная радиация, поступающая на поверхность воды, кДж/(м² сек), $n(t)$ – балл общей облачности

(в долях единицы); c_{sw} – эмпирический коэффициент для учета влияния облачности на поток коротковолновой радиации. Альbedo водной поверхности задано сезонным ходом согласно [4].

Коэффициент вертикального перемешивания $D(t, z)$ можно представить в виде суммы:

$$D(t, z) = D_0 + E(t, z),$$

где D_0 – вклад молекулярной диффузии, м²/сек; $E(t, z)$ – турбулентная диффузия, м²/сек.

Величина $E(t, z)$ определяется с использованием выражения:

$$E(t, z) = \alpha_D \cdot (N^2)^\gamma = \alpha_D \cdot \left(-g \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z}\right)^\gamma,$$

где N^2 – частота Брента-Вяйсяля; ρ – плотность воды; g – ускорение свободного падения; α_D и γ – параметры, отвечающие за общий уровень турбулентности в водоеме.

Модель (1) дополняется граничными условиями на дне и свободной поверхности. Расчет теплообмена на границе раздела «вода-атмосфера» ($z=H$) выполняется согласно:

$$-\rho \cdot c_p \cdot D(t, 0) \frac{\partial \theta}{\partial z} \Big|_H = \beta \cdot Q_s(t) + Q_A(t) - Q_r(t) + Q_E(t) + Q_C(t),$$

где $\beta \cdot Q_s(t)$ – доля коротковолнового радиационного баланса, поглощенного поверхностным слоем воды; $Q_A(t)$ – поток длинноволновой радиации, обусловленный тепловым излучением облаков и атмосферы; $Q_r(t)$ – поток тепла за счет длинноволнового излучения поверхности водоема; $Q_E(t)$ – поток скрытого тепла за счет испарения с водной поверхности; $Q_C(t)$ – поток явного

тепла за счет турбулентно-конвективного теплообмена между водной поверхностью и атмосферой. Все потоки выражены в кДж/(м² сек).

При определённых условиях можно пренебречь теплообменом с дном, тогда задается следующее условие при $z=0$:

$$\left. \frac{\partial \theta}{\partial z} \right|_0 = 0.$$

Для описания вертикального распределения растворенного кислорода однородного района акватории используется следующее уравнение и граничные условия:

$$\begin{aligned} \frac{\partial q}{\partial t} &= \frac{1}{A_z} \frac{\partial}{\partial z} (A_z \cdot D(t, z) \frac{\partial q}{\partial z}) + p(t, z) - r(t, z) - k(t, z), \quad 0 < z < H; \\ -D(t, H) \left. \frac{\partial q}{\partial z} \right|_H &= \alpha(t)(q_s(t) - q|_H); \\ -D(t, 0) \left. \frac{\partial q}{\partial z} \right|_0 &= k_B(t); \end{aligned} \quad (2)$$

где $q(t, z)$ – концентрация кислорода, гО₂/м³; $p(t, z)$ – первичная продукция, гО₂/(м³ сек); $r(t, z)$ – дыхание, гО₂/(м³ сек); $k(t, z)$ – окисление органических веществ, гО₂/(м³ сек); $k_B(t)$ – окисление органических веществ в донных отложениях, гО₂/(м² сек); $q_s(t)$ – концентрация насыщения кислорода, гО₂/м³; $\alpha(t)$ – коэффициент реаэрации, м/сек.

Первичная продукция выступает экзогенным фактором и в качестве оценки ее уровня используются значения концентрации хлорофилла «а»:

$$p(t, z) = \alpha_{co} r_p \theta_p^{\theta(t, z) - 20} chl(t) \left(\frac{I_a(t)}{I_a(t) + \alpha_I} \right) \exp(-\lambda(H - z)),$$

где r_p – максимальная скорость продукции фитопланктона при температуре 20 °С, 1/сек; $chl(t)$ – концентрации хлорофилла «а», мг/м³; α_{co} – коэффициент усвоения кислорода, гО₂/мгChl; θ_p – параметр температурной корректировки; $\theta(t, z)$ – температура воды, °С; $I_a(t)$ – поток фотосинтетически активной радиации, Вт/м²; α_I – константа полунасыщения по освещенности, Вт/м².

Расчет потребления кислорода на дыхание вычисляется по формуле:

$$r(t, z) = \alpha_{co} r_r \theta_r^{\theta(t, z) - 20} chl(t),$$

где r_r – максимальная скорость дыхания при температуре 20°С, 1/сек; θ_r – параметр температурной корректировки.

Для определения величины окисления органического вещества используется выражение:

$$k(t, z) = k_{bod} \theta_k^{\theta(t, z) - 20},$$

где k – величина окисления при 20°C, гО₂/(м³ сек); θ_k – параметр температурной корректировки.

Коэффициент реаэрации, может быть вычислен по формуле [5]:

$$\alpha(t) = k_a(W)\theta_a^{\theta(t,H)-20},$$
$$k_a(W) = \begin{cases} 0.2 \cdot W, & W \leq 3.5 \\ 0.057 \cdot W^2, & W > 3.5 \end{cases},$$

где W – скорость ветра, м/с; θ_a – параметр температурной корректировки.

Величина окисления донных отложений рассчитывается как

$$k_B(t) = k_b\theta_{kb}^{\theta(t,0)-20},$$

где k_b – величина окисления донных отложений при 20°C, гО₂/(м² сек); θ_{kb} – параметр температурной корректировки.

Для Цимлянского водохранилища характерны значительные сезонные колебания уровня воды, что приводит к изменению средней глубины районов. При этом глубина района $H(t)$ рассматривается как временной ряд, который может быть задан в виде сценария, или быть рассчитан на основе модели водного баланса:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{U^+ - U^-}{A(h)},$$

где $h(t)$ – уровень водохранилища, U^+ , U^- – входной (приток р. Дон, боковая приточность, осадки) и выходной (расчётное испарение, попуски из водохранилища) потоки, $A(h)$ – площадь зеркал водохранилища при уровне h .

Модель ориентирована на описание безледного периода года, поэтому начальные значения задаются для весенних условий после схода ледового покрова.

Входными данными являются: скорость ветра (м/сек), температура воздуха (°C), относительная влажность (в долях единицы), атмосферное давление (гПа), балл общей облачности (в долях единицы), концентрация хлорофилла «а» (мг/м³). Входные метеорологические данные задаются с шагом 3 часа (соответствующим периоду измерений на метеостанциях). Значения концентрации хлорофилла «а» задаются годовым ходом по данным многолетних наблюдений.

Для калибровки параметров модели использовались данные экспедиционных исследований ЮНЦ РАН в 2007-2016 гг.: профили температуры воды и концентрации растворенного кислорода. Оценка средних величин биохимического потребления кислорода в толще воды и потребления кислорода донными осадками выполнялась на основе литературных источников.

Был выполнен тестовый расчет для условий августа 2011 г. Средняя абсолютная и относительная ошибки при сравнении результатов модельных расчетов и измерений в придонном горизонте составили 0.66 мг О₂/л и 6 % соответственно. При этом придонная концентрация растворенного кислорода в Цимлянском водохранилище изменялась в диапазоне 2.3 - 10.2 мг О₂/л.

Дальнейшие работы предусматривают валидацию модельных расчетов по данным экспедиций 2018-2019 гг.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и РГО в рамках научного проекта № 17-05-41145 РГО_а «Изучение трансформации среды и биоты Цимлянского водохранилища и Нижнего Дона в условиях изменения климата».

Список литературы

1. Никаноров А.М., Хоружая Т.А., Минина Л.И., Мартышева Н.А. Опасность «цветения» Цимлянского водохранилища // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2011. № 2. С. 70–74.
2. Щербакова В.Е., Докл. “Гидрометеорологическая обстановка на Цимлянском водохранилище”, Цимлянская гидрометеорол. обсерв. – фил. ФГБУ “Ростовский ЦГМС-Р”, 2011 г. <http://veimmuseum.ru/about/scientific-and-publishing-activity/report.php?ID=540>
3. Kulygin V., Berdnikov S., Selyutin V., Dashkevich L. Oxygen depletion risk assessment in shallow water bodies of the Sea of Azov region // SGEM2016 Proceedings. 2016. Book 3. Vol. 2. 799-806 pp. DOI:10.5593/SGEM2016/B32/S15.104
4. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Цимлянское, Водораздельные и Манычские водохранилища. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 204 с.
5. Antonopoulos V.Z., Gianniou S.K. Simulation of water temperature and dissolved oxygen distribution in Lake Vegoritis, Greece // Ecological Modelling. 2003. Vol. 160, 39-53.

© Кулыгин В.В., 2019

ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ЛЕКАРСТВЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И СТОЧНЫХ ВОД

Козлова М.А.

Институт водных проблем РАН, г. Москва

E-mail: mblshok@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается проблема поступления лекарственных веществ в водную среду, основным источником которых являются недостаточно очищенные коммунальные сточные воды. В результате работы в пробах обнаружен целый ряд лекарственных веществ. Проведено сравнение концентраций лекарственных препаратов, обнаруженных в разные сезоны (летом – зимой). Для всех обнаруженных

лекарственных с использованием системы информационных технологий веществ проведена оценка их опасного действия на человека и некоторые виды гидробионтов.

Ключевые слова: качество вод, лекарственное загрязнение, коммунальные сточные воды, оценка токсичности.

HAZARD ASSESSMENT OF THE PHARMACEUTICAL POLLUTION OF NATURAL AND WASTE WATER

Kozlova M.A.

Water Problems Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow

E-mail: mblshok@mail.ru

Abstract. The article treats the problem of pharmaceutical substances discharge into the aquatic environment essentially coming from insufficiently treated municipal wastewater. As a result of the work, a number of pharmaceutical substances were detected in the samples. A comparison of the drugs concentrations found in different seasons (in summer - in winter) was made. For all detected medicinal substances, their hazardous effects on humans and certain types of aquatic organisms were evaluated using the information technology system.

Keywords: water quality, pharmaceutical pollution, municipal wastewater, toxicity assessment.

Введение

Проблема лекарственного загрязнения природных, сточных и питьевых вод является актуальной и сложной в изучении, учитывая, в частности, отсутствие в России стандартных методов определения компонентов лекарственных средств в низких концентрациях (до нг/л) и нормативно установленных значений предельно допустимых концентраций. При этом основными видами лекарств, обнаруженными в окружающей среде, являются антибиотики, анальгетики, гормоны, гиполипидемические препараты и пр. В развитых странах коммунальные сбросы являются основным источником загрязнения.

Установки для очистки городских сточных вод не предназначены для удаления фармацевтических препаратов, которые, кроме того, нельзя рассматривать как однородную группу химических веществ, поскольку коэффициенты сорбции, кинетика превращения и период полураспада в каждой группе фармацевтических веществ в значительной степени различаются. Таким образом, для оценки лекарственного загрязнения водных объектов пробы целесообразно отбирать в зонах сброса очищенных коммунально-бытовых сточных вод или фармацевтических производств.

Отбор проб и выбор целевых соединений для анализа

Для выбора мест проведения отбора проб был составлен список крупных городов, сброс сточных вод которых производится в водные объекты – источники питьевого водоснабжения Москвы, а именно, г. Дмитров, Дубна,

Конаково, Тверь, Истра, Звенигород. Следует отметить, что в очистные сооружения г. Истра поступают сточные воды завода фармацевтической компании ООО «КРКА-Рус» – одного из лидеров фармпроизводства в России, а в г. Звенигород исследования проводились впервые. При этом пробы воды отбирались для разных целей в разные сезоны: в августе 2018 г. – для отработки методики определения лекарственных веществ (тотальный скрининг и поляризационный флуоресцентный иммуноанализ (ПФИА)); в феврале 2019 г. – для определения выбранных целевых лекарственных веществ и для отработки методики.

Методы аналитических исследований

Поляризационный флуоресцентный иммуноанализ (ПФИА). В работе использовался метод ПФИА для отработки определения хлорамфеникола (левомицетина) на пробах воды с сильно загрязненной матрицей. Данный метод является доступной альтернативой хромато-масс-спектрометрическим методам при проведении мониторинга качества вод. Хроматографические методы позволяют проводить измерения с высокой точностью, но требуют специального дорогостоящего оборудования и сложной пробоподготовки. Поэтому для высокопроизводительного скрининга востребованы иммунохимические методы, сочетающие чувствительность и специфичность, но при этом реализуемые с использованием сравнительно простого приборного обеспечения, с минимальной пробоподготовкой и позволяющие одновременно характеризовать несколько десятков и даже сотни проб. ПФИА относится к гомогенным методам анализа и основывается на явлении поляризации флуоресценции, которое обусловлено одновременным протеканием в растворе процессов поглощения и испускания света молекулами флуорофора и их вращением [1, 2]. Достоинствами ПФИА являются: достаточно высокая чувствительность и специфичность, хорошая воспроизводимость, отсутствие трудоемкой пробоподготовки, экспрессность и производительность анализа. Анализ проводился на базе кафедры химической энзимологии химического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова под руководством ведущего научного сотрудника Еремина С.А. Поляризацию флуоресценции регистрировали в кюветах с помощью поляризационного флуориметра «Beacon 2000» (Panvera, США). (подробнее про ПФИА см. [3]).

Результаты анализа показали отсутствие хлорамфеникола (левомицетина) во всех анализируемых пробах (меньше минимальной определяемой концентрации данным методом – 0.1 мкг/мл).

Тотальный скрининг. При тотальном скрининге (пробы отобраны в августе 2018 г.) определялся максимально возможный перечень соединений,

находящийся в пробе, однако для определения именно лекарственного загрязнения был составлен перечень из 20 лекарств, повсеместно используемых, широко распространенных и часто обнаруживаемых в сточных и природных водах других стран.

Анализ осуществлялся на базе Испытательного центра факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова. После соответствующей пробоподготовки (подготовка щелочного и кислого экстрактов) анализ проводился на высокоэффективном жидкостном хроматографе Agilent 1200 series с квадруполь-времяпролетным масс-спектрометрическим детектором (6520 Accurate-Mass Q-TOF LC/MS Agilent Technologies).

Полученные данные конвертировались при помощи программы Trans Protein Pipeline, после чего загружались в программу MZmine, где проводился анализ и обработка полученных масс-спектров, в результате чего были получены списки обнаруженных ионов. Далее по сайту <http://www.hmdb.ca/> проводился поиск возможных веществ, соответствующих обнаруженным ионам.

Удалось обнаружить ионы, соответствующие некоторым лекарствам, в том числе соответствующих списку искомым веществ для анализа по общему скринингу:

– в щелочном экстракте – 2 соединения (левобунолол (бета-адреноблокаторы), циклопентолат (холинолитическое, мидриатическое));

– в кислом экстракте – 2 соединения (анастрозол (противоопухолевое, стероидный гормон - ингибирующее синтез эстрогенов), дипиридамом (сосудорасширяющее, антиагрегационное, антиадгезивное, артериодилатирующее));

– одновременно в щелочном и в кислом экстрактах – 18 соединений (например, вилазодон (антидепрессан), гидроксипрогестерон (эстроген, прогестагенное), карбамазепин (анальгезирующее, антипсихотическое, противоэпилептическое, противосудорожное, нормотимическое, тимолептическое), торасемид (диуретик) и пр.).

Кроме того, были обнаружены бензаприлат (активный метаболит бензаприла (гипотензивное)), производные тетрациклина (антибиотик), изопрокарб (контактный инсектицид). Анализ проб в настоящее время продолжается.

Определение целевых лекарственных веществ. В пробах воды, отобранных в феврале 2019 г., проводился целевой анализ на определение содержания следующих веществ – кофеин, напроксен, сульфаметоксазол, триметоприм, атенолол, дексаметазон, офлоксацин и эритромицин. Выбор названных соединений обусловлен разнообразием их фармацевтических групп (психостимулятор, антибиотики, гормон, антибактериальные препараты), а также их повсеместным использованием. Кроме того, выбор связан с возможностью

проведения анализа по аттестованной методике с использованием стандартных образцов с целью количественного определения концентраций веществ в пределах обнаружения нг/л.

Анализ выполнялся в ЗАО «РОСА», в соответствии с аттестованной методикой НДП 30.1:2:129-2014 «Методика определения содержания лекарственных препаратов в питьевых и природных водах методом ВЭЖХ с масс-спектрометрическим детектированием». Измерение концентраций лекарственных препаратов проводилось методом ВЭЖХ/МС/МС на хроматографе Eksigent Expert UltraLC и масс-детекторе AB SCIEX 4500 фирмы AB SCIEX (Канада).

В табл. 1 представлены результаты 2019 г. (отбор проб проведен в начале февраля, в период заболеваемости населения) и их сравнение с результатами, полученными в 2016 г. в ходе работы по гранту РНФ (отбор проб проводился в сентябре в эпидемиологически благоприятный период).

Таблица 1

Результаты определения компонентов лекарственных средств в 2016 г. и 2019 г.

Место обнаружения	Год отбора	Концентрация, нг/л					
		Кофеин	Напроксен	Офлоксацин	Сульфаметоксазол	Триметоприм	Эритромицин
Канал Старая Яхрома, зона сброса очищенных сточных вод г. Дмитров (г. Дмитров)	2016	200	9,60 ±4,70	11,6 ±6,4	48,2 ±27,0	-	-
	2019	26030	298	-	-	-	-
Ручей Перемерки (впадение в р. Волгу), зона сброса очищенных сточных вод г. Твери (пос. Большие Перемерки)	2016	-	-	7,20 ±3,96	189	-	-
	2019	-	2,10 ±1,47	245 ±135	167	22,0 ±7,9	-
р. Истра, зона сброса очищенных сточных вод г. Истра (пос. Трусово)	2016	-	-	-	83,8 ±46,9	-	-
	2019	-	-	81,0 ±44,6	85,0 ±47,6	-	-
р. Москва, зона сброса очищенных сточных вод г. Звенигорода (г. Звенигород)	2016	Н.п.	Н.п.	Н.п.	Н.п.	Н.п.	Н.п.
	2019	155	29 ±9,3	480 ±264	94,0 ±52,6	68,0 ±24,5	70,0 ±34,3
Примечание: «-» означает, что вещество не обнаружено или его концентрация ниже предела обнаружения. «Н.п.» - означает, что в указанном месте отбор проб не проводился.							

Из табл. 1 видно увеличение содержания кофеина, напроксена и офлоксацина в феврале 2019 г. по сравнению с 2016 г. Кроме того, в 2019 г. дополнительно обнаружен триметоприм и эритромицин. При этом концентрация

сульфаметоксазола осталась на прежнем уровне. Таким образом, можно сделать вывод о целесообразности проведения аналитических исследований по-сезонно, с привязкой к периодам вспышек заболеваемости населения.

Оценка опасности обнаруживаемых соединений для человека и некоторых видов гидробиоты с использованием различных информационных технологий

У многих лекарств в ходе массового клинического использования проявляются не обнаруженные ранее токсические эффекты. Сходная ситуация может быть у метаболитов. Для вторичных физико-химических продуктов лекарственных веществ на практике вообще не предусмотрено проведение каких-либо токсикологических исследований.

Оценка опасности (возможное побочное действие и токсичность) проводилась для обнаруженных целевых лекарственных веществ, а также для всех соединений, определенных в ходе отработки методики по разработанной системе (см., например, [4] подраздел 14.4.4.) с использованием информационных технологий.

Первый этап включал поиск свойств веществ по электронным базам данных и регистрам, где представлены сведения о видах биологической активности и токсичности различных веществ, величинах предельно допустимых концентраций или, по крайней мере, представлены списки особо опасных токсических веществ. К сформированному перечню таких баз в 2019 г. добавлены некоторые новые информационные источники, например, портал PubChem.

Второй этап оценки включал использование методов биоинформатики - прогноза биологической активности (БА) на основе связей химической структуры и/или физических и химических свойств молекулы, обусловленных структурой, со спектром ее биологической активности. Наиболее эффективным оказался метод на основе обучающей выборки. Такой метод, разработанный Институтом биомедицинской химии им. В.Н. Ореховича Российской академии медицинских наук (ИБХМ РАМН), преимущественно для конструирования новых лекарств, реализован в компьютерной программе Prediction of Activity Spectra for Substances (PASS) [5] и впервые применен для оценки БА органических ксенобиотиков, загрязняющих воду, включая лекарства.

Список прогнозируемых PASS видов биологической активности включает в себя основные и побочные фармакологические эффекты, биохимические механизмы действия, специфическую токсичность, нежелательные мишени и эффекты, связанные с метаболизмом, транспортом и влиянием на экспрессию генов. Современная версия компьютерной программы PASS 2014

прогнозирует 7157 активностей на основе данных о 959801 соединений. Средняя точность предсказания, рассчитанная по методу исключения по одному, составляет 94,1 %.

Оценочный прогноз показал, что обнаруженные соединения проявляют или, могут проявлять различные, довольно серьезные виды токсического (побочного) действия, например, цитотоксичность (напроксен, сульфаметоксазол), эмбриотоксичность (офлоксацин, кофеин, эритромицин, триметоприм), образование язв (напроксен, сульфаметоксазол), тератоген (эритромицин, триметоприм) и т.д.

Информационные технологии позволяют прогнозировать и некоторые количественные показатели экологической токсичности для химических соединений. Такой прогноз был проведен с помощью программы GUSAR [6] (см. табл. 2). Модели в программе были разработаны, в том числе, для следующих показателей:

- фактор биоаккумуляции;
- LC₅₀ (средняя смертельная концентрация) для дафний (*Daphnia magna*) в 48-часовом эксперименте,
- LC₅₀ для голяна (*Fathead Minnow*) в 96-часовом эксперименте,
- IGC₅₀ (концентрация полумаксимального ингибирования роста) для инфузории тетрахимена пириформис (*Tetrahymena pyriformis*).

Таблица 2

Результаты расчета показателей экологической токсичности

Рассчитанный показатель	Кофеин	Напроксен	Офлоксацин	Сульфаметоксазол	Триметоприм	Эритромицин
Фактор биоаккумуляции	0,971	23,335	1,042	2,958	2,244	-
<i>Daphnia magna</i> LC ₅₀ (мг/л)	31,567	0,600	4,207	2,181	0,476	0,253
<i>Fathead Minnow</i> LC ₅₀ (мг/л)	276,839	4,209	12,530	162,405	25,638	-
<i>Tetrahymena pyriformis</i> IGC ₅₀ (г/л)	207,122	13,465	49,425	395,912	184,027	121,802
Примечание: «-» - результаты расчета не входят в область применимости модели						

Наибольшим фактором биоаккумуляции (отношение концентрации вещества в живом организме к концентрации того же вещества в окружающей среде) обладает напроксен. При этом максимальные значения LC₅₀ для голяна и IGC₅₀ для инфузории присущи кофеину и сульфаметоксазолу. Всё это дает основание думать, что обнаруженные лекарственные вещества даже при низких концентрациях способны негативно влиять на гидробионтов и экосистему водоема, в целом.

Заключение

Таким образом, в настоящее время установлено, что большое количество самых распространенных лекарств выводятся из организма в неизменном виде, оставаясь биологически активными и практически не теряя своих свойств. Хорошая растворимость большинства лекарственных препаратов в воде значительно затрудняет очистку сточных вод от данных соединений. Кроме того, они плохо разлагаются активным илом очистных сооружений и проходят через них транзитом, поступая затем в природную воду.

В связи с этим обстоятельством должны быть пересмотрены технологические решения по подготовке и очистке воды, особенно для густонаселенных территорий, использующих в водозаборах поверхностные воды. При этом, несомненно, должны быть разработаны мероприятия по сбору и утилизации просроченных или неиспользуемых лекарств у населения, что уже успешно реализуется в зарубежных странах.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00316.

Список литературы

1. Smith D.S., Eremin S.A. Fluorescence polarization immunoassays and related methods for simple, high-throughput screening of small molecules. *Anal Bioanal Chem* 2008; 391: 1499-1507.
2. Еремин С.А. Поляризационный флуоресцентный иммуноанализ физиологически активных веществ. В кн.: Биохимические методы анализа. / Под ред. Б.Б. Дзантиева; М.: Наука; 2010. С. 368-389.
3. Еремин С.А., Хан О.Ю., Писарев В.В., Зверева Е.А., Жердев А.В., Дзантиев Б.Б. Флуоресцентный поляризационный иммуноанализ для экспрессного контроля содержания антибиотиков: разработка и характеристика на примере хлорамфеникола // Антибиотики и химиотерапия, 2016. Т. 61, № 9-10. С. 39-43.
4. Степановская И.А., Авандеева О.П., Баренбойм Г.М., Веницианов Е.В., Чиганова М.А. Информационные технологии мониторинга водных объектов. Гл. 14. // Научные основы создания систем мониторинга качества природных поверхностных вод / Под науч. ред. Баренбойма Г.М., Веницианова Е.В. М.: Научный мир, 2016. С. 363-411.
5. Filimonov D.A., Poroikov V.V. Probabilistic approach in activity prediction // *Cheminformatics Approaches to Virtual Screening*. Cambridge (UK): RSC Publishing, 2008. P. 182-216.
6. Lagunin A. QSAR Modelling of Rat Acute Toxicity on the Basis of PASS Prediction / A. Lagunin, A. Zakharov, D. Filimonov, V. Poroikov // *Molecular informatics*, 2011. 30. P. 241-250.

ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВОД МОЖАЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПРИ СМЕНЕ ПОГОДЫ В АВГУСТЕ 2017 Г.: РЕЗУЛЬТАТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

*Гончаров А.В.¹, Пуклаков В.В.¹, Гречушникова М.Г.¹,
Кременецкая Е.Р.², Замана В.Г.³*

¹Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,

²ИВП РАН, ³АО «Мосводоканал», г. Москва

E-mail: mama15333@mail.ru

Аннотация. В Красновидовском плесе Можайского водохранилища в августе 2017 г. при антициклональной погоде происходило усиление вертикальной стратификации вод, увеличение амплитуды суточных изменений температуры воды поверхностного слоя с минимумом утром и максимумом во второй половине дня. В циклональный период стратифицированность водной толщи резко уменьшилась - сформировался однородный, до глубины 10 м, эпилимнион. Интенсивность продукционно-деструкционных процессов в теплый период была в 1,5-2 раза выше, чем в холодный. При антициклональной погоде суточный ход первичной продукции фитопланктона повторяет ход солнечной радиации; максимум деструкции, как и кислорода, наблюдается во второй половине дня.

Ключевые слова: первичная продукция фитопланктона, вертикальная структура вод, Можайское водохранилище, стратификация, растворенный кислород.

HYDROECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE MOZHAISK RESERVOIR WATER DURING THE CHANGE OF WEATHER IN AUGUST 2017: RESULTS OF AUTOMATED MEASUREMENTS

*Goncharov A.V.¹, Puklakov V.V.¹, Grechushnikova M.G.¹,
Kremenetskaya E.R.², Zamana V.G.³*

¹Moscow state University named after M.V. Lomonosov,

²IVP RAN, ³Mosvodokanal JSC, Moscow

E-mail: mama15333@mail.ru

Abstract: In the Krasnovidovsk stretch of the Mozhaisk reservoir in August 2017, under anticyclonic weather, there was an increase in vertical stratification of water, an increase in the amplitude of daily changes in the water temperature of the surface layer with a minimum in the morning and a maximum in the afternoon. During the cyclonal period, stratification of the water column decreased sharply - a homogeneous, up to a depth of 10 m, epilimnion was formed. The intensity of primary production and destruction processes in the warm period was 1.5-2 times higher than in the cold one. In anticyclonic weather, the daily course of primary phytoplankton production repeats the course of solar radiation; the maximum destruction, as well as oxygen, is observed by the evening.

Keywords: primary phytoplankton production, vertical structure of water, Mozhaisk reservoir, stratification, dissolved oxygen.

Известно, что протекающие в водоемах разнообразные процессы (гидрологические, гидрохимические, биологические) тесно связаны между собой. В результате жизнедеятельности планктона осуществляется синтез и разложение

органического вещества, выделение и потребление кислорода, что влияет на окислительно-восстановительные условия и многие химические, а также физические явления в водоемах. С другой стороны, продукционные процессы зависят от количества биогенных веществ, температуры воды, освещенности, от вертикальной структуры водных масс, характера вертикального перемешивания.

Целью нашего исследования было изучение трансформации отдельных гидроэкологических параметров (первичной продукции и деструкции органического вещества в воде, вертикальной структуры водной массы) в Красновиновском плесе Можайского водохранилища при резком изменении погоды.

Объект исследования

Работа проводилась на Можайском водохранилище, созданном в 1961 г. В верховьях р. Москва. Оно осуществляет многолетнее регулирование речного стока с водосборной площади 1335 км² и является одним из источников водоснабжения столичного мегаполиса. Расход воды из водохранилища может меняться от 1,5 до 400 м³/с при среднегодовом значении сброса 9,4 м³/с. Длина водоема составляет 28 км, площадь – 30,7 км², средняя глубина – 7,7 м, у плотины – до 22 м [1, 2]. По своему трофическому статусу оно относится к слабо эвтрофным водоемам, в которых регулярно в летние месяцы наблюдается «цветение» воды. В летний период водохранилище, как правило, стратифицировано по вертикали с четко выраженным термоклином, максимальные значения градиента температуры в котором достигают 6 °С/м [3]. В гипolimнионе практически ежегодно наблюдаются зоны аноксии, размеры которых зависят от гидрометеорологических условий года, тогда как в поверхностном слое эпилимниона при интенсивном фотосинтезе фитопланктона содержание кислорода в отдельные дни может достигать 200 % насыщения.

Методы исследования

Для изучения режима внутрисуточных изменений первичной продукции и деструкции органического вещества в водах Можайского водохранилища, нами была разработана автоматизированная продукционная установка, которая состоит из двух сосудов каплевидной формы со стеклянными патрубками сверху и снизу [4]. Верхние патрубки открыты, нижние – соединены силиконовыми трубками с водяным насосом, работающим от аккумулятора. Насос обеспечивает смену воды в сосудах каждые 3 часа. В сосуды вмонтированы регистраторы кислорода с оптическими датчиками (производства фирмы Onset, США), которые измеряют содержание растворенного в воде кислорода каждые 15 мин. Продукциометр располагается на глубине 0,5 м. Кроме того, каждый час регистрируется вертикальное распределение температуры воды

по глубине на горизонтах 0,1, 0,5, 1, 2, 3, 4, 6, 7, 10, 14 м и фотосинтетически активная солнечная радиация (ФАР) – приборами фирмы Onset, США. Все приборы и оборудование были установлены на плавучей платформе в средней части Красновидовского плеса Можайского водохранилища (55°34,9' с.ш., 35°51,4' в.д.) на глубине 0,5 м.

Наблюдения проводились с 12 по 31 августа 2017 г. При анализе результатов исследований использовались данные наблюдений за погодой на метеостанции г. Можайск, расположенной в 12 км от места расположения плавучей платформы.

Результаты

По погодным условиям время наблюдений четко делится на два периода: антициклональный – с 12 по 21 августа – при средних значениях атмосферного давления $P_{\text{атм}} = 1000$ мб, температуры воздуха $T_{\text{в}} = 20,4^{\circ}\text{C}$, скорости ветра $W = 1,5$ м/с, общей облачности $N = 3$ балла и циклональный – с 22 по 31 августа – при $P_{\text{атм}} = 990$ мб, $T_{\text{в}} = 14,4^{\circ}\text{C}$, $W = 2,4$ м/с, $N = 8$ баллов.

При антициклональном типе погоды (АТП) суточная амплитуда изменений температуры воды в поверхностном слое составляла в среднем $1,42^{\circ}\text{C}$ при диапазоне её изменений $0,69$ - $3,03^{\circ}\text{C}$, а при циклональном типе погоды (ЦТП) – она практически не заметна на фоне общего плавного снижения температуры воды поверхностного слоя к концу периода до $18,2^{\circ}\text{C}$. При антициклональной погоде суточный минимум температуры воды в поверхностном слое наблюдался в среднем в 8 часов утра при амплитуде колебаний этого срока с 6:45 до 8:45, а максимум температуры воды – в 17:30 при амплитуде колебаний с 14:45 до 20:45.

Режим поступления ФАР также резко изменился при переходе от антициклонального к циклональному типу погоды. В первый период среднесуточное поступление ФАР было достаточно стабильным и составляло в среднем 438 уЕ, максимум поступления ФАР приходился на 13:30 и достигал 1541 уЕ. Во второй период при прохождении циклона с 22 по 31 августа среднее значения ФАР снизилось до 186 уЕ при колебании среднесуточных значений от 53 до 328 уЕ. Максимум значений ФАР в большинстве случаев по-прежнему приходился на срок 13:30, а его значения не превышали 1000 уЕ.

Такие различия погодных условий сказались не только на характеристиках поверхностного слоя воды, но и на вертикальной структуре водных масс, которая имеет существенное значение для протекающих в водоеме процессов продукции и деструкции органических веществ. Во время антициклональной погоды наблюдалось усиление вертикальной стратификации вод. Разность среднесуточных значений поверхностной и придонной температур воды

увеличилась с 7,1 °С 12 августа до 7,6 °С 21 августа. Сезонный слой скачка располагался на глубине 7 м.

Обращает на себя внимание высокая изменчивость в это время значений температуры воды на отдельных горизонтах эпилимниона. Связано это как с внутрисуточной изменчивостью теплового баланса водной поверхности, так и с атмосферными воздействиями, в частности, ветра и атмосферного давления, вызывающими стоно-нагонные и сейшевые колебания водной массы эпилимниона. При антициклональной погоде в малооблачные дни со скоростями ветра не более 2 м/с (такими были 12 и 16-19 августа) после 9:00 утра поверхностный метровый слой воды начинает быстро прогреваться. В результате этого в нем возникают большие вертикальные градиенты температуры (до 2 °С/м) и, соответственно, плотности воды, формируя суточный термоклин. Во второй половине дня, начиная с 14-15, он начинает заглубляться, постепенно размываясь при этом, и к 20:00 опускается на глубину 1,5-2 м. Ночная конвекция способствует его дальнейшему погружению до глубины 2,5-3 м, в зависимости от степени выхолаживания водной поверхности.

Приход циклона сопровождался усилением облачности до 10 баллов, скорости ветра до 4-5 м/с, выпадением атмосферных осадков. Все это привело к быстрому выхолаживанию поверхностных слоев воды с 24 °С 22 августа до 18 °С 30 августа. Синоптический термоклин, сформировавшийся за время антициклональной погоды на глубине 3-4 м, всего за сутки 22 августа опустился на глубину 5 м, а к концу дня 23 августа вся водная толща эпилимниона до глубины залегания сезонного слоя скачка (7 м) была полностью перемешана. Интенсивная эрозия сезонного термоклина продолжалась с 24 по 29 августа, в результате чего он заглубился на глубину 10 м (глубина русловой бровки затопленной долины р. Москва в районе наблюдений) 30 августа, градиенты температуры в нем уменьшились за это время с 1,5 до 0,5 °С/м. Таким образом, к концу циклонального периода в Красновидовском плесе сформировался практически однородный эпилимнион до глубины 10 м, стратифицированность водной толщи уменьшилась с 7,6 °С 21 августа до 1,8 °С 30 августа.

Разнообразие погодных условий, наблюдавшееся во время исследований, существенным образом отразилось и на режиме продукционно-деструкционных процессов в водоеме. В антициклональный период продукционно-деструкционные процессы протекали значительно интенсивнее (примерно в 1,5 раза), чем в период циклональной погоды. В табл. 1 представлены средние значения некоторых характеристик этих процессов, которые показывают, что при АТП продукция была в 1,5 раза, деструкция – в 1,6 раза, содержание растворенного кислорода (O₂) в поверхностном слое – в 1,5 раза боль-

ше, чем при ЦТП. Тем не менее, продукция ОВ во время наблюдений превышала деструкцию как при АТП (на 21 %), так и при ЦТП (на 30 %). Это связано с тем, что, несмотря на заметное снижение температуры воды и поступления ФАР во время ЦТП, вынос к поверхности богатыми биогенами глубинных вод в результате интенсивного вертикального перемешивания при циклональной погоде (22 августа в гипolimнионе Красновидовского плеса содержание фосфатов достигало 0,603 мг/л, аммония – 0,633 мг/л) создает благоприятные условия по питанию для продуцирования фитопланктона.

Таблица 1

Средние значения и пределы изменений характеристик продукционно-деструкционных процессов в периоды АТП и ЦТП во время наблюдений 12-31.08.17 г.

Характеристики	АТП		ЦТП	
	Среднее	Диапазон	Среднее	Диапазон
T, град	23,5	22,7 – 24,0	20,6	18,4 – 23,5
ФАР, uE	437,8	328,8 – 492,5	186,3	52,9 – 327,7
П, мгO ₂ /л*час	0,19	0,11 – 0,28	0,13	0,05 – 0,17
Д, мгO ₂ /л*час	0,16	0,12 – 0,20	0,10	0,08 – 0,15
O ₂ , мг/л	12,09	10,24 – 12,94	8,13	6,98 – 11,95
O ₂ , %	140	117 – 151	90	74 - 139
П/Д	1,21	0,84 – 1,44	1,30	0,51 – 1,67

Обращает на себя внимание то, что суточные максимумы П при АТП опережают максимумы температуры воды на 6-9 часов и в большинстве случаев наблюдаются одновременно с максимумами ФАР. При ЦТП время наступления суточных максимумов П также совпадает с временем наступления максимумов ФАР, что говорит о её определяющей роли в продуцировании фитопланктона. Коэффициент корреляции между значениями П и ФАР за весь период наблюдений $r = 0,88$, тогда как между П и T корреляция $r = 0,24$. Деструкция, наоборот, тесно связана с температурой воды ($r = 0,61$), поскольку интенсивность биохимических процессов разложения ОВ во многом определяются именно температурой окружающей среды и в аэробных условиях подчиняется известному правилу Вант-Гоффа [5]. Столь слабое влияние изменчивости температурных условий на продукционные процессы можно объяснить тем, что за весь период наблюдений температура воды поверхностного слоя изменялась в пределах 18,2-25,0 °С, оптимальных для развития теплолюбивых видов фитопланктона, продуцирующих в это время.

Содержание растворенного в поверхностных слоях воды кислорода (O₂) в летний период времени существенным образом связано с продукционно-деструкционными процессами. Наши наблюдения показали, что при разных

погодных условиях их взаимосвязь существенно различается. Корреляционная связь между среднесуточными значениями П и O₂ при АТП составляет $r = 0,80$, тогда как при ЦТП она слабее вдвое ($r = 0,40$). В то же время теснота корреляционной связи Д и O₂ практически одинакова как при АТП ($r = 0,70$), так и при ЦТП ($r = 0,77$). Несколько неожиданным представляется то, что максимумы кислорода приурочены ко второй половине дня, хотя, казалось бы, они должны быть в полдень (как и у продукции). Объяснить это можно тем, что первый период наблюдения (мы рассматриваем его) характеризовался слабым ветром и слабым вертикальным перемешиванием водной массы. Поэтому можно предположить, что потоки кислорода в атмосферу и в нижележащие слои водоема были в это время невелики, его содержание у поверхности в течение дня постепенно возрастало до тех пор, пока вечером интенсивность деструкции не стала превышать интенсивность фотосинтеза.

Выводы:

1. Для антициклонального типа погоды в летний период характерна большая амплитуда изменений температуры воды поверхностного слоя в течение суток с минимумом утром и максимумом во второй половине дня. Для циклональной погоды характерно плавное понижение температуры воды поверхностного слоя с практически полным отсутствием её внутри суточных колебаний.

2. В период прохождения летнего антициклона в водоеме происходит усиление вертикальной стратификации вод. В это время наблюдается пульсационная изменчивость плотностной устойчивости слоев эпилимниона с суточной периодичностью, при этом полная однородность поверхностных слоев наблюдается только в ночное время до глубины залегания синоптического слоя температурного скачка. При циклональной погоде происходит заглубление синоптического термоклина, формирование полностью перемешанного эпилимниона до глубины сезонного слоя температурного скачка и, при благоприятных условиях, заглубление последнего.

3. В разгар летнего периода интенсивность продукционно-деструкционных процессов при АТП в 1,5-2 раза выше, чем при ЦТП, причем продукция превышает деструкцию как при АТП, так и при ЦТП.

4. В период антициклональной погоды летом суточный ход первичной продукции повторяет ход солнечной радиации (ФАР) и на несколько часов опережает график температуры воды. Деструкция органического вещества связана с температурой воды, ее максимум обычно наблюдается во второй половине дня. Максимум растворенного кислорода также наблюдается во второй половине дня.

Исследование проведено при поддержке РФФИ (проект № 18–05–01066) и ГЗ АААА–А16–116032810054–3. Авторы выражают благодарность К.В. Романову и А.В. Коноваленко (ООО «ТРЕКОМ») за помощь в изготовлении продукциометра.

Список литературы

1. Эдельштейн К.К. Водные массы долинных водохранилищ. М.: Изд-во МГУ, 1991. 176 с.
2. Гидроэкологический режим водохранилищ Подмосковья (наблюдения, диагноз, прогноз) / Под ред. К.К. Эдельштейна. М.: Изд-во «Перо», 2015. 286 с.
3. Комплексные исследования водохранилищ. Вып.3. Можайское водохранилище / под ред. В.Д. Быкова и К.К. Эдельштейна. М.: Изд-во МГУ, 1979. 400 с.
4. Гончаров А.В., Гречушникова М.Г., Пуклаков В.В. Новые возможности классического метода: автоматизированное определение первичной продукции и деструкции органического вещества в водоеме // Биология внутренних вод. 2018. № 4. С. 107-110.
5. Бикбулатов Э.С. Биогенные элементы и их трансформация в водных экосистемах. Рыбинск: Изд-во ОАО «Рыбинский дом печати», 2009. 290 с.

© Гончаров А.В., Пуклаков В.В., Гречушникова М.Г.,
Кременецкая Е.Р., Замана В.Г., 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
СЕКЦИЯ I. «Управление режимами работы водохранилищ и их каскадами: проблемы, современные методы и модели и информационные технологии»	4
Александровский А.Ю., Борщ П.С. Проблемы управления каскадами водохранилищ в современных условиях	4
Тишков А.А., Белоновская Е.А., Царевская Н.Г. Озера-водохранилища национального парка «Валдайский» и их вклад в экологическое состояние Верхне-Волжской и Невско-Ладужской водных систем	8
Веницианов Е.В. Актуальные правовые и экономические проблемы охраны вод России.....	15
Зиновьев А.Т. Математическое моделирование гидрологических процессов в водохранилищах и нижних бьефах сибирских ГЭС.....	23
Курбанчиев Г.С., Гаджиев М.К. Управление водохранилищами Западно-Каспийского бассейнового округа: проблемы и решения	30
Горелиц О.В., Ермакова Г.С., Землянов И.В. Изменения гидрологического режима Волго-Ахтубинской поймы под влиянием регулирования стока Волжско-Камским каскадом водохранилищ.....	37
Баринов А.Н. Проблемы эксплуатации Чебоксарского водохранилища на непроектной отметке	45
Болгов М.В., Филиппова И.А., Осипова Н.В., Трубецкова М.Д., Коробкина Е.А. Развитие методов оценки гидрологических характеристик для эффективного управления водными ресурсами в бассейне реки Амур	51
Бубер А.Л., Бубер В.Б. Оптимальное управление режимами работы комплекса «оз. Байкал – Иркутское водохранилище» на основе методов многокритериального анализа	56
Капустин С.В., Короткова Л.А., Озерова Г.С. Режим работы водохранилищ Ангаро-Енисейского каскада ГЭС в 2018 году	63
Бубер А.А., Головинов Е.Э., Талызов А.А. Управление водными ресурсами водохранилищ Ангарского каскада на основе гидродинамического моделирования	66
Махова Л.А., Дементьева Е.А. Анализ управления режимами водохранилищ зоны деятельности Верхне-Волжского БВУ	74
Дубинина В.Г., Никитина О.И. Об учете экологического фактора при управлении водными ресурсами водохранилищ	80
Тихомиров А.Н., Дорожкин Е.В., Буковский М.Е., Валяева А.М. Оценка влияния Тамбовского водохранилища на водный режим и состояние водных и околоводных экосистем реки Лесной Тамбов.....	87
Махинов А.Н., Ким В.И., Остроухов А.В., Лю Шугуан, Махинова А.Ф., Матвеев Д.В. Крупный оползень в горной части Бурейского водохранилища и его негативные последствия	93
Махинова А.Ф., Махинов А.Н. Оползневые явления в береговой зоне Бурейского водохранилища и их влияние на почвенный покров	100
Макаров А.В., Неров И.О. Оползень на Бурейском водохранилище: последствия, проблемы, решения.....	106
Макарьева О.М., Виноградова Т.А., Нестерова Н.В., Осташов А.А. Математическое моделирование бокового притока воды в Среднеканское водохранилище.....	112

Смирнова Л.Я., Белковский В.М. Особенности разработки правил использования озерных каскадов водохранилищ	119
Падалко Ю.А. Водоохранилища в трансграничном бассейне р. Урал: современное состояние и проблемы	127
Сивохип Ж.Т., Павлейчик В.М. Ландшафтно-гидрологические и водохозяйственные аспекты регулирования стока в бассейне реки Урал.....	133
Гаджиев М.К. Экологическое состояние Чограйского водохранилища.....	139
Атанов Ю.Г., Парамонов Ю.Н. Управление водными ресурсами Белгородского водохранилища в условиях сложившейся экологической обстановки	145
Шишкин В.О., Островский В.Т., Островский Н.В., Скачкова С.А. Проблемы зарастания малых водохранилищ и их реабилитация.....	151
Гасюль С.В. Наблюдения за отложениями наносов в зоне выклинивания Красноярского водохранилища.....	158
Зиганшин И.И., Иванов Д.В. Проблемы и перспективы туристско-рекреационного освоения островов и мелководий Куйбышевского водохранилища	164
Лепихин А.П., Любимова Т.П. Особенности вычислительной гидродинамики крупных водохранилищ	170
Жукова С.В., Подмарева Т.И., Косенко Ю.В., Барабашин Т.О., Бурлачко Д.С., Бондарев С.В., Гуськова О.С. Типизация водоемов Ростовской области для целей товарной аквакультуры (по результатам комплексных исследований 2018 г.).....	175
Милютин И.Ю., Сапожникова А.А., Павловский А.Е. Роль аккумулирующей емкости Ивинского разлива в режиме работы Верхне-Свирского водохранилища.....	182
Салугин А.Н. Системная динамика в управлении водными ресурсами в среде Anylogic	189
Зимнюков В.А., Зборовская М.И., Козимиров Н.Ю. Роль местоположения водопропускных гидротехнических сооружений малого водоёма в повышении устойчивости его экосистемы	195
Михайлов А.В. Оценка влияния добычи песчано-гравийных смесей на изменение береговой линии Воткинского водохранилища	200
Матвеева Л.Г., Чернова О.А. Методы оценки рисков состояния и использования потенциала водохранилищ	206
Боргин Н.Н. Оценка потерь воды из водохранилищ Дальнего Востока	214
Борисенко В.И., Мальцев В.С. Использование водных ресурсов Новосибирского водохранилища в современных условиях.....	221
Сутурин А.Н., Фирсова А.Д. Иркутское водохранилище как источник водоснабжения: проблемы и пути их решения.....	230
Потемкина Т.Г., Кравцова Л.С., Потемкин В.Л. Изменения режима уровня воды оз. Байкал и его влияние на состояние гидробионтов прибрежной зоны	236
Беляев А.И., Пугачёва А.М., Власенко М.В. Современное состояние и экологические проблемы малых рек бассейна реки Дон	240
СЕКЦИЯ II. «Развитие методов проведения мониторинга состояния дна, берегов и водоохраных зон водохранилищ с использованием современных информационных технологий, методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и беспилотных летательных аппаратов (БЛА)».....	245
Калинин В.Г., Ковязина И.А. Результаты исследований процессов формирования рельефа дна долинных водохранилищ	245

Пятов А.Г., Голубихина Ю.Б., Кравец Е.А. Государственный мониторинг водохранилищ - источников питьевого водоснабжения на примере Ивановского водохранилища	251
Лупанова И.А., Крутенко С.А., Григорьева И.Л., Федорова Л.П. Комплексный мониторинг Угличского водохранилища	259
Костров А.В. Организация и проведение мониторинга состояния дна, берегов и режима использования водоохранной зоны Горьковского водохранилища	267
Поздняков Ш.Р., Иванова Е.В., Гузева А.В., Ревунова А.О., Тихонова Д.В. Оценка микропластикового загрязнения водохранилищ и озер – необходимый элемент современного экологического мониторинга	276
Скрипка Г.И., Сапрыгин В.В., Филатов А.А. Оценка потерь земли по результатам мониторинга водоохранной зоны Цимлянского водохранилища с использованием беспилотных летательных аппаратов	282
Ивлиева О.В., Беспалова Л.А., Сердюк Л.В. Оценка густоты эрозионной сети водоохранной зоны Цимлянского водохранилища с использованием современных информационных технологий и беспилотных летательных аппаратов (БЛА) в целях совершенствования методов государственного мониторинга	288
Беспалова Л.А., Ивлиева О.В., Глинка В.В. Создание банка данных типов берегов Цимлянского водохранилища на основе материалов мониторинга, выполненного с помощью беспилотных летательных аппаратов.....	295
Говорский А.В. Организация мониторинга акватории Богучанского водохранилища с применением БЛА.....	301
Гречушников М.Г., Репина И.А., Степаненко В.М., Варенцов М.И., Артамонов А.Ю. Энерго- и газообмен равнинных водохранилищ с атмосферой по данным специализированных экспериментов, моделирования и дистанционного зондирования	306
Шинкаренко С.С., Кошелева О.Ю. Определение зон затоплений речных пойм по материалам дистанционного зондирования земли	312
Извекова О.В. Организация мониторинга за состоянием водохранилищ питьевого и хозяйственно-бытового назначения Баренцево-Беломорского бассейнового округа	315
Михайлов А.В., Дудин Д.В. Опыт ведения мониторинга поверхностных водных объектов в Кировской области: проблемы, предложения.....	323
Шабанов В.В., Маркин В.Н. Многоуровневая система мониторинга водохранилищ	329
Шаткова М.Е. Создание геоинформационной системы по сведениям о береговой линии, границах водоохранных зон, зон затопления, подтопления, внесенных в государственный водный реестр	336
СЕКЦИЯ III. «Современные методы оценки качества вод, экологического состояния и реабилитации водохранилищ».....	340
Джамалов Р.Г., Сафронова Т.И., Решетняк О.С., Мягкова К.Г., Власов К.Г. Химический состав и степень загрязнения водохранилищ Верхней Волги	340
Долгов С.В., Коронкевич Н.И., Кашутина Е.А., Барабанова Е.А., Шапоренко С.И. Природные и антропогенные факторы поступления биогенов в водохранилища.....	347
Бакаева Е.Н., Игнатова Н.А., Тарадайко М.Н. Биодиагностика качества вод и донных отложений приплотинной части Цимлянского водохранилища.....	355

Григорьева И.Л., Лапина Л.Э. Анализ связи между притоком воды и гидрохимическими показателями Иваньковского водохранилища за многолетний период	361
Лобойко В.Ф., Овчарова А.Ю. Причины возникновения экологических проблем прибрежной зоны южной части Волгоградского водохранилища и пути их решения	367
Кулик А.В., Кулик А.К., Хныкин А.С. Экологическое состояние Цимлянского водохранилища	373
Шмакова М.В., Рахуба А.В. Моделирование распространения максимальной мутности воды в акватории водохранилищ	379
Домышева В.М., Панченко М.В., Иванов В.Г., Пестунов Д.А., Сакирко М.В. Изучение сезонной динамики содержания парниковых газов в толще воды Байкала и водохранилищ Иркутской и Красноярской ГЭС.....	384
Панченко М.В., Домышева В.М., Пестунов Д.А., Иванов В.Г. Исследование пространственного распределения концентрации CO ₂ и CH ₄ на водохранилищах Иркутской, Красноярской ГЭС и по акватории оз. Байкал.....	391
Константинов Н.С., Коробков А.А., Астахов С.В. Влияние деятельности золотодобывающих организаций на состояние Зейского водохранилища	397
Шестеркин В.П. Многолетняя динамика содержания железа в воде Бурейского водохранилища.....	403
Кондратьева Л.М., Махинов А.Н., Ким В.И., Филиппова Г.М. Изменение качества воды в акватории крупного оползня на Бурейском водохранилище.....	409
Сухоруков Б.Л., Решетняк Н.В., Ковалёва Г.Е. Состояние Цимлянского водохранилища по данным дистанционной спектроскопии нижнего уровня	416
Яхонтова М.В. Экологическая реабилитация Саяно-Шушенского водохранилища: сбор, извлечение и захоронение древесного хлама	423
Еремеева А.О., Бобровицкая Н.Н. Особенности загрязнения донных отложений Нарвского водохранилища.....	430
Чекмарева Е.А., Григорьева И.Л. Донные отложения как источник вторичного загрязнения Иваньковского водохранилища	437
Решетняк О.С., Джамалов Р.Г., Сафронова Т.И., Власов К.Г., Решетняк В.Н., Мягкова К.Г. Динамика качества воды Камских водохранилищ	442
Волкова З.В., Бреховских В.Ф. Оценка многолетней динамики качества вод дельты р. Волга	450
Даценко Ю.С., Пуклаков В.В. Анализ многолетних изменений экологического состояния Можайского водохранилища по расчетам его кислородного режима.....	457
Возняк А.А., Лепихин А.П. Оценка диффузного стока загрязняющих веществ в бассейне Камского водохранилища в районе Соликамско-Березниковского промышленного узла.....	461
Кренёва К.В., Кренёва С.В. Современное состояние Цимлянского водохранилища по показателям микрозоопланктона	468
Кулыгин В.В. Моделирование кислородного режима Цимлянского водохранилища	474
Козлова М.А. Оценка опасности лекарственного загрязнения природных и сточных вод.....	481
Гончаров А.В., Пуклаков В.В., Гречушников М.Г., Кременецкая Е.Р., Замана В.Г. Гидроэкологические особенности вод Можайского водохранилища при смене погоды в августе 2017 г.: результаты автоматизированных измерений.....	489

**ВОДОХРАНИЛИЩА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ:
СОВРЕМЕННЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ,
СОСТОЯНИЕ, УПРАВЛЕНИЕ**

*Сборник материалов Всероссийской
научно-практической конференции*

Издается в авторской редакции

Подписано в печать 09.09. 2019 г.
Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 57,7. Уч. изд. л. 58,0. Тираж 500. Заказ № 47-7587.

Издательство Лик
346430, г. Новочеркасск, пр. Платовский 82 Е
тел: 8(8635)226-442, 8-952-603-0-609

Отпечатано в Издательско-полиграфическом комплексе «Колорит»
346430, г. Новочеркасск, пр. Платовский 82 Е
тел: 8(8635)226-442, 8-918-518-04-29, center-op@mail.ru