

Государственная публичная научно-техническая библиотека
Институт химии нефти
Сибирского отделения Российской академии наук
Югорский НИИ информационных технологий

Серия "Экология"
Издается с 1989 г.
Выпуск 71

Г.Н. Ерохин, В.Н. Копылов, Ю.М. Полищук, О.С. Токарева

**ИНФОРМАЦИОННО-КОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ
ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ВОЗДЕЙСТВИЙ
НЕФТЕДОБЫЧИ НА ПРИРОДНУЮ СРЕДУ**

Аналитический обзор

Новосибирск, 2003

ББК 28.081 + 33.361

Информационно-космические технологии для экологического анализа воздействий нефтедобычи на природную среду = Information and Satellite Technologies for Ecological Analysis: Аналит. обзор / Г.Н. Ерохин, В.Н. Копылов, Ю.М. Полищук, О.С. Токарева; ГПНТБ СО РАН, ИХН СО РАН, ЮНИИ ИТ; Науч. ред. д.ф.-м.н. В.А. Крутиков. – Новосибирск, 2003. – 98 с. – (Сер. Экология. Вып. 71).

ISBN 5-94560-039-3

В обзоре рассмотрены теоретические и прикладные аспекты применения методов и средств дистанционного зондирования Земли в задачах экологического мониторинга воздействий техногенных факторов на природную среду нефтедобывающих регионов. Рассмотрены проблемы создания региональных центров космического мониторинга окружающей среды, базирующегося на современных информационно-космических технологиях. Описаны структура технических средств, математическое и программное обеспечение информационно-космических технологий. Изложены вопросы оценки экологических воздействий, приведены примеры практического применения космических технологий для экологического мониторинга нефтедобывающих территорий Западной Сибири.

Обзор предназначен специалистам в области охраны окружающей среды и природопользования, а также преподавателям, аспирантам и студентам вузов.

The review deals with theoretical and applied aspects of methods and means usage for distant Earth zonding for environmental monitoring of technogenic factors impact on nature in oil-extracting regions. The problems of regional centers for environment satellite monitoring based on modern information and satellite technologies are considered. The structure of technical means, mathematical and software provision of information and satellite technologies are described. The questions of environmental impact assessment are shown, the examples of practical application of satellite technologies for environmental monitoring of oil-extracting territories in Western Siberia.

The review is for specialists in the environment protection as well as for tutors, post-graduates and students.

Научный редактор д.ф.-м.н. В.А. Крутиков

Обзор подготовлен к печати к.п.н. О.Л. Лаврик
М.Б. Зеленской
Т.А. Калюжной

ISBN 5-94560-039-3

© Государственная публичная
научно-техническая библиотека
Сибирского отделения
Российской академии наук
(ГПНТБ СО РАН), 2003

ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемый вниманию читателя обзор посвящен рассмотрению теоретических и прикладных вопросов применения методов и средств дистанционного зондирования Земли в задачах экологического мониторинга воздействий техногенных факторов на природную среду нефтедобывающих регионов. Обзор состоит из трех разделов.

В первом разделе рассмотрены основные факторы воздействия нефтедобычи. К ним относятся геодинамические и механические воздействия на поверхность и химическое загрязнение. Последний из названных факторов, который проявляется в виде загрязнения почвы и водоемов в результате нефтяных разливов и в загрязнении атмосферы выбросами в воздушную среду, относится к наиболее существенным по степени воздействия на состояние природной среды. Применительно к условиям деятельности Западно-Сибирского нефтедобывающего комплекса как основного поставщика российской нефти наиболее значимым является загрязнение атмосферы в результате сжигания попутного газа на месторождениях. Этот фактор воздействия нефтедобычи рассматривается как одна из основных причин изменений в функционировании лесоболотных экосистем, что может в не столь отдаленной перспективе приводить (и примеры этого уже имеются) к усыханию лесов и наносить существенный экономический ущерб хозяйству регионов и страны в целом. Показана перспективность использования информационно-космических технологий для оценки воздействия атмосферного загрязнения на природную среду Западной Сибири.

Во втором разделе дан обзор истории создания и мирового опыта использования космических систем для дистанционного исследования поверхности Земли. Рассмотрены вопросы создания региональных центров космического мониторинга окружающей среды, базирующихся на современных информационно-космических технологиях. Описаны структура технических средств, математическое и программное обеспечение информационно-космических технологий на примере нескольких известных центров дистанционного зондирования земной поверхности.

Третий раздел посвящен рассмотрению вопросов практической реализации информационно-космических технологий, направленных на решение задач экологического мониторинга. Описаны средства математического и программного обеспечения задач приема, предварительной обработки и архивирования космоинформации. Рассмотрены вопросы геоинформационного и картографического обеспечения информационно-космических комплексов экологического мониторинга. В разделе приведены примеры практического применения космических технологий в задачах экологического мониторинга нефтедобывающих территорий Западной Сибири, в частности, изложены вопросы оценки экологических воздействий нефтедобычи на примере учета воздействия загрязнения атмосферы на лесные комплексы.

Авторы выражают надежду, что представляемый читателю обзор окажется полезным специалистам в области охраны окружающей среды и природопользования, а также преподавателям, аспирантам и студентам вузов.

Глава 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ РЕГИОНАХ

1.1. Анализ факторов воздействия нефтедобычи на природную среду

На экологическое состояние обширных территорий Западной Сибири непосредственное влияние оказывают разведка, добыча, транспортировка и переработка нефти и газа. Анализ состояния окружающей среды на территориях деятельности нефтегазового комплекса показывает [35, 53, 111], что факторы воздействия нефтедобычи на природную среду можно разделить на три основные группы:

- 1) механические воздействия на земную поверхность;
- 2) геодинамические воздействия;
- 3) химическое загрязнение.

К *первой группе* факторов воздействия нефтедобычи относятся нарушающие поверхность механические воздействия, связанные со строительством автодорог, поселков и коммуникаций, с обустройством нефтяных месторождений (возведение буровых установок, прокладка трубопроводов и др.), с проведением линий электропередачи и перемещением тягачей и другой тяжелой транспортной техники в условиях лесоболотного бездорожья. Масштабы нарушений в этих случаях зависят от размера и назначения возводимых объектов, а также от ранимости природной среды в различных лесоболотных комплексах [35, 53]. Нарушение почвенно-растительного покрова, обладающего высокой чувствительностью к антропогенным факторам нефтегазового строительства, приводит к частичному или полному исключению земель из хозяйственного использования [111]. Нефтяные месторождения Западной Сибири расположены в основном в центральной части Западно-Сибирской равнины, основными составляющими ландшафта которой являются болота и леса. Заболоченность этой территории, относящейся к зоне олиготрофных болот, составляет в среднем 40%, увеличиваясь в отдельных местах до 70%. Здесь расположены крупнейшие в мире болотные системы, например, Васюганское болото площадью около 50 тыс. км² [25].

В [57] на примере территории Томской области исследована устойчивость земной поверхности к механическим воздействиям. Показано, что по мере увеличения индекса гидроморфности (отношение избыточно увлажненных участков территории к общей площади) устойчивость территории снижается. Предприятия нефтедобычи в Западной Сибири часто располагаются в районах с низкой и очень низкой степенью устойчивости, как это, например, видно из рис. 1.1, где показаны нефтяные месторождения и зоны различной степени устойчивости, определенные с использованием данных из [57]. Это обстоятельство необходимо учитывать как при разработке проектов обустройства месторождений, так и при планировании природоохранных мероприятий на территории деятельности Западно-Сибирского нефтедобывающего комплекса.

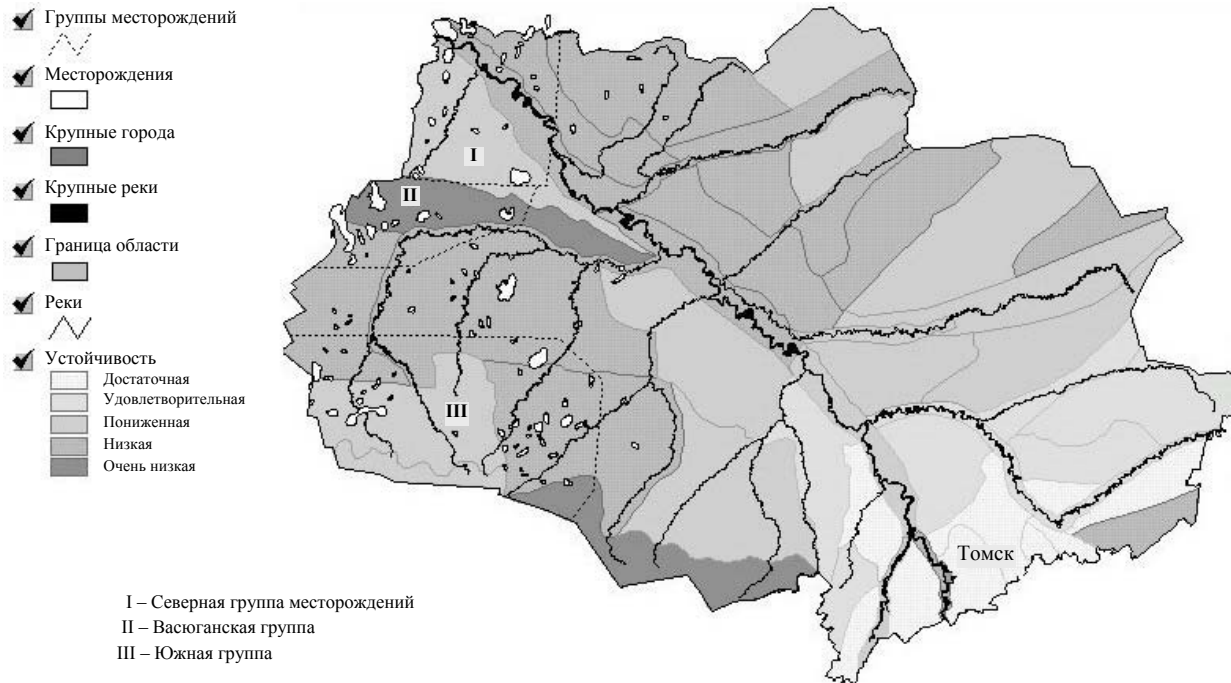


Рис. 1.1. Карта устойчивости территории Томской области к антропогенным нагрузкам

Другим проявлением механических воздействий является изменение гидрологического режима в результате строительства дорог и других линейных объектов [110]. Являясь объектами геологической среды, насыпные автодороги оказывают воздействие в течение длительных периодов времени и нарушают процессы поверхностного и болотного стока влаги. Возможное при этом подтопление лесных массивов приводит к массовой гибели древостоев и формированию лесо-болотных и болотных сообществ. Нарушение водного режима вследствие уплотнения деятельного слоя торфяных залежей также влечет за собой изменения в растительном покрове [36].

Последствия механических воздействий на болотные экосистемы, которые, хотя и являются менее устойчивыми к нагрузкам, не всегда могут быть рассмотрены однозначно как отрицательные. В результате засыпки песком при прокладке трубопроводов болота часто замещаются лесными сообществами, которые могут оказаться более ценными с экологической точки зрения [25, 36]. С другой стороны, распад и деградация болотно-озерных систем могут быть крайне неблагоприятными и опасными с точки зрения охраны водных ресурсов и предупреждения необратимых процессов в ухудшении ландшафтной среды. К числу последних следует отнести потенциальную возможность изменения теплового режима северных территорий при массовом осушении болотно-озерных систем (например, в Сургутском Полесье) и реальную опасность прогрессирования процесса образования вечной мерзлоты на территории с отрицательными среднегодовыми температурами.

Ко *второй группе* факторов воздействия относятся геодинамические воздействия, возникающие из-за изменений пластового давления в результате извлечения из недр больших объемов нефти и газа и приводящие к геоморфологическим изменениям [66]. Примерами таких геоморфологических изменений могут служить катастрофическое проседание земной поверхности в результате многолетней эксплуатации крупного месторождения Уилмингтон (Калифорния, США), вызвавшее разрушение зданий и транспортных магистралей; проседание дна Северного моря в пределах месторождения Экофиск, сопровождаемое деформацией стволов скважин и морских платформ. Известны случаи землетрясений, явившихся следствием интенсивного отбора нефти на территориях Азербайджана, Татарстана, Чеченской республики. Эта проблема наиболее эффективно решается при закачивании в продуктивный пласт воды, компенсирующей добычу нефти [41].

Третью группу составляют факторы химического загрязнения воздушной среды, почв, водоемов и почвенно-грунтовых вод [35, 53]. С точки зрения загрязнения почв и водоемов существенны воздействия нефтяных разливов, особенно часто возникающие в результате аварий на трубопроводах и буровых установках, и солевые загрязнения, связанные с разливами пластовых вод, степень минерализации которых может значительно превышать фоновые значения.

Воздействие разливов нефти на природную среду наиболее изучено [35, 36, 112] и обычно ограничено во времени и в пространстве. Загрязнение болот нефтью наносит заметный ущерб растительности болот. Нефть разливается по направлению движения болотных вод. По торфяной залежи тяжелые фракции нефти практически не перемещаются. Нефть оседает на поверхности болота и создает битумообразную корку. Так, в болотных экосистемах с высокой сорбционной активностью действие нефтепродуктов ограничивается десятками метров от границ нефтяного пятна. Нефть, попавшая в водоемы, покрывает огромные участки водной поверхности, нарушает кислородный, углекислотный и другие виды газового

обмена и пагубно воздействует на фауну и флору. Окисленные компоненты нефти оседают на дно водоемов и накапливаются в цепях питания гидробионтов. Даже при малых концентрациях наиболее токсичные и быстродействующие низкокипящие ароматические углеводороды оказывают отравляющее воздействие на низшие формы жизни в водной среде [53].

Более подвижны и агрессивны солевые загрязнения, связанные с разливами пластовых вод, используемых для поддержания пластового давления, а также с разливами буровых и тампонажных растворов, применяемых при бурении и ремонте скважин, причем более распространено опасное хлоридно-натриевое засоление. Буровые и тампонажные растворы с общей минерализацией до 1 – 2 г/л проникают в природные экосистемы путем фильтрации через обваловки шламовых амбаров или разливаются при их разрушении, а также во время паводков. В результате растворы растекаются по линиям поверхностного стока на довольно большие расстояния (до нескольких километров). Солевые загрязнения высокой концентрации приводят к обеднению видового состава и упрощению структуры лесных экосистем. Однако при этом могут иметь место и положительные эффекты воздействий на лесоболотные экосистемы карбонатно-кальциевого засоления со сравнительно невысокой степенью минерализации (до 600 мг/л), что может снижать кислотность почв и обогащать их элементами минерального питания [35, 36].

В [112] приведены результаты исследования верховых болот в районе Самолтурского, Федоровского и Варь-Еганского месторождений на территории Ханты-Мансийского автономного округа с целью определения влияния разной степени загрязнения болот нефтью и отходами из шламовых амбаров на условия произрастания растений и состояние растительного покрова. При этом было установлено, что загрязнение нефтью и буровыми отходами приводит к полной или частичной гибели растительного покрова, в первую очередь – соснового редколесья и растительности мочажин. При небольших уровнях химического загрязнения растительный покров гряд и других микроповышений рельефа более устойчив к загрязнению. Однако при высокой степени загрязнений он угнетен либо погибает. Буровые и амбарные отходы подщелачивают корнеобитаемый слой торфа и, повышая его зольность, способствуют евтрофикации, в результате чего происходит замена олиготрофной растительности на другие виды, не свойственные для верховых болот.

В [53, 143, 155] отмечается, что основными источниками атмосферного загрязнения на разрабатываемых месторождениях являются: нефтяные и газовые скважины, выкидные и нефтесборные сети, устройства подготовки нефти с факельными установками для сжигания попутного газа. Наибольшее количество загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу на нефтедобывающих территориях в Западной Сибири, приходится на долю факелов. Известно [155], что на 1 т сгоревшего в факеле природного газа приходится в среднем 50 – 70 кг выбросов различных вредных веществ в зависимости от физико-химических свойств и состава газа. Факелы на нефтяных месторождениях являются источниками хронического многолетнего загрязнения атмосферы на обширных территориях.

Сравнительный анализ описанных выше факторов негативного воздействия нефтедобычи на природную среду показывает [111, 161] наибольшую опасность для нее факторов последней группы, связанных с химическим загрязнением среды. При этом наиболее существенным воздействием, влияние которого проявляется на больших расстояниях от источников выбросов загрязняющих веществ, следует считать загрязнение атмосферы в результате сжигания попутного газа на факелах,

вокруг которых формируются обширные шлейфы аэрозольного загрязнения [155]. Их негативное воздействие усиливается мелкодисперсными продуктами неполного сгорания, обладающими сильными экотоксическими свойствами [28], и выбрасываемой в больших объемах сажей.

При сжигании попутного газа в факелах в атмосферу выбрасываются в значительных объемах оксид углерода, сажа, диоксид азота и углеводороды. При сжигании нефти, содержащей серу, в атмосферу выбрасывается еще и диоксид серы. При воздействии солнечной радиации на углеводороды (летучие органические соединения) в присутствии диоксида азота образуются вторичные загрязняющие вещества – фотохимические окислители, такие, как озон, пероксиацетилнитрат и другие [74].

Загрязняющие вещества в дальнейшем участвуют в следующих процессах, протекающих в атмосфере:

- трансграничный перенос загрязненных масс воздуха под действием ветра;
- физико-химические процессы в газовой фазе, приводящие к изменению концентрации первичных соединений в воздушной среде потока;
- поглощение веществ антропогенного происхождения в облаках и каплями дождя, участие их в химических реакциях в жидкой фазе с последующим выпадением на поверхность в виде загрязненных осадков;
- сухое выпадение (адсорбция на почве и кронах деревьев и поглощение на листовой поверхности растений) [63].

По оценкам специалистов, выбросы в атмосферу в результате деятельности отечественных предприятий нефтедобычи вносят ощутимый вклад в формирование всех трех основных глобальных экологических проблем современности – парникового эффекта, "озоновой дыры" и кислотных дождей. Первый из них, вызывающий нагрев атмосферы за счет поглощения солнечной энергии газообразными химическими веществами, связывают с накоплением в атмосфере так называемых парниковых газов (углекислого газа, метана и др.): 50 – 60% эффекта обусловлено углекислым газом [162]. По некоторым данным, потепление климата в наши дни проявляется в увеличении средней температуры на 0,5°C. При потеплении на 1 – 2°C возможно за счет таяния ледников повышение уровня Мирового океана на 30 – 70 см, что может привести к затоплению приморских территорий с населением до 20% от мировой численности и вызвать климатические изменения, последствия которых для социально – экономического развития многих стран трудно предсказать.

Главным источником выбросов углекислого газа в атмосферу принято считать предприятия теплоэнергетики и других отраслей промышленности, деятельность которых связана с использованием углеводородного сырья. И здесь немалый вклад дает отечественная нефтедобывающая промышленность, ориентированная на устаревшие технологии нефтедобычи, в том числе с факельным сжиганием попутного газа.

Эффект "озоновых дыр" в атмосфере связан с понижением (до 50%) содержания озона на высотах 20 – 25 км из-за накопления газообразных хлористых и фтористых углеводородов, химически разрушающих озоновый слой. Известно, что в "озоновом щите" планеты концентрация озона прилизительно на порядок выше, чем у поверхности земли, что создает защитный "экран", поглощающий ультрафиолетовое излучение, губительное для живых организмов. В настоящее время озоновые дыры проявляются в меньшей степени над Арктикой, в большей – над Антарктидой, где их размеры уже превышают контуры материка [162].

С выбросами в атмосферу оксидов азота и серы [47, 162] связана проблема образования кислотных дождей. В ряде индустриально развитых районов мира, осо-

бенно в Европе и Северной Америке, уровень концентрации сернистого газа (главного фактора кислотных дождей) превышает природную норму в 40 – 60 раз, что уже серьезно нарушает экологический баланс, вызывая снижение плодородия почвы, ухудшение состояния лесов и водоемов, отравление рыбы и животных. Кислотные дожди, вызывая подкисление водоемов и почвы, приводят к гибели рыбы, к резкому снижению прироста лесов и их усыханию. Так, в ФРГ под угрозой гибели по причине выпадения кислых осадков находится более 20% площади лесов [162]. Выбросы нефтедобывающими предприятиями оксидов азота, углерода в атмосферу вносят ощутимый вклад в выпадение кислых осадков, что также приводит к деградации лесных экосистем Западной Сибири.

1.2. Состояние загрязнения атмосферы в нефтедобывающих регионах

Западная Сибирь, являющаяся главной нефтедобывающей провинцией России, содержит более 70% углеводородных ресурсов страны и обеспечивает 2/3 годовой добычи нефти в стране. Добыча нефти в Западной Сибири осуществляется с 60-х гг. прошлого века. В настоящее время большая часть нефтяного ресурсного потенциала страны сосредоточена в Ханты-Мансийском автономном округе (ХМАО), доля которого в 1978 г. составила 57%. По оценкам геологов доля ХМАО в ресурсном потенциале страны до 2030 г. сохранится на уровне 55 – 60% [157], а запасы нефти на территории округа оцениваются величиной 35 – 40 млрд т.

Вследствие интенсивной промышленной эксплуатации нефтяных ресурсов нефтедобывающего комплекса ХМАО оказывает существенное воздействие на окружающую природную среду [159, 163], показателем чего могут служить следующие данные [157]. Согласно учетным данным Государственного баланса в ХМАО открыто 378 месторождений. На территории ХМАО имеется 276 промышленных объектов сбора и транспорта нефти, более 6 тыс. км межпромысловых нефтепроводов и 6280 км магистральных нефтепроводов. Общая протяженность автодорог превышает 13000 км, из которых 8750 км – автодороги с твердым покрытием.

Важными нефтедобывающими регионами в Западной Сибири являются также Ямало-Ненецкий автономный округ и Томская область. Дадим краткую характеристику нефтедобывающего комплекса Томской области и его воздействия на окружающую среду. К 1996 г. в Томской области было открыто 101 месторождение, запасы нефти в которых оценивались в 780 млн т. В этот период на 20 месторождениях производилась добыча нефти. Эти месторождения сосредоточены в трех основных нефтедобывающих районах, которые в дальнейшем будем называть Васюганская, Стрежевская и Южная группы месторождений. Доля нефтедобывающей отрасли в структуре промышленного производства Томской области составляла по состоянию на 1999 г. около 30%. На долю предприятий нефтегазодобывающего комплекса в указанном году также приходилось приблизительно 30% выбросов вредных веществ в атмосферу, при этом степень улавливания отходящих загрязняющих веществ близка к нулю и не превышает 0,015%. В 1999 г., по данным [161], этими предприятиями было выброшено в атмосферу около 40000 т окиси углерода и 30000 т углеводородов. Одна из главных причин большого объема выбросов – несовершенство технологии добычи нефти и газа и малая доля утилизации попутного газа [52, 161] на нефтяных месторождениях Томской области.

Результаты многолетних самолетных исследований атмосферного аэрозоля [19], проведенных Институтом оптики атмосферы СО РАН в 80-х гг. прошлого столетия, на основании которых построена карта (рис. 1.2) пространственного распределения счетной концентрации атмосферного аэрозоля на территории Западной Сибири, показали, что пространственная неоднородность распределения концентрации аэрозоля характеризуется двумя зонами аномального загрязнения на территории Западной Сибири.

Формирование южной зоны, находящейся в районе Новосибирска, можно связывать с деятельностью промышленных центров юга Западной Сибири. Как показал анализ химического состава аэрозолей [19], для этой зоны, как и для аномалии в районе Екатеринбурга, характерна связь их состава с выбросами предприятий металлообрабатывающей, электротехнической, металлургической промышленности. Однако в химическом составе аэрозоля из другой аномалии, сформировавшейся в районе Нижневартовска, преобладают углеводороды, что дает основания связывать возникновение этой аномалии с деятельностью нефтедобывающих предприятий. Действительно, в районе Нижневартовска – Стрежевого, как видно на рис. 1.2, сосредоточено большое число нефтяных месторождений, включая и наиболее крупное из них Самотлорское месторождение. На этом месторождении в 1980 г. добывалось, по данным [121], до 150 млн т нефти в год, а к 1985 г. (приблизительно середина периода самолетных измерений концентрации аэрозоля, представленных на рис. 1.2) объем добычи снизился до 100 млн т.

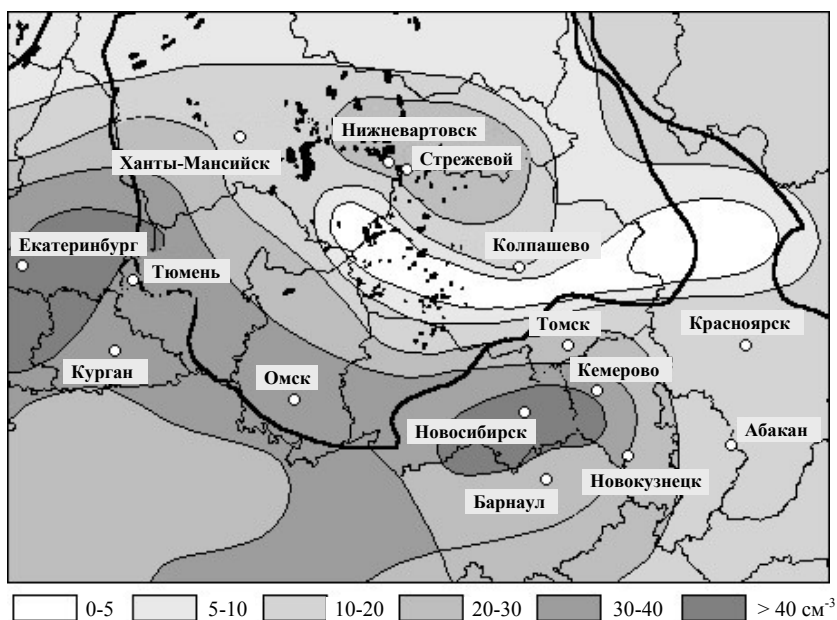


Рис. 1.2. Распределение концентрации аэрозоля над территорией Западной Сибири

В связи с интенсивной нефтедобычей на территории Ханты-Мансийского автономного округа до сих пор сохраняется высокий уровень загрязнения атмосферы [70, 71, 119, 163]. Так, в 1999 г. выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников и автотранспорта составили на территории ХМАО, по данным [72], 1803 тыс. т, из них 37% приходилось на долю автотранспорта. В среднем по округу удельный объем выбросов в атмосферу составлял 3,4 т/км². В районах ХМАО с развитой нефтедобывающей промышленностью (Сургутский, Нижневартовский, Нефтеюганский) этот показатель достигает 5,5 т/км². От стационарных источников в атмосферу поступило 1142 тыс. т загрязняющих веществ, из них 99,3% выбрасывалось без очистки, в том числе сернистого ангидрида – 7,3 тыс. т, углеводородов – 487,3, оксида углерода – 500,4, диоксида азота – 75,6 тыс. т. В 1999 г. на предприятиях нефтяной и газовой промышленности зафиксировано 11 аварийных выбросов в атмосферу загрязняющих веществ, что вызвало значительный экономический ущерб. В зонах интенсивной нефтедобычи на территории ХМАО, несмотря на достаточно высокий уровень утилизации попутного газа [71], основными источниками загрязнения атмосферы являются факельные установки для сжигания попутного нефтяного газа, дымовые трубы котельных и технологических печей.

Ниже приводятся некоторые оценки объемов выбросов загрязняющих веществ в воздушную среду, полученные на основе анализа экологических паспортов ряда нефтяных месторождений Томской области. Для анализа использованы данные о выбросах в атмосферу трех основных загрязнителей: углеводородов, сажи и оксида углерода. Практически на всех действующих предприятиях отсутствуют пылегазоулавливающее оборудование и установки по улавливанию легколетучих углеводородов. Это объясняет большие величины удельных выбросов загрязняющих веществ (отношение объема выбросов к общему объему добычи) в атмосферу на территории нефтегазового комплекса, что иллюстрирует табл. 1.1, в которой приведены данные об объемах выбросов в атмосферу на территории Васюганской группы месторождений в Томской области. Как видно из этой таблицы, удельные выбросы углеводородов (УВ) составляют 0,1 – 0,2% по отдельным месторождениям Васюганской группы. Большие величины имеют удельные выбросы оксида углерода: от 0,2% до 0,8% на разных месторождениях.

Результаты анализа данных о загрязнении воздушной среды на территории месторождений Стрежевской группы показывают (табл. 1.1), что удельные выбросы углеводородов на территории отдельных месторождений изменяются в более широком интервале (от 0,03% до 0,25%), чем на территории Васюганской группы. Максимальные величины удельных выбросов сажи и оксида углерода не превышают соответственно 0,1 и 0,8% как в Стрежевской, так и в Васюганской группах месторождений. Сравнивая в среднем удельные выбросы в атмосферу по двум группам месторождений (табл. 1.1), можно сделать вывод, что величины удельных выбросов УВ, оксида углерода и сажи в Стрежевской группе в среднем практически не отличаются от соответствующих величин для Васюганской группы месторождений.

По Южной группе месторождений Томской области паспортные данные о выбросах в атмосферу имеются только для наиболее крупного Игольско-Талового месторождения, где удельные выбросы углеводородов составляют 0,09%, сажи – 0,04%, оксида углерода – 0,25% и, следовательно, практически не отличаются от соответствующих величин для месторождений Стрежевской и Васюганской групп.

Таблица 1.1

Общая характеристика выбросов в воздушную среду нефтедобывающих территорий

Месторождения	Объем выбросов, т в год			Удельные выбросы, %		
	УВ	сажа	оксид углерода	УВ	сажа	оксид углерода
Васюганская группа месторождений						
Первомайское	1653,5	854,7	3553,4	0,09	0,05	0,2
Западно-Катыльгинское	228,4	16,3	467,2	0,09	0,006	0,2
Лонтынь-Яхское	70,9	7,1	108,9	0,2	0,02	0,3
Олень	380,2	32,1	930,9	0,2	0,02	0,6
Ломовое	669,1	335,9	2406,0	0,2	0,1	0,8
Стрежевская группа месторождений						
Стрежевское	168,4	6,1	87,831	0,1	0,005	0,07
Малореченское	281,6	6,3	628,3	0,08	0,002	0,2
Северное	2,1	–	–	0,03	–	–
Чкаловское	1545,0	429,0	3382,0	0,25	0,1	0,8

Как отмечено в предыдущем разделе, выбросы в атмосферу в результате деятельности отечественных предприятий нефтедобычи вносят ощутимый вклад в формирование всех трех основных глобальных экологических проблем современности – парникового эффекта, "озоновой дыры" и кислотных дождей. Однако, если парниковый эффект и "озоновые дыры" оказывают на биосферу воздействие планетарного масштаба и на природную среду западносибирских территорий влияют лишь косвенно, то загрязнение атмосферного воздуха выбросами при сжигании попутного газа оказывает непосредственное воздействие на растительность, вызывая функциональные нарушения растений и подкисление почвы и водоемов на лесоболотных территориях. В связи с этим в следующем разделе рассмотрим влияние атмосферного загрязнения на растительность.

1.3. Воздействие химического загрязнения атмосферы на растительность

Более половины российской нефти в настоящее время добывается в центральной и южной частях Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, которые находятся в зоне наиболее продуктивных лесных комплексов, как видно на карте продуктивности лесов Сибири (рис. 1.3), заимствованной из [210]. Нефтяные месторождения перспективной Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции, на территорию которой, по прогнозам геологов, в ближайшие десятилетия может распространиться

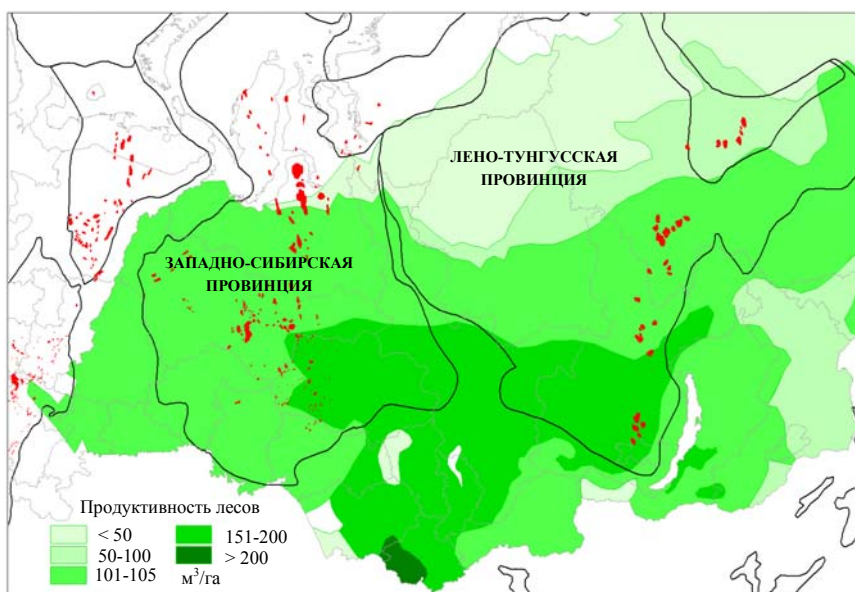


Рис. 1.3. Карта продуктивности лесов Сибири

российский нефтегазодобывающий комплекс, также расположены в средне- и высокопродуктивных лесных зонах с запасами древесины более 100 м³/га. Учитывая, что в развитых странах (с населением менее 1/5 мировой численности) потребление древесины достигло 80% от мирового уровня, возможное снижение продуктивности лесов в результате воздействия нефтедобычи на лесные экосистемы может вызвать в не очень отдаленной перспективе значительный экономический ущерб для отечественной лесодобывающей отрасли, вклад Сибири в которую весьма значителен.

В настоящее время общепризнано негативное воздействие загрязнения атмосферы на различные виды растительности: лесные породы деревьев, сельскохозяйственные и декоративные культуры, лишайники. Известно, что поглощение растением загрязняющих веществ из атмосферы происходит через дыхательные устьица на листовой поверхности или на хвоинках. Некоторые исследователи отмечают, что чем больше загрязнен воздух, тем меньше устьиц имеется на поверхности листа. Так, по данным [77], листья клена вне городской черты г. Монреаля, где воздух относительно чистый, содержат в 10 раз больше устьиц (на 1 см²), чем в промышленном центре.

Первые сведения о повреждении лесов относятся к 1880 г., когда в районе металлургических заводов в США (Онтарио) произошла массовая гибель вековых лесов. Отмечалась в литературе [63] также гибель лесов в ФРГ, Франции и Канаде.

Более 600 тыс. га лесных массивов нашей страны, расположенных в зонах выбросов вредных веществ промышленными предприятиями, находится в состоянии полного или частичного усыхания [63]. По данным [61], характерным для воздействия на растительность промышленных выбросов в атмосферу является уменьшение степени биологического повреждения по мере удаления от источника загрязнения.

При проведении экологических исследований необходимо учитывать влияние не только отдельных веществ, но и их сочетаний по следующим причинам:

- многие загрязняющие вещества имеют природное происхождение (озон, углекислый газ, окислы серы и азота), и их влияние может компенсироваться действием определенных природных механизмов;
- каждое загрязняющее вещество имеет свою собственную взаимосвязь с реакциями компонентов экосистемы и обладает только ему присущим пороговым уровнем содержания в атмосфере, при котором оно начинает воздействовать на экосистему;
- существует отчетливое различие в механизме реакции этих компонентов, которое должно учитываться при изучении воздействия смеси загрязняющих веществ на экосистему.

Процессы деградации лесных экосистем в условиях современных техногенных воздействий происходят достаточно медленно, и их явные признаки проявляются лишь с годами. Воздействия техногенных загрязнителей на растения проявляются, в первую очередь, на биохимическом уровне и затрагивают фотосинтез, дыхание, биосинтез жиров и белков и т. п. Биохимические нарушения происходят в тех случаях, когда концентрация вещества превышает способности тканей к его детоксикации посредством нормальных реакций метаболизма. Происходящие при этом морфологические изменения делятся на микро- и макроскопические, к последним относят, согласно [24], следующие биологические проявления воздействий:

- изменение окраски листьев (хлороз, пожелтение, побронзовение и т. д.);
- некрозы – отмирание участков ткани;
- преждевременное старение и опадание листвы и хвои, наблюдаемые после появления некрозов или хлорозов;
- изменение размеров, формы и количества органов;
- изменение плодovitости;
- изменение прироста, направления, формы роста и ветвления.

Микроскопические изменения проявляются в следующих видах:

- изменение размеров клетки, например, увеличение клеток смоляных ходов у сосен и уменьшение клеток эпидермиса листьев;
- изменение субклеточных структур, например, разрушение хлоропластов;
- плазмолиз, т. е. отслаивание плазмы от клеточной стенки;
- изменения, возникающие вследствие приспособления к воздействию газобразных выбросов, такие, как изменение числа устьиц, толщины кутикулы, густоты опушения, толщины листьев и отношения сырого и сухого веса;
- изменение структуры древесины, например, снижение качества сосновой древесины в результате незначительного ее образования летом и выпадения годичных колец при воздействии диоксида серы.

Рассмотрим действие на растительность отдельных атмосферных газов. Двуокись серы воздействует либо непосредственно на листья и хвою растений, либо косвенно в виде кислотных осадков и через почву. В клетках за счет воды цитоплазмы образуется сернистая кислота. При воздействии сульфит-ионов на клетки в

результате химических реакций происходит окисление и, как следствие, обесцвечивание хлорофилла при повреждении мембран хлоропластов. Под влиянием двуокиси серы листья желтеют, образуются некрозы. Действие двуокиси серы является причиной уменьшения морозостойкости почек деревьев [156]. Особенно чувствительны к двуокиси серы лишайники, которые используются как биоиндикаторы при определении ее избыточных количеств в воздухе. Высокие концентрации двуокиси серы вызывают серьезное повреждение растительности. Из высших растений весьма чувствительны к воздействию двуокиси серы хвойные растения [68, 115].

Кроме двуокиси серы наиболее существенным поражающим воздействием на растения обладают вещества, являющиеся фотохимическими окислителями. Как отмечено в [47, 61, 74, 156], фотохимические реакции, протекающие с участием диоксида азота и углеводов под действием солнечной радиации, приводят к образованию озона и перекисных соединений, обладающих токсическим действием.

Диоксид азота, поглощаемый в небольшом количестве, выступает как фактор внекорневой подкормки растений. Однако в больших количествах соединения азота снижают устойчивость растений или даже ведут к их отравлению [117]. Прямой контакт растений с диоксидом азота можно сразу определить зрительно по пожелтению или побурению листьев и игл [156]. Как отмечалось в предыдущем разделе, при попадании в верхние слои атмосферы диоксид азота участвует в разрушении озонового слоя земли, а в присутствии водяных паров образует азотистую и азотную кислоты, которые дают определенный вклад в выпадение кислотных осадков. Оксиды азота занимают второе место после диоксида серы по вкладу в увеличение кислотности осадков. Разрушительное действие диоксида азота усиливается в присутствии диоксида серы.

Фитотоксичность газообразных углеводов в настоящее время изучена недостаточно. Известно, что они активно поглощаются растением и локализируются в хлоропластах и цитоплазме. Подвергаясь глубоким окислительным превращениям, часть углеводов включается в общий обмен организма, остальная часть окисляется до углекислого газа. Избыточное накопление углеводов (особенно ароматических) приводит к инактивации ряда ферментных систем [104].

Негативное воздействие **озона** связано с его проникновением внутрь хвои и листьев в процессе дыхания растений. Озон является сильным фитотоксикантом, замедляет фотосинтез в растениях и ослабляет их, что приводит к снижению биомассы растений. В результате окисления белков, ненасыщенных жирных кислот и аминокислот повышается проницаемость клеточных мембран по отношению к воде и глюкозе. В результате этих процессов отмирают клетки мезофилла листьев, на поверхности листа образуются полости, в которых происходит полное отражение света. В этом случае говорят о появлении серебристой "пятнистости" листьев.

Благодаря физиологическим условиям в растительной клетке, озон с помощью ароматических соединений образует радикалы ОН, которые реагируют с гляцевым слоем кожицы листьев и игл, в результате чего на этом слое появляются трещины и он становится хрупким. В трещинах могут прорастать грибные споры, проникающие затем в глубь листа и разрушающие его. Этот инфекционный процесс, связанный с потерей сопротивляемости, является одной из причин гибели лесов. Окислительные процессы, активизированные в клетке, воздействуют на систему этиленовых связей между стенками и мембраной клетки, при этом может выделяться этилен, индуцирующий опадение листьев и игл [63, 156]. По данным [27], частичная гибель и поражение почти половины площади лесов ФРГ не явля-

ются результатом непосредственного воздействия кислотных осадков, так как поражение одинаково проявляется как на кислых, так и на карбонатных почвах. При этом чувствительнее к двуокиси серы мхи остались неповрежденными. В [27] высказывается предположение, что воздействие вызвано именно фотооксидантами, на что указывает преимущественное поражение юго-западных склонов гор.

Известно, что загрязнение воздушной среды **сажей** приводит к нарушению дыхательных систем растений [128]. Особенно страдают хвойные леса. Сажа забивает дыхательные устьица хвоинок, цикл смены которых составляет несколько лет. В саже содержатся тяжелые металлы, в том числе и такие опасные для природной среды, как кадмий, свинец, цинк. Обычно загрязнение ими нарушает функции устьиц, ингибирует фотосинтез, дыхание, изменяет проницаемость мембран митохондрий. Растения более подвержены воздействию тяжелых металлов при усваивании через корни [61]. Наиболее экотоксичен из тяжелых металлов кадмий. По данным [63], скорость роста хвойных пород и их биомасса сильно уменьшаются с повышением концентрации кадмия в верхнем слое почвы толщиной до 20 см. В [61] указывается на способность некоторых видов лишайников аккумулировать значительные концентрации цинка, хрома, никеля, что делает их пригодными для использования в качестве биоиндикаторов в исследованиях уровня загрязнения изучаемых территорий.

Воздействие оксида углерода (угарного газа) на растения до конца не выяснено. Некоторая его часть усваивается через ассимиляционный аппарат растений. Имеются сведения [117] о том, что в присутствии угарного газа интенсифицируется негативный эффект других поллютантов, например, сернистого ангидрида. Большая часть оксида углерода, по-видимому, превращается в углекислый газ или связывается почвенными бактериями [117].

Рассмотрим более подробно один из основных факторов воздействия на природную среду при загрязнении атмосферы диоксидами серы и азота – кислотные дожди, воздействующие как на листву деревьев, так и вызывающие подкисление поверхностных и грунтовых вод и почв, приводящие к нарушению механизмов поступления питательных веществ в растения. Процессы образования кислотных осадков и последствия закисления природной среды подробно рассмотрены в [63, 68]. Наряду с указанными техногенными кислотообразующими газами в образовании кислотных дождей участвуют также продукты жизнедеятельности растений, природные газы, продукты горения при лесных пожарах. Образующиеся в результате жизнедеятельности растений ненасыщенные углеводороды (терпены и изопрены) проявляют высокую реакционную активность в атмосферных окислительных процессах. Они способны взаимодействовать с озоном и гидроксильными радикалами. Гибель лесных массивов связана главным образом с техногенными источниками.

Почвенное подкисление считается одной из основных причин усыхания лесов умеренной зоны Северного полушария. Непосредственное воздействие кислотных осадков приводит к нарушению процессов фотосинтеза за счет разрушения хлорофилла. Загрязнения выступают в роли пусковых механизмов биологических и биохимических процессов, ослабляющих растение и нарушающих его рост, повышающих чувствительность к климатическим изменениям. С повышением кислотности почвы снижается активность микроорганизмов, которые перерабатывают лесную подстилку, улучшают структуру почвы и переводят органические соединения в биологически усваиваемые формы.

Негативное воздействие подкисления почв усиливается поступлением тяжелых металлов из воздуха, так как в кислой среде ионы тяжелых металлов, попадая в почву из воздуха, сохраняют подвижность и усваиваются корнями растений, что может привести к нарушению функционирования растений. Ослабленные растения становятся более восприимчивыми к воздействиям вирусов, бактерий, и особенно грибов и насекомых [61, 156]. При совместном воздействии двуокиси серы и озона проявляется их аддитивность, усиливающая негативные эффекты, а в присутствии диоксида азота уменьшается повреждающее действие озона [63]. Следует также отметить, что упомянутые выше симптомы поражения фитотоксичными веществами могут быть сходны с симптомами поражения другими факторами, такими, как засоление почвы, воздействие вредителей, температурный или водный стресс и др.

Согласно [27, 38] по степени чувствительности к воздействию для всех фитотоксичных газов таксономические группы растений располагаются в следующем порядке:

1. мхи, лишайники и грибы;
2. хвойные древесные породы (наиболее чувствительны темнохвойные);
3. лиственные древесные породы;
4. травянистые растения.

В [115] приводятся результаты оценки накопления серы и тяжелых металлов (свинца, кадмия, цинка, меди, ртути) в эпифитных лишайниках и хвое ели в зоне влияния Котласского ЦБК. Отмечается, что эпифитные лишайники накапливают различные металлы в объемах, превышающих на порядок объемы их накопления в хвое ели.

Применительно к условиям лесоболотных территорий в нефтедобывающих регионах Западной Сибири наибольший интерес представляет изучение влияния загрязнений атмосферы, вызванных нефтедобычей, на древесные породы. Большинство хвойных древесных пород, по сравнению с лиственными, более чувствительно к действию вредных газов, поскольку на многолетнюю хвою газы оказывают более длительное воздействие, чем на опадающую каждый год листву [38]. Из хвойных наименее чувствительны ежегодно меняющая хвою лиственница и сосна, цикл смены хвои у которой в обычных условиях составляет 3 – 4 года. Наименьшей устойчивостью к атмосферным загрязнениям отличаются темнохвойные породы, меняющие хвою с периодом 5 – 7 лет и более.

Снижение продолжительности жизни хвои в условиях воздействия загрязнений отмечается многими авторами. В условиях северной тайги в фоновых древостоях максимальный возраст хвои у разных деревьев ели варьирует от 7 до 13 лет, достигая, по данным [7], на отдельных ветках в нижних частях затененных елей возраста 18 – 20 лет. В зоне загрязнения продолжительность жизни хвои короче там, где интенсивнее загрязнение и меньше газоустойчивость особей. Значительная часть хвоинок буреет и отмирает в начале весны. Это связано с дисбалансом воды в хвое и зимним ее иссушением вследствие летнего нарушения загрязнителями воскового покрова хвоинок [7].

Наиболее явный и широко описанный в научной литературе признак влияния загрязнений – некрозы. У ели сибирской они возникают по завершении роста хвои в виде пятнышек желто-бурого цвета, которые могут охватывать сразу большие участки поверхности хвоинок. Первоначально повреждается хвоя старших возрастов, но по мере приближения к источнику выбросов некрозы появляются на одно-

и двухлетней хвое и даже на хвое текущего года. В зоне загрязнения снижается прирост деревьев ели в высоту, ускоряется отмирание ветвей разных порядков на основной части кроны, нарушается распределение массы хвои по вертикали дерева вследствие постепенного обесхвоивания ветвей верхнего и среднего ярусов. Одновременно усиливается разрастание нижних ветвей, находящихся зимой под снегом и поэтому защищенных от зимнего загрязнения и иссушения [7]. Еще более чувствительна к действию атмосферных газов пихта [38].

В [104] изучена устойчивость к атмосферному загрязнению важнейших для таежного биома видов (сосна обыкновенная, лиственница Сукачева, ель сибирская, ель обыкновенная, пихта сибирская, береза бородавчатая, береза пушистая) и показано, что устойчивость растений всегда относительна, ее количественные оценки имеют смысл только в конкретных условиях среды. Природные факторы могут снижать устойчивость к воздействию промышленных токсикантов, как и сами токсиканты снижают засухоустойчивость и морозостойкость. Так как проникновению токсиканта внутрь растения препятствуют плотно закрытые устьица, вхождение растения в анабиотическое состояние резко повышает уровень газоустойчивости. Во время летней вегетации решающую роль играют биохимическое состояние клеток и способность клеточных метаболитов к химическому обезвреживанию токсиканта. Так, двуокись серы, поступая в растение, окисляется с образованием сульфатов, благодаря чему снижается ее токсичность. В этой форме сера может накапливаться в значительном количестве и включаться в обменные процессы.

Таким образом, химическое загрязнение атмосферного воздуха, вызываемое сжиганием попутного газа на нефтяных месторождениях Сибири, оказывает различные прямые и косвенные негативные воздействия на функционирование древесной растительности. Прямое воздействие проявляется путем проникновения химических веществ в растения через дыхательные устьица на листовой поверхности или хвоинках, что может вызывать разнообразные биологические повреждения и нарушения функционирования. Косвенное воздействие атмосферного загрязнения проявляется путем выпадения загрязненных атмосферных осадков, вызывающих проникновение в растения загрязняющих химических веществ через их корневую систему. Наиболее опасными для природной среды являются кислые осадки, вызывающие закисление почвы и приводящие к угнетению функционирования деревьев и усыханию лесов в последующем.

Очень важным с точки зрения решения задач экологической оценки воздействия нефтедобычи на лесоболотные комплексы Западной Сибири является исследование зависимости степени биологических поражений древесных растений от концентрации загрязняющих веществ в атмосфере. Как показал анализ литературы, систематических исследований в этом направлении не проводилось, известны лишь единичные исследования. Так, по данным [148] допустимые средние суточные концентрации в воздухе диоксида азота для хвойных растений оцениваются величиной $0,03 \text{ мг/м}^3$, для лиственных – $0,05 \text{ мг/м}^3$. В [39] приводятся другие величины в качестве предельно-допустимых концентраций для растений: диоксид азота – $0,02 \text{ мг/м}^3$, окись углерода – $1,0 \text{ мг/м}^3$. В связи со сложностью и явной недостаточностью этих исследований в настоящее время отсутствуют стандартизованные нормативы химического загрязнения атмосферы для оценки его воздействия на растительность.

1.4. Методические вопросы оценки воздействия загрязнения атмосферы на природную среду

Как показано выше, загрязнение атмосферы в результате сжигания попутного газа является одним из наиболее существенных для таёжной зоны Западной Сибири факторов воздействия нефтедобычи на природную среду. Рассмотрим состояние вопросов, связанных с решением задач оценки экологических воздействий нефтедобычи, сопровождаемой загрязнением атмосферного воздуха, на лесные экосистемы. Решение этих задач в настоящее время существенно осложняется указанными выше двумя обстоятельствами, а именно: во-первых, не исследована роль факторов прямого или косвенного воздействия химического загрязнения на состояние древесной растительности и, во-вторых, отсутствуют достоверные данные о зависимости степени биологических поражений растительности от концентрации загрязняющих веществ в атмосфере. Поэтому современная практика оценки воздействий техногенного загрязнения атмосферы на природную среду ориентирована на использование санитарно-гигиенических нормативов [53, 68, 69, 72, 111, 162], основанных на предельно допустимых концентрациях (ПДК). Так, при оценке воздействий на окружающую природную среду при экспертизе проектов строительства [139] в качестве пороговой концентрации загрязняющей примеси принимают значение 0,05 – 0,1 от величины ПДК.

Однако такой формальный подход к оценке воздействий на ландшафтную сферу с ее совокупным биоразнообразием не учитывает реакцию живых организмов на загрязнение воздушной среды и потому не является обоснованным. Согласно [129], в качестве перспективного для оценки экологических последствий техногенного загрязнения атмосферы рассматривается комплексный подход, основанный на совмещении санитарно-гигиенического и ландшафтно-геохимического [48] подходов. Суть предложенного [129] и последовательно разработанного [127, 128, 134, 196] комплексного подхода к анализу воздействия нефтедобычи на природную среду сводится к наложению на ландшафтную карту совокупности зон загрязнения окружающей среды, обусловленных выбросами из различных источников, и определению площадей ландшафтных выделов, оказавшихся в пределах каждой из этих зон загрязнения. Следовательно, площадь части территории выдела, находящейся в пределах зоны загрязнения, является количественной мерой степени воздействия негативного фактора нефтедобычи на лесоболотные территории. Такой подход к получению количественных оценок свойств геосистем различного пространственного уровня широко применяется в ландшафтоведении и может быть реализован с помощью доступных компьютерных средств геоинформационных систем (ГИС) и ГИС-технологий.

Рассматриваемый подход иллюстрируется на рис. 1.4, где приведена ландшафтная карта [128] территории участка нефтедобычи (Васюганская группа нефтяных месторождений в Томской области). На карте представлены наиболее характерные для таёжной зоны Западной Сибири типы природных выделов [67] – сосновые и темнохвойно-мелколиственные леса, верховые, переходные и низинные болота, а также обозначены места расположения факельных установок на эксплуатируемых месторождениях. Для иллюстрации рассматриваемого подхода на ландшафтную карту нанесены контуры зон загрязнения атмосферного воздуха, рассчитанных для факелов на пяти месторождениях Васюганской группы. Зоны за-

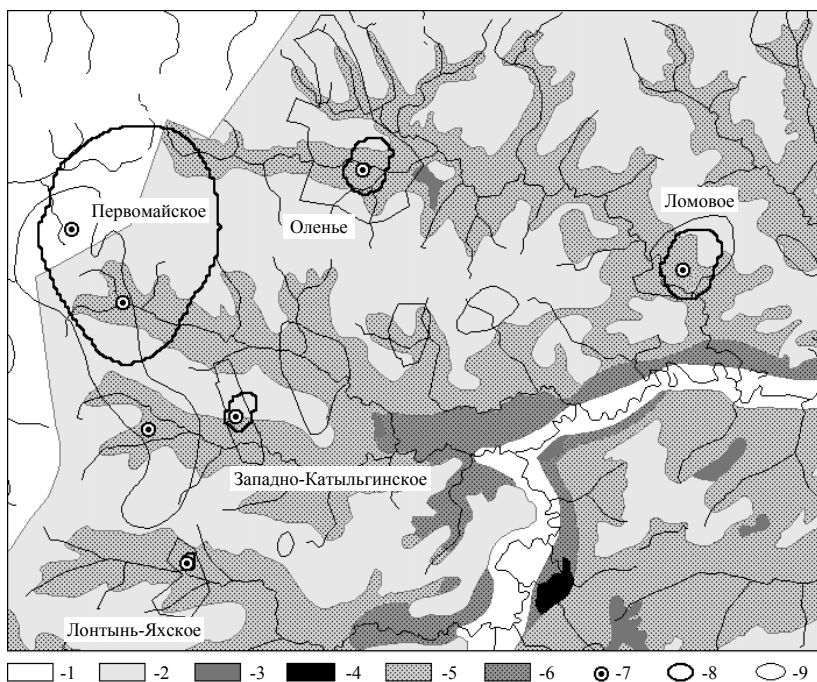


Рис. 1.4. Ландшафтная карта ключевого участка с наложенными зонами загрязнения

1 – пойма р. Васюган; болото: 2 – верховое; 3 – переходное; 4 – низинное; лес: 5 – темнохвойно-мелколиственный; 6 – сосновый; 7 – факелы; 8 – границы зон загрязнения; 9 – границы месторождений.

грязнения на рис. 1.4 определены по реальным данным об объемах выбросов диоксида азота. Граница каждой зоны устанавливается по значению концентрации диоксида азота в атмосфере, составляющей 0,1 от величины ПДК.

Расчет влияния выбросов в атмосферу из факелов всех пяти месторождений, контуры границ и названия которых приведены на рис. 1.4, показал [127, 129, 132, 135, 138], что распределение концентрации загрязняющих веществ по территории достаточно неоднородно, и в зависимости от различий в объемах нефтедобычи определяются различные площади загрязненных природных выделов в зонах влияния каждого месторождения. В табл. 1.2 для иллюстрации приведены результаты расчета площадей (в км² и процентах от суммарной площади соответствующего природного выдела) загрязненных сажей разных типов природных ландшафтов.

Обсуждаемый здесь комплексный подход к оценке воздействий загрязнения атмосферы позволяет формировать и прогнозные оценки воздействия при изменении объемов нефтедобычи. На рис. 1.5 приведен фрагмент компьютерной карты юго-восточной части Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, на которой

Таблица 1.2

Площади природных выделов, попадающих в зону загрязнения сажей

Тип ландшафта	Общая площадь выдела, км ²	Уровень загрязнения, в долях ПДК			
		0,1		1	
		Площадь выдела		Площадь выдела	
		км ²	%	км ²	%
Сосновые леса	608,5	93	15	0	0
Темнохвойно-мелколиственные леса	6619,5	2136	32	34	1,6
Верховое болото	4855,2	3019	62	16,5	0,55

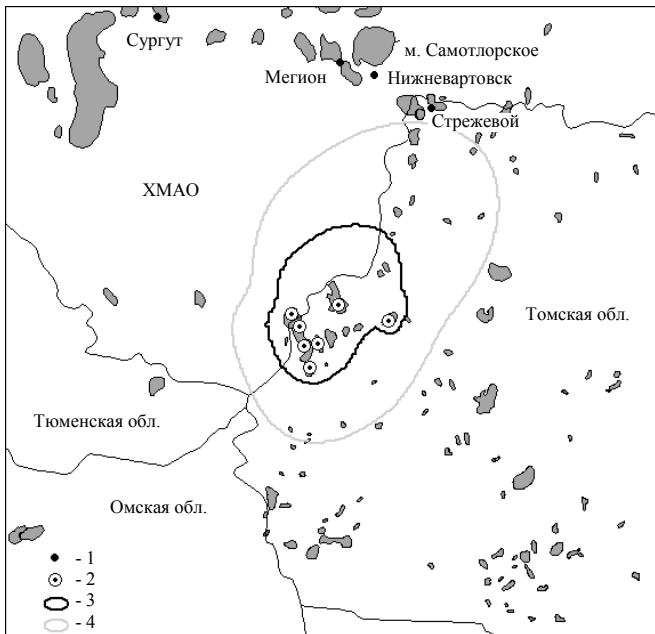


Рис. 1.5. Расчетные зоны загрязнения воздуха сажей от факелов месторождений Васюганской группы

1 – города; 2 – факелы; границы зоны загрязнения: 3 – при исходных объемах добычи; 4 – при увеличении объемов добычи на 100%.

показаны зоны загрязнения приземной атмосферы выбросами сажи из факельных установок на месторождениях Васюганской группы. Черная замкнутая линия представляет границу зоны загрязнения, рассчитанной (по данным о существующих объемах выбросов) по уровню 0,1 от величины ПДК. Заметим, что зона, показанная на рис. 1.5 серой замкнутой линией, определена по прогнозируемому уровню выбросов в предположении о 100%-ом росте добычи нефти. Как видно из рис. 1.5, зона влияния факельных выбросов сажи месторождений Васюганской группы может охватывать значительную по площади территорию, в пределах которой находится и часть месторождений Стрежевской группы.

В табл. 1.3 для иллюстрации возможностей количественной оценки экологических воздействий нефтедобычи приведены расчетные величины площади зон загрязнения выбросами сажи и диоксида азота из всех факелов Васюганской группы месторождений, полученные на основе совместного учета выбросов всех пяти месторождений Васюганской группы.

Приведенные в табл. 1.3 результаты расчетов показали, что связь объемов добываемой нефти с площадью загрязнения имеет нелинейный характер. Как видно из табл. 1.3, при прогнозе увеличения добываемой нефти на 50% произойдет более чем двукратное увеличение площадей пятен загрязнения и сажей, и диоксидом азота. Следовательно, предложенный в [129] подход к оценке воздействий загрязнений атмосферы на природную среду позволяет оценивать площади загрязненных ландшафтов выделов не только по данным о существующих объемах выбросов, но и давать прогнозы в зависимости от роста добычи нефти. Более подробное изложение результатов расчетов для конкретной территории нефтедобычи и их анализа с применением рассматриваемого подхода дано в [127, 129, 135].

Приведенные выше результаты показали, что предложенный подход позволяет на основе учета динамики добычи нефти, качественных показателей нефти (например, содержания в ней серы) и изменения объемов сжигания газа в факелах прослеживать изменение экологической нагрузки во времени и в зависимости как от уровня загрязнения, так и от типа природных комплексов. Этот подход к оценке экологических воздействий нефтедобычи может быть также использован при выборе точек наземного наблюдения при организации систем экологического мониторинга. Однако при практической реализации этого подхода возникают две сложные задачи:

- определение зон загрязнения атмосферы в результате деятельности нефтедобывающих предприятий;
- построение ландшафтных карт территории нефтедобывающего региона.

Таблица 1.3

Площади зон загрязнения сажей и диоксидом азота, км²

Характеристика условий расчетов	Концентрации диоксида азота, доли ПДК				Концентрации сажи, доли ПДК			
	0,05	0,1	0,5	1,0	0,05	0,1	0,5	1,0
По данным на 1996 г.	2457	572	24	7	35752	9611	368	71
50% рост объемов добычи нефти	5648	1374	52	14	78539	20571	759	217

При решении первой задачи необходимо учитывать, что вследствие инерционности формирования (долговременности) биологических проявлений воздействия загрязнения на растения достаточно определять среднегодовые (или даже средне-многолетние) зоны загрязнения. Согласно [124, 131] возможны разные пути решения этой задачи: экспериментальный, теоретический и математическое моделирование. Из них единственно реальным является математическое моделирование зон загрязнения атмосферного воздуха, так как в настоящее время имеются достаточно разработанные математические модели рассеяния загрязняющих примесей в атмосфере [58]. Более подробно вопросы моделирования зон загрязнения атмосферного воздуха рассматриваются в третьем разделе нашего обзора.

Решение второй задачи осложняется практическим отсутствием ландшафтных карт лесоболотных территорий (масштаба 1 : 100000 и более крупных). Построение таких карт – дорогостоящая и долговременная процедура. Единственной альтернативой в решении второй задачи может быть использование космоснимков с целью построения карт ландшафтной структуры территории. При наложении на них зон загрязнения атмосферы необходимо использовать современные средства ГИС-технологий. Поэтому для практической реализации предложенного в [129] подхода единственно приемлемыми оказываются современные информационно-космические комплексы [86], основанные на использовании ГИС и космоснимков. Рассмотрению информационно-космических комплексов посвящена следующая глава.

Глава 2. ИНФОРМАЦИОННО-КОСМИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ В СИСТЕМАХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

2.1. Краткая история создания и развития космических систем дистанционного зондирования Земли

С началом космической эры открылись новые возможности в изучении Земли. Космическое "видение" Земли способствовало в первую очередь развитию новых теоретических представлений о глобальных процессах и явлениях, происходящих в оболочках планеты – атмосфере, гидросфере, литосфере и биосфере [2, 3, 18, 78, 82, 99, 140]. Поэтому не случайно, что первая система дистанционного зондирования Земли была метеорологического назначения. Это было также обусловлено возможностями существовавшего в то время бортового оборудования.

Пионером дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) является космический аппарат (КА) "Tiros-1" (запуск 01.04.1960, США) с телевизионными системами на борту. В дальнейшем, с 1960 по 1999 гг., в США было запущено еще 34 метеорологических космических аппарата (КА) серий "Tiros", "Nimbus", "ESSA", "Itos", "NOAA" [50, 80, 81]. Начиная с КА "Tiros-9", на борту стали использоваться инфракрасные сканирующие радиометры высокого разрешения HRIRS (High Resolution Infrared System), позволяющие вести съемку не только в видимом диапазоне, но и в инфракрасном [83]. Для обеспечения необходимой периодичности съемки на орбите постоянно одновременно находятся не менее двух КА. В настоящее время работают четыре КА серии "NOAA". Они вращаются по круговым солнечно-синхронным орбитам с высотой около 850 км, наклоном около 99° и периодом обращения около 102 мин.

Начиная с КА "Tiros-8", для упрощения непосредственного приема изображений используют систему автоматической передачи изображений АРТ (Automatic Picture Transmission) [187]. Любой пользователь, имеющий специальную приемную аппаратуру, может получать информацию с этих КА, когда они находятся в зоне его радиовидимости. Основной поток информации, поступающей с КА серии "NOAA", составляют данные усовершенствованного радиометра высокого разрешения AVHRR/2, который измеряет отраженное и собственное излучение объектов на поверхности Земли в пяти спектральных диапазонах с шириной полосы обзора 2700 км и пространственным разрешением в надире 1,1 км, а также данные с зондирующего инфракрасного излучения высокого разрешения HIRS/2, устройства микроволнового зондирования MSU, устройства стратосферного зондирования SSU, предназначенные для определения вертикальных профилей метеозлементов (температура, влажность, направление и скорость ветра) в атмосфере [42].

В СССР первый метеорологический КА "Космос-122" был запущен в 1966 г., а в 1967 г. уже действовала метеорологическая космическая система из двух КА "Космос-144" и "Космос-156". С 1969 г. отечественная космическая метеорологическая система получила название "Метеор-1". С 26 марта 1969 г. по 5 апреля 1977 г. было запущено 27 КА серии "Метеор-1" [45]. С 1975 г. по 1993 г. в нашей стране эксплуатировалась уже более совершенная космическая метеорологическая система "Метеор-2" [146]. Всего был запущен 21 КА этой серии. В состав постоянно действующей космической системы входили 2 – 3 аппарата на околополярных орбитах с высотой около 900 км. Одновременно с эксплуатацией космической системы "Метеор-2" с 1985 г. по 1994 г. проводились летные испытания и эксплуатация КА серии "Метеор-3" (6 КА).

В настоящее время на орбите находится только один российский КА метеорологического назначения – "Метеор-3М" № 1, который является комплексным, включая в себя кроме гидрометеорологической аппаратуры еще и природно-ресурсный аппаратный комплекс. В КА Метеор-3М" № 1 сохранены многие элементы КА предыдущего поколения "Метеор-3". Это прежде всего комплекс метеорологической аппаратуры МР700М, состоящий из одноканальной телевизионной аппаратуры видимого диапазона МР-2000, инфракрасного сканирующего радиометра "Климат", а также микроволновых многоканальных сканирующих радиометров МТВЗА и МИВЗА, служащих для всепогодного зондирования атмосферы, определения характеристик облачного покрова Земли и параметров Мирового океана. Прием данных с комплекса метеорологической аппаратуры осуществляется на пунктах приема спутниковой информации Росгидромета в Москве, Новосибирске и Хабаровске [95].

Данные с метеорологических КА широко используются для решения различных задач природопользования и контроля окружающей среды регионального и глобального масштаба:

- выявление и классификация крупномасштабных загрязнений окружающей среды;
- контроль состояния и оценка продуктивности растительных сообществ;
- прогноз, обнаружение и оценка крупных лесных пожаров;
- слежение за перемещением границ пустынь и зон засух;
- контроль динамики снежных и ледовых покровов;
- прогноз и обнаружение наводнений на реках.

С разработкой съемочной аппаратуры нового поколения, обладающей повышенным пространственным разрешением (до десятков метров) и узким спектральным интервалом (до десятков нанометров), появились новые космические системы – природно-ресурсные, позволяющие решать задачи экологического мониторинга регионального и локального масштабов [113]. Первый представитель такой системы – "Landsat-1" был выведен на орбиту 23 июля 1972 г. в США. Всего было запущено 7 КА данной серии. Запуск 6-го оказался неудачным. Последний КА "Landsat-7" был запущен в первой половине 1999 г. На нем, в частности, установлена аппаратура ЕТМ, позволяющая получать панхроматические снимки с пространственным разрешением 15 м в диапазоне 0,52 – 0,9 мкм, 30 м в 6 диапазонах (0,45 – 2,35) и 60 м в тепловом диапазоне (10,4 – 12,5). Последние три КА запущены на солнечно-синхронные орбиты высотой около 700 км с наклоном орбиты около 98° и периодом обращения около 99 мин [149].

История отечественных КА природно-ресурсного назначения началась 9 июля 1974 г. с запуска КА "Метеор-Природа", созданного на базе КА серии "Метеор". На его борту были установлены сканирующие устройства малого разрешения МСУ-М и среднего разрешения МСУ-СК. С 1980 г. запускается несколько КА серии "Космос" – прототипы КА системы "Ресурс-О". Последний из них – КА "Космос-1689" эксплуатировался в 1985 – 1986 гг. Его основная аппаратура обеспечивала получение многоспектральных изображений с пространственным разрешением 45, 170 и 220 м. С 1988 по 1998 гг. эксплуатировались 3 КА серии "Ресурс-О" № 2 – 4 со сканерами среднего разрешения (120 – 170 м) МСУ-СК и высокого разрешения (30 – 44 м) МСУ-Э. Орбиты этих КА были солнечно-синхронными с высотой около 650 км (за исключением последнего – 840 км), с наклоном орбиты около 98° и периодом обращения около 98 мин.

В настоящее время из-за выхода из строя передатчика стала недоступной информация с КА "Ресурс-О" № 4, поэтому природно-ресурсные данные поступают с комплекса аппаратуры КА "Метеор-3М" № 1, состоящего из двух сканирующих устройств высокого (40 м) и среднего (160 м) пространственного разрешения. Данные по согласованию с Росавиакосмосом передаются на приемные станции, имеющие средства для приема в диапазоне 8,2 ГГц.

КА природно-ресурсного назначения относятся и аппараты российской-украинской космической системы "Океан", которая была первой в мире оперативной радиолокационной системой ДЗЗ. Она практически постоянно функционирует с сентября 1983 г. – с момента запуска КА "Космос-1500". В соответствии с названием основное назначение данной системы – мониторинг поверхности Мирового океана. За период с 1983 по 1998 гг. было выведено на орбиту семь КА серии "Океан". Особенностью данной серии является наличие в составе бортового оборудования радиофизической аппаратуры – радиолокационной станции бокового обзора (РЛСБО) с разрешением 1,5 км и СВЧ-радиометра РМ-08 с разрешением около 15 км. Высота орбиты последнего из спутников этой системы 670 км с наклоном около 98° и периодом обращения около 98 мин [150].

В середине 80-х гг. кроме американских и советских космических систем появились системы дистанционного зондирования Земли и в других странах. Одной из наиболее эффективных космических систем является серия КА "SPOT" (Франция). С февраля 1986 г. по май 2002 г. было запущено пять КА этой серии. Особенно популярны установленные на борту "SPOT-5" два сканера HRG, дающие 3-канальные изображения (в видимом и ближнем ИК диапазонах) с разрешением 10 м, панхроматические изображения с разрешением 5 м, а также одноканальные изображения среднего ИК диапазона с разрешением 20 м. Информация с этих сканеров часто используется в картографических приложениях благодаря высокоточной стабилизации КА [211, 73]. Орбита является почти круговой с высотой 820 км и наклоном 98,7°, период обращения 101 мин. Как правило, одновременно функционируют не менее двух КА этой системы.

Спутники ERS-№ 1 и № 2 Европейского космического агентства известны входящей в состав их бортовой аппаратуры радиолокационной станцией микроволнового зондирования АМІ с синтезированной апертурой, которая обеспечивает получение радиолокационных изображений подстилающей поверхности с пространственным разрешением до 30 м. Эта аппаратура также позволяет с помощью интерферометрического метода определять высоту наземных объектов с точностью до 10 м [212]. В марте 2002 г. запущен очередной КА Европейского космиче-

ского агентства – "ENVISAT", на борту которого установлена усовершенствованная радиолокационная станция ASAR. Значительно обновился и перечень бортовых устройств нового КА.

Индийская космическая программа IRS представлена сегодня двумя действующими спутниками – IRS-1C и IRS-1D (запущены в 1995 и 1997 гг.). Установленная на этих спутниках аппаратура обеспечивает съемку земной поверхности с разрешением 5,8 м в панхроматическом режиме (прибор PAN, полоса обзора 70 км, возможность прицельной съемки в полосе 800 км) и одновременную многозональную съемку с разрешением 23 и 188 м (приборы LISS-3, WiFS, полоса обзора 140 и 810 км соответственно). Кроме описанных выше, системы дистанционного зондирования Земли созданы также в Японии (JERS), Канаде (RADARSAT), совместно Китаем и Бразилией (CBERS-1) и в некоторых других странах.

Современный уровень технологий космической съемки позволяет создавать системы детального наблюдения за состоянием окружающей среды. Под системами детального наблюдения здесь подразумеваются космические средства ДЗЗ, позволяющие получать изображения с пространственным разрешением не ниже 20 м. Эти системы развиваются очень быстро, при этом увеличивается число стран, создающих собственные спутники ДЗЗ детального наблюдения. Увеличение объема данных ДЗЗ высокого пространственного разрешения способствует расширению круга задач, решаемых методами ДЗЗ, а также дальнейшему совершенствованию методов дистанционного экологического мониторинга.

Постепенно размывается граница между системами гражданского и военного назначения. Так, в октябре 2001 г. впервые был запущен коммерческий КА "QuickBird-2" (США) со съемочной аппаратурой, обеспечивающей пространственное разрешение около 0,6 м. С другой стороны, в результате конверсии создаются космические системы ДЗЗ двойного назначения, потенциал военных систем начинает использоваться при решении гражданских задач ДЗЗ.

В 2002 г. для решения задач ДЗЗ в мире использовались следующие КА детального наблюдения: IRS-1C, IRS-1D, TES (Индия), SPOT-4,5 (Франция), Landsat-7, Terra, Aqua, MTI, EO-1, IKONOS-2, MightySat II.1, QuickBird-2 (США), EROS-1A (Израиль), Radarsat-1 (Канада), Zi Yuan-1 (CBERS, Китай, Бразилия), Zi Yuan-2 (Китай), Kompsat-1 (Южная Корея), ENVISAT (Европа) [51].

2.2. Концепция создания системы космического мониторинга окружающей среды

Система космического мониторинга окружающей среды должна решать следующие пять основных классов задач [6, 94, 91, 87, 90, 85]:

- исследование динамики изменений экосистем различного масштаба и различных естественных и антропогенных факторов, влияющих на экосистемы (экологический мониторинг);
- исследование закономерностей размещения полезных ископаемых, прогнозирование и поиск природных ресурсов, оценка режимов использования природных ресурсов (мониторинг природных ресурсов);
- прогнозирование и контроль природных катастроф и техногенных аварий, анализ факторов, предшествующих и сопровождающих катастрофы и ава-

рии, с целью совершенствования методов прогнозирования чрезвычайных ситуаций;

- фундаментальные исследования Земли в интересах метеорологии, климатологии, океанографии и др.;
- задачи, решаемые в интересах различных отраслей и предприятий, в том числе с целью оптимизации их взаимоотношений с природой (транспорт, строительство, связь, навигация и т. п.).

Важнейшим компонентом системы космического мониторинга является орбитальный сегмент – носители съемочного оборудования, в данном случае – КА. Эффективность КА во многом зависит от типа и параметров бортовых измерительных приборов. Именно способ зондирования (пассивный или активный), параметры приборов (количество, состав спектральных диапазонов, оптические характеристики) в комплексе с параметрами орбиты (высота, наклонение и т. д.) и способом доставки данных на Землю определяют ценность спутниковых данных с точки зрения пользователей. Анализ заявок пользователей на спутниковые данные показывает [160], что требования касаются, в основном, следующих характеристик данных:

- пространственного разрешения – большинство решаемых задач природопользования требуют разрешения не ниже 15 м;
- обзорности зондирования – требуемая полоса захвата съемочной аппаратуры колеблется от нескольких десятков км для локальных задач до нескольких тысяч км для глобальных задач, большое число задач требует полосы захвата до 150 км и более;
- оперативности получения данных – времени между моментом зондирования и моментом получения данных пользователем. Этот параметр особенно критичен в задачах мониторинга чрезвычайных ситуаций (время принятия решений до десятков минут), в то время как для большинства задач удовлетворительна оперативность около 1 месяца;
- набора спектральных диапазонов зондирования – для решения около трети всех задач необходим охват всего спектра электромагнитного излучения, большинство же задач пока решается с помощью видимого и ближнего инфракрасного диапазонов;
- периодичности зондирования – возможных интервалов времени повторного зондирования одного и того же объекта. В задачах мониторинга чрезвычайных ситуаций требуется непрерывное зондирование, для большинства же задач достаточна периодичность от одного раза в месяц до одного раза в сезон;
- комплексности данных по разрешающей способности, спектральным диапазонам. Комплексное использование данных позволяет увеличить достоверность дешифрирования в большинстве задач при условии использования соответствующих методов усвоения этих данных.

Предпринимались неоднократные попытки выработать оптимальные требования к спутниковым данным с целью создания необходимых средств зондирования. Оказалось, что трудно полностью совместить требования пользователей с текущим развитием технических средств, обусловленным технологическими, экономическими условиями, а иногда и объективными физическими законами. Например, пространственное разрешение R в зависимости от длины волны принимаемого излучения λ , диаметра объектива (размера апертуры антенны для радиолокатора) D и высоты орбиты H определяется следующим выражением:

$$R \sim \lambda H/D,$$

показывающим явную зависимость пространственного разрешения от характеристик съемочного оборудования и параметров орбиты КА.

Одним из подходов, исключающих стремление к созданию универсальных бортовых приборов, является создание КА тематического назначения (метеорологических, океанографических, природно-ресурсных и т. д.) [42, 45, 50, 80, 81, 113, 149]. Вследствие того, что процессы и объекты мониторинга обладают различными физическими, химическими и биологическими свойствами, масштабами и периодичностью проявления, орбитальный сегмент может состоять из нескольких фрагментов:

- высокоорбитального (высота больше 1500 км), создаваемого на базе геостационарных и высокоэллиптических космических аппаратов для глобального мониторинга;
- среднеорбитального, создаваемого на базе полярно-орбитальных КА для глобального (метеорологические, океанографические КА), регионального (океанографические, природно-ресурсные КА) и локального (КА детального наблюдения) мониторинга;
- низкоорбитального, создаваемого на базе КА с высотой орбиты меньше 350 км (КА детального наблюдения) для регионального и локального мониторинга.

Другим важнейшим компонентом системы космического мониторинга является наземный сегмент приема, обработки, архивации и распространения пользователям данных [14, 17, 89, 114, 154]. Исторически в нашей стране больше внимания уделялось созданию орбитального сегмента. Наземный сегмент строился по отраслевому принципу с ориентацией на решение отраслевых задач, что привело к диспропорциям в использовании спутниковых данных и даже к утере больших массивов данных, собранных космическими системами различного назначения за многие годы, в частности, из-за несоответствия возможностей бортовой аппаратуры для получения данных и наземного оборудования для усвоения и интерпретации этих данных.

В [86] изложена концепция наземного сегмента системы космического мониторинга окружающей среды, который должен состоять из государственного информационно-управляющего центра (ИУЦ), региональных и территориальных центров космического мониторинга окружающей среды (РЦКМ и ТЦКМ), территориальных и отраслевых центров тематической обработки спутниковых данных (ТЦТО и ОЦТО).

На рис. 2.1 представлена схема организации наземного сегмента. ИУЦ должен выполнять функции обработки и формализации запросов пользователей данных, поступающих через региональные и территориальные центры, оптимального распределения орбитальных информационных ресурсов с целью наиболее полного удовлетворения пользователей и эффективного использования орбитальной группировки, распространения баллистических данных и данных о режимах работы бортовой аппаратуры, необходимых для предварительной обработки спутниковых данных. РЦКМ должны создаваться не по отраслевому принципу, а по территориальному, с выбором их географического местоположения по критерию оптимизации зон ответственности.

Региональные центры должны располагать оборудованием для приема, обработки и распространения спутниковых данных со всех фрагментов орбитального сегмента, в том числе и с зарубежных орбитальных группировок, для решения задач

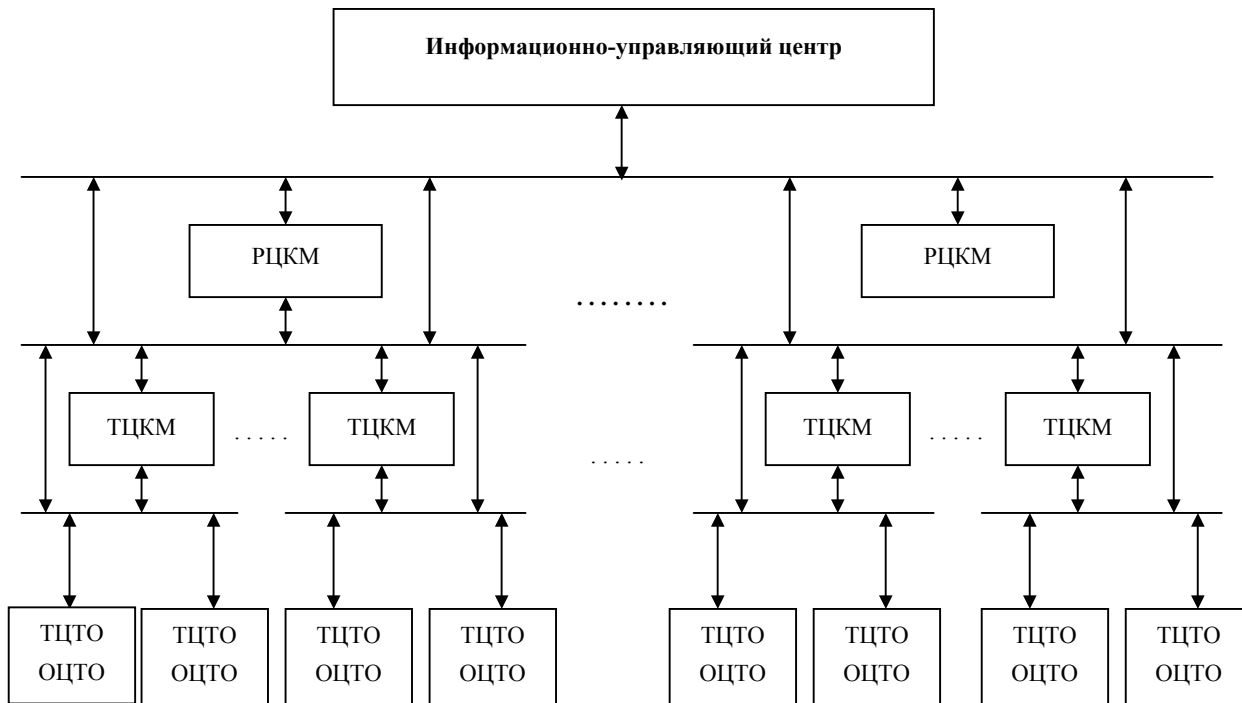


Рис. 2.1. Наземный сегмент системы космического мониторинга

глобального и регионального, а при необходимости и локального масштаба различного тематического назначения [34, 46, 123, 147]. Эти центры должны обеспечивать ТЦКМ, ТЦТО и ОЦТО недоступной им в силу возможных технических ограничений (высокоскоростные потоки данных, высокая стоимость оборудования и т. д.) информацией.

ТЦКМ создаются на базе существующих во многих субъектах РФ автономных центров приема и обработки спутниковых данных для решения задач локального, а при необходимости и регионального масштаба. Центры тематической обработки, не имеющие приемного оборудования, но обладающие современными технологиями тематической обработки, успешно функционируют в настоящее время в учреждениях и ведомствах, связанных в первую очередь с природоохранной деятельностью. Основой иерархической структуры, представленной на рис. 2.1, являются объемы информационных потоков, которыми должны оперировать центры.

Таким образом, представленная в [86] концепция организации системы космического мониторинга окружающей среды предполагает распределенную обработку и хранение спутниковых данных. Предпосылками создания такой системы является высокий уровень развития современных сетевых информационных технологий хранения, интерактивной обработки и оперативной передачи спутниковых данных по сети Интернет, Web-технологий, сетевых геоинформационных систем (ГИС) и баз данных, составляющих основу формирования информационно-космических комплексов (ИКК) центров космического мониторинга. Место и роль центров космического мониторинга в предлагаемой концепции системы космического мониторинга окружающей среды являются основой для выработки функциональных требований к ИКК.

2.3. Функционально-технологические требования к информационно-космическому комплексу

ЦКМ входит в структуру наземного сегмента системы космического мониторинга окружающей среды и является главным звеном этой структуры в пределах своей зоны радиовидимости. Основные функции центра:

1. Сбор и обобщение заявок пользователей на съемку объектов в пределах зоны ответственности, передача их в ИУЦ.
2. Подготовка данных для управления комплексом приемных средств центра.
3. Прием и регистрация спутниковых данных в режиме реального времени.
4. Предварительная обработка спутниковых данных.
5. Тематическая обработка спутниковых данных.
6. Архивация данных, ведение базы данных.
7. Ведение каталога базы данных с обеспечением доступа к ней всем потенциальным пользователям.
8. Распространение спутниковых данных и результатов их обработки.

В соответствии с основными функциями ЦКМ удобно представлять его ИКК в виде обобщенной схемы, представленной на рис. 2.2.

Система подготовки данных для управления предназначена для решения следующих задач:

- усвоение баллистических данных об интересующих КА и данных о режимах работы бортового оборудования;

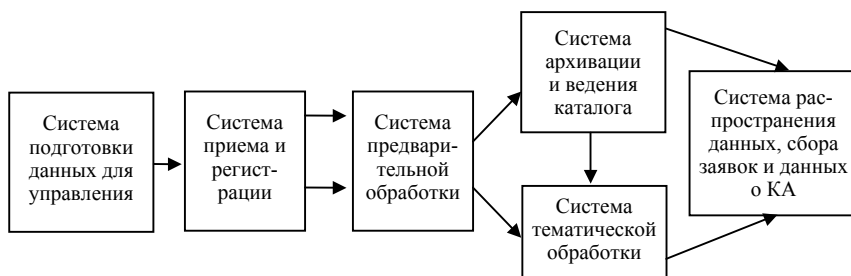


Рис. 2.2. Схема информационно-космического комплекса ЦКМ

- расчет траекторий движения КА;
- формирование расписаний работы приемного комплекса ЦКМ;
- расчет данных для управления антенными устройствами (целеуказаний).

Основные функциональные требования к данной системе – *возможность усвоения данных независимо от типа КА, гибкость по отношению к форматам данных.*

Особенности организации приема и регистрации таковы, что данные, получаемые при проведении сеансов связи с КА, регистрируются в Центре приема большими порциями, снабжаемыми необходимой сопутствующей служебной информацией, что делает удобным рассматривать их в качестве основной информационной единицы, подлежащей обработке и обычно называемой сеансом.

Система приема и регистрации предназначена для получения и записи информации в реальном времени проведения сеанса связи с КА, причем в ряде случаев на него могут возлагаться и другие функции, реализуемые в ходе поступления информации, например, автоматическое ведение антенны или контроль состояния приемных технических средств. Скорость передаваемого на Землю потока спутниковой информации может быть выражена формулой:

$$C = L \cdot V \cdot B \cdot N \cdot K / R^2,$$

где L – ширина полосы обзора, V – скорость перемещения подспутниковой точки по трассе КА, B – число бит на элемент информации, N – число спектральных каналов, K – коэффициент, зависящий от способа, применяемого при передаче помехоустойчивого кодирования, R – пространственное разрешение бортового съемочного оборудования.

В соответствии с приведенной формулой скорость передачи данных с существующих и планируемых к запуску в ближайшее время КА варьируется в диапазоне от нескольких сотен Кбит/сек с высокоорбитальных КА с бортовой аппаратурой глобального обзора с низким пространственным разрешением (1 – 10 км) до нескольких сотен Мбит/сек с низкоорбитальных КА с аппаратурой для детального обзора с очень высоким пространственным разрешением (до нескольких метров). Таким образом, основное функциональное требование к системе приема и регистрации – *возможность приема и регистрации без потерь информации, поступающей с высокой скоростью в режиме реального времени.*

Объем принимаемой информации линейно зависит от скорости ее поступления. Например, сеанс связи со среднеорбитальными КА длится около 10 минут и, с учетом приведенных выше скоростей передачи, занимает объем от нескольких десятков мегабайт до нескольких гигабайт. Другое функциональное требование к системе приема и регистрации – *возможность регистрации большого объема информации.*

ИКК должен работать одновременно с несколькими космическими системами, движение КА между ними совершенно не согласуется из-за различий в параметрах орбит и разного назначения КА, поэтому возможны совпадения сеансов связи по времени. Соответственно, должно выполняться следующее функциональное требование к системе приема и регистрации – *возможность проведения одновременно нескольких сеансов связи с КА.*

Система предварительной обработки предназначена для локализация сбоев и восстановления структуры потока информации, нарушенной в процессе регистрации. Другая задача системы – проведение форматной обработки данных, получаемых с бортовых приборов со сложной логикой преобразования информации. Алгоритмы форматной обработки базируются на априорных сведениях о структуре потоков информации, типе и режимах функционирования используемых радиотелеметрических систем. Не менее важные операции предварительной обработки – радиометрические преобразования (калибровка), в процессе которых исправляются радиометрические искажения, вызванные датчиками и характеристиками среды, вносятся поправки на "дрейф" электроники, различия детекторов, на изменения освещенности, атмосферных условий. Система должна обеспечивать разноуровневую геометрическую коррекцию видеоданных: коррекцию по орбитальным данным, в том числе с использованием наземных контрольных точек; с использованием цифровой модели рельефа. Типичными операциями предварительной обработки являются геометрические преобразования (масштабирование, повороты, преобразования проекций, исправление систематических геометрических искажений), улучшение изображений (усиление контуров, сглаживание локальных "шумов", уменьшение размытости).

Одним из наиболее важных показателей эффективности системы предварительной обработки является ее производительность, определяемая по формуле:

$$P = V \cdot M / T,$$

где V – объем информации сеанса, M – среднее количество операций, производимых при обработке единицы информации, T – время обработки информации сеанса. Важное функциональное требование к системе предварительной обработки – *производительность должна обеспечивать обработку информации за время, не превышающее время между двумя последовательными сеансами связи с КА.*

Сложность и разнообразие программного обеспечения предварительной обработки спутниковых данных, с одной стороны, и быстрое развитие вычислительной техники в части как базовых, так и периферийных компонентов, с другой стороны, диктуют необходимость разработки программного обеспечения, легко переносимого на другие технические средства. Необходимых качеств можно добиться за счет использования универсальных языков программирования, создания самонастраивающихся программ и т. д. Функциональное требование к программному обеспечению системы предварительной обработки – *максимальная независимость от используемых технических средств.*

Это же функциональное требование следует предъявить и к программному обеспечению **системы тематической обработки**. С развитием компьютерных технологий, переносом всех основных операций по обработке и дешифрированию спутниковых данных на компьютеры, особенно в связи с широким распространением геоинформационных технологий, тематическая обработка стала прерогативой конечных пользователей, решающих с помощью спутниковых данных свои конкретные задачи. Тем не менее ЦКМ, являющийся оперативным элементом системы космического мониторинга окружающей среды, должен осуществлять мониторинг динамичных природных процессов, чрезвычайных ситуаций и других объектов и процессов регионального масштаба и иметь развитую систему тематической обработки данных. Функциональное требование к системе тематической обработки – *выдача результатов обработки в видах и форматах, легко адаптируемых к требованиям обработки данных дистанционного зондирования и геоинформационных технологий* (фотопланы, тематические карты, векторные карты, слои ГИС, цифровые модели рельефа и т. д.).

Система архивации и ведения каталога предназначена для организации хранения и удобного доступа к данным. Архивация спутниковых данных, доступ пользователей к каталогам и архивам всегда были в техническом отношении сложнейшими задачами. С одной стороны, это обусловлено большим объемом данных, накапливаемых даже в течение одного сеанса, с другой стороны – отсутствием технических средств оперативного доступа широкого круга пользователей к каталогам и архивам.

В последнее время в связи с разработкой новых методов записи цифровых данных появились технические средства, позволяющие хранить большие объемы данных (до десятков Гбайт) на носителях с прямым доступом (магнитные, лазерные, магнитооптические, DVD-диски) и с последовательным доступом (стримеры типа Exabyte, DLT и т. п.). Благодаря появлению дисковой памяти с RAID-технологией стало возможным создание больших (десятки терабайт) архивов с непосредственным доступом.

Развитие локальных, корпоративных и глобальных вычислительных сетей позволило создать новое поколение архивов данных, позволяющих организовать оперативный доступ широкого круга удаленных пользователей [64]. Вместе с тем существующие сегодня глобальные вычислительные сети в большинстве случаев не позволяют оперативно передавать большие объемы данных, характерные для систем ДЗЗ. В этих условиях важную роль приобретают каталоги архивов с удаленным оперативным доступом, которые дают возможность осуществить поиск необходимых данных и просмотр их сжатых образов (Quick Look).

В связи с этим основные функциональные требования к системе архивации и ведения каталога информации: *возможность хранения большого объема информации (десятки, сотни терабайт), надежность, быстрый доступ к информации, обеспечение удаленного доступа независимо от аппаратной платформы пользователей, масштабируемость для обеспечения возрастающих по мере увеличения архивов потребностей в информационных ресурсах, простота интеграции с различными аппаратными и программными средствами широкого круга пользователей.*

Система распространения спутниковых данных, сбора заявок и данных о КА является важнейшей с точки зрения пользователей, ее эффективность и оперативность являются показателем эффективности всего ИКК, оцениваемого по конечным результатам работы. Виды выходной продукции ИКК разнообразны: фото-

монтажи, тематические карты, векторные карты, информация на цифровых носителях после обработки разного уровня. В современных условиях быстрого развития вычислительной техники перечень типов носителей цифровых данных, применяемых пользователями, достаточно широк: дискеты, стримерные ленты с различными способами записи, видеокассеты, магнитные, лазерные, магнитооптические диски и т. п. Растет круг пользователей, имеющих возможность получать данные по глобальным вычислительным сетям и по выделенным каналам с использованием разных протоколов. Поэтому необходимым условием распространения информации должно быть представление ее в стандартных, наиболее широко применяемых форматах. Следовательно, функциональное требование к системе распространения данных может быть сформулировано в виде: *максимальный учет запросов по формированию и выдаче информации пользователям, в том числе по глобальным вычислительным сетям.*

Сформулированные выше функциональные требования к системам ИКК являются определяющими при выборе архитектуры ИКК ЦКМ.

2.4. Структура информационно-космического комплекса

Информационно-космический комплекс ЦКМ реализует функции приема, обработки и распространения спутниковой информации и объединяет технические средства, программное и информационное обеспечение в вычислительную систему. При определении структуры этой системы необходимо сделать выбор между двумя основными типами архитектуры организации вычислительных систем:

- централизованная вычислительная система, состоящая из нескольких периферийных компьютеров (прием, распространение) и центрального компьютера (обработка);
- распределенная вычислительная система, в которой возможности для обработки обеспечиваются совокупностью нескольких взаимодействующих компьютеров.

При выборе первого варианта гибкость и развитие системы являются проблематичными, к тому же обеспечение надежности требует резервирования центрального компьютера с целью предотвращения выхода из строя всей системы при ее сбое, а это почти удваивает стоимость системы без увеличения ее возможностей. При запуске новых КА поток данных может увеличиться настолько, что превысит возможности центрального компьютера, в этом случае потребуется значительная перестройка оборудования и математического обеспечения. Требования высокой надежности и адаптации к изменяющимся потребностям приводят к выбору распределенной многомашинной системы как основы архитектуры ИКК ЦКМ. Отдельные компьютеры будут осуществлять прием, обработку и распространение информации по направлениям космических систем, при этом они будут образовывать компьютерную сеть.

Реализация локальной сети должна быть осуществлена на основе существующих систем передачи данных и разработанных протоколов обмена информацией, в том числе ТСР/ІР и НТТР, широко применяемых в современных интранет-системах [13, 31, 76, 105, 108, 151]. Интранет-системы могут обеспечить своевременную доставку информации, коммуникации внутри центра, а также доступ к

базам данных с настольных рабочих мест, независимо от используемых компьютерных платформ или типа сетевого оборудования. Сеть с аппаратно-программной интранет-архитектурой обладает гибкостью и способностью к постепенному расширению, не требующему крупных изменений в системном математическом обеспечении. В дополнение к обеспечению внутренних коммуникаций, системы Интранет можно использовать для обеспечения связи с удаленными пользователями и телекомпьютерами. В этом случае информационное пространство центра является частью виртуального Интернет / Интранет пространства. Преимуществами такого решения являются, во-первых, методологически единая информационно-программная база открытых систем (клиент-серверные ОС, БД, ГИС), обеспечивающих возможности интеграции разнородных данных, размещенных на серверах региональных служб, и, во-вторых, возможность построения технологии, легко адаптируемой к новым техническим задачам (наращивание информационных ресурсов и функциональное развитие).

Опишем кратко общую структуру ИКК. Ядро комплекса составляет локальная вычислительная сеть. Ядро окружено рядом систем с различными функциями (см. рис. 2.2.). Основу систем составляет один или несколько компьютеров с соответствующей периферией. Ключевое положение в комплексе занимают подсистемы приема и регистрации и подсистемы предварительной обработки, соответствующие типам КА (рис. 2.3.) Они должны удовлетворять очень высоким требованиям надежности и соответствовать функциональным требованиям для работы с данными типами КА. При запуске новых типов КА крупной перестройки системы не потребуется, достаточно будет добавить новую подсистему приема и регистрации и подсистему предварительной обработки с требуемыми параметрами.

Необходимой является подсистема подготовки данных для управления комплексом приемных средств центра, предназначенная для усвоения баллистических данных на все типы КА и информации о режимах их работы, поступающих из центров управления полетами, расчета на их основе расписаний сеансов связи с КА и выполнения баллистических расчетов, обеспечивающих управление антеннами.

Подсистема тематической обработки обеспечивает углубленную обработку информации по заявкам пользователей. Особое внимание должно быть уделено интерактивной обработке, созданию продуктов обработки в видах и форматах, совместимых с широко распространенными ГИС.

Для обеспечения обработки больших объемов данных целесообразно использовать рабочие станции или иметь возможность передачи данных на мощные вычислительные комплексы. Компьютеры подсистемы соединяются в единую сеть по схеме, в которой каждый из участников является равноправным. Если какой-либо компьютер выйдет из строя, то это никак не скажется на работе сети в целом, функции неисправного компьютера легко перенести на другой. Реализация сети позволяет соединить компьютеры в единую систему, обладающую большим дисковым пространством, мощными вычислительными и графическими средствами.

Еще одна подсистема, требующая современных аппаратно-программных средств для хранения и быстрого доступа к информации, – это подсистема архивации и ведения каталога. При выборе технических средств здесь особое внимание надо уделять долговременности хранения информации, быстродействию управляющих устройств.

Назначение подсистемы изготовления продукции двойное: она должна давать как окончательный результат обработки (карты, таблицы, фотоснимки, цифровую

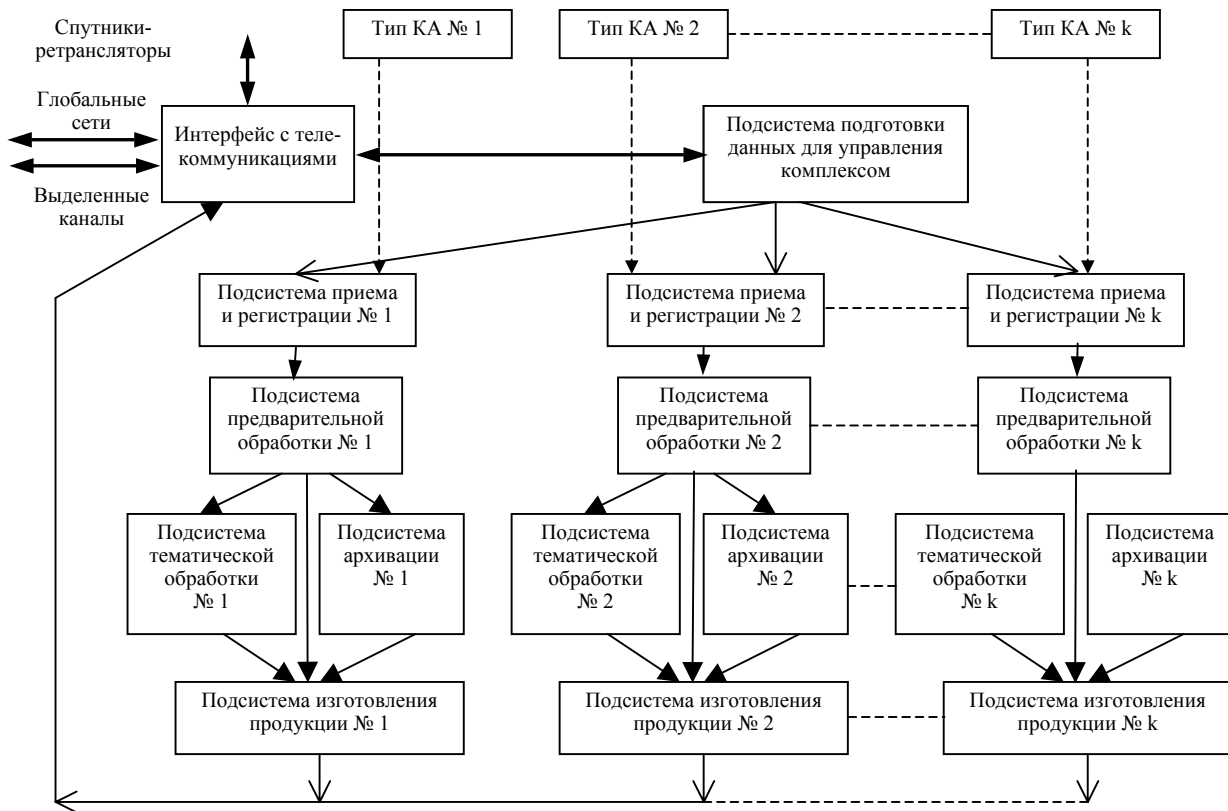


Рис. 2.3. Структура информационно-космического комплекса ИЦКМ

информацию), так и промежуточные результаты предварительной обработки, в том числе из архива. Выбор устройств, объединяемых в подсистему, зависит в большой степени от набора необходимых пользователям видов выходной продукции, с другой стороны, выбор должен быть оптимальным с точки зрения стоимости получаемой продукции. Особое внимание нужно уделять поддержке общепринятых форматов.

Важной представляется подсистема интерфейса с телекоммуникациями, предназначенная для организации связи с ИУЦ (получение баллистических данных, информации об изменениях режимов работы ИСЗ и отдельных приборов на ИСЗ), для обеспечения доступа к каталогам архивов, для распространения обработанных данных пользователям, для передачи данных в территориальные ЦКМ и центры тематической обработки. Технические средства данной подсистемы должны обеспечивать обмен данными через глобальные сети, выделенные каналы, спутников-ретрансляторы.

Приведенная здесь концепция организации информационно-космического комплекса, изложенная в [86], была использована при создании аппаратно-программного комплекса Западно-Сибирского регионального центра приема и обработки спутниковых данных (ЗапСибРЦПОД) Западно-Сибирского управления (ЗапСиб УГМС) Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды "Росгидромет" (1985 – 1996 гг.). В 1997 – 2000 гг. эта концепция явилась основой создания Центра космического мониторинга Сибири (ЦКМС) на базе ЗапСиб РЦПОД и Института вычислительной математики и математической геофизики (ИВМ и МГ) СО РАН при поддержке Межрегиональной ассоциации "Сибирское соглашение".

2.5. Примеры реализации информационно-космических комплексов

Рассмотрим структуру ИКК РЦКМ на примере Центра космического мониторинга Сибири (г. Новосибирск) [5, 59, 85]. В организационном плане ЦКМС состоит из трех фрагментов, территориально удаленных друг от друга на расстояние до 40 км (рис. 2.4). (ВППИ – вынесенный пункт приема информации).



Рис. 2.4. Организационная схема ЦКМС

С точки зрения архитектуры ЦКМС представляет собой интегрированную информационную систему (ИИС) с интранет-архитектурой. ИИС создана в виде интранет-сети, в которой обмен информацией между фрагментами и с конечными пользователями осуществляется с использованием стандартных технологий Интернет: Web-серверов, TCP/IP и HTTP. Под информацией здесь понимается служебная (документы), программное обеспечение, результаты вычислений, спутниковые данные, производственные новости в диалоговом или групповом режиме общения. В техническом плане ЦКМС представляет собой корпоративную сеть связи и реализуется в виде трех локальных вычислительных сетей (ЛВС), соединенных между собой через широкополосную цифровую систему абонентского радиодоступа (технология CDMA) и выделенные волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) со скоростью до 2 Мбит/сек. Транспортным протоколом сети связи является IP-протокол. Технические детали организации сети связи приводятся ниже.

Комплекс технических и программных средств, установленных на ВППИ, предназначен для выполнения всех функций РЦКМ, перечисленных в п. 2.3. В составе комплекса используются как специальные устройства, предназначенные для работы с изображениями, так и типовые средства вычислительной техники. Комплекс состоит из систем, приведенных на рис. 2.2, и его структура соответствует структуре информационно-космического комплекса РЦКМ, приведенной на рис. 2.3.

Система подготовки данных для управления всем комплексом реализована на базе высокопроизводительного компьютера Pentium III-1 ГГц, на котором производятся расчеты расписаний сеансов связи, баллистические прогнозы и расчеты целеуказаний (координаты движения антенн), программные средства позволяют усваивать исходные данные для расчетов на любые КА, в том числе и зарубежные.

На рис. 2.5 представлена схема системы приема и регистрации, состоящей из приемных станций, предназначенных для работы с КА метеорологического (NOAA, Тетра, Метеор-3), океанографического (Океан-О) и природно-ресурсного (Ресурс-О) назначения. Управление антенно-поворотными устройствами и регистрация данных осуществляется компьютерами, класс которых зависит прежде всего от скорости и объема потока принимаемых данных. На схеме даны названия приемных станций, используемых на ВППИ: "Уран", МР-1000, "Фобос" (УКВ-диапазон), "СканЭкс" (S-диапазон), УППОИ (S- и X-диапазоны), "ГНА-57" (X-диапазон) (рис. 2.6).

Системы предварительной и тематической обработки построены с учетом наличия спутниковых систем различного назначения (рис. 2.7). Аппаратно-программные средства обработки для разных систем созданы с учетом объемов сеансов и трудоемкости решаемых задач и обладают разными производственными возможностями.

В фрагменте 2 ЦКМС (рис. 2.4), расположенном в ИВМ и МГ, установлены компьютеры и графическая станция для тематической обработки спутниковых данных и для разработки ГИС-технологий. При решении некоторых задач оперативного мониторинга (распознавание образов, восстановление рельефа местности с высоким пространственным разрешением и т. д.) требуется быстрая обработка данных, поступивших в течение сеанса связи с КА. Объем данных одного сеанса с современных природно-ресурсных КА может достигать до нескольких десятков Гбайт. Так как даже самые быстродействующие современные компьютеры последовательной архитектуры не способны решать такие задачи в требуемые сроки, то

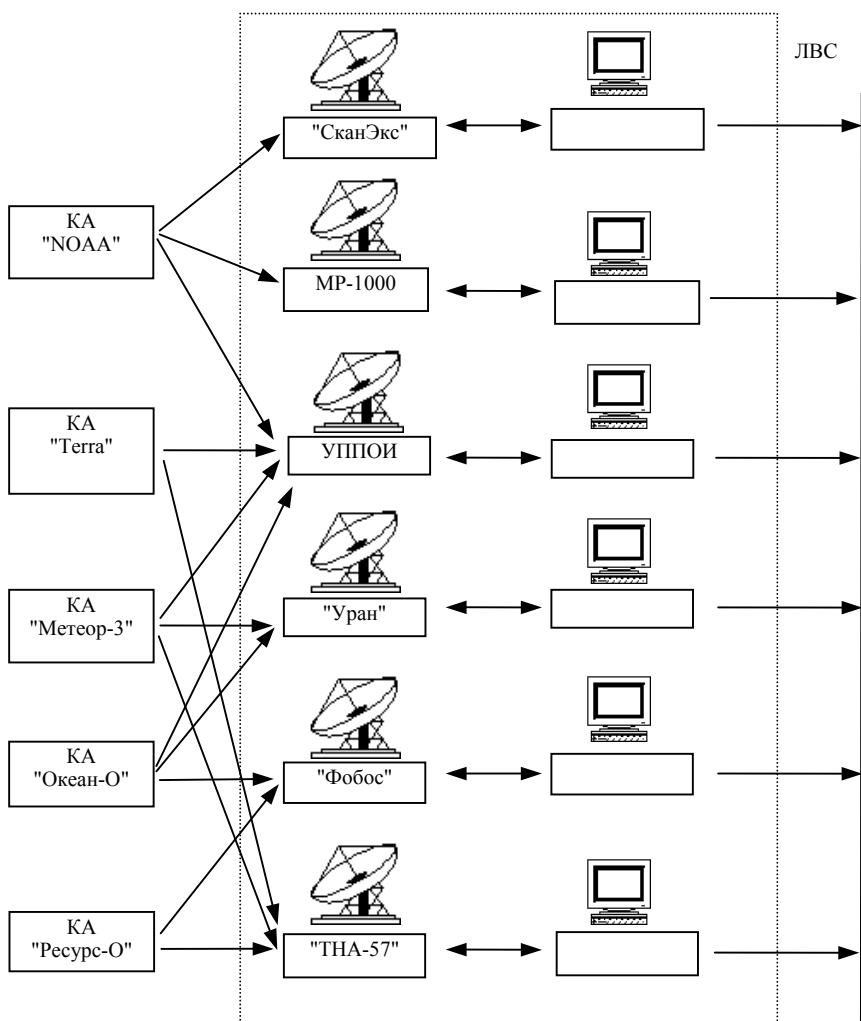


Рис. 2.5. Система приема и регистрации

выход из этой ситуации напрашивается в виде использования параллельных вычислений на многопроцессорных вычислительных средствах.

Для реализации трудоемких алгоритмов и обработки больших массивов данных в ИВМ и МГ технически организован выход из ЛВС ЦКМС в Сибирский суперкомпьютерный центр (ССКЦ) СО РАН, расположенный в здании института.

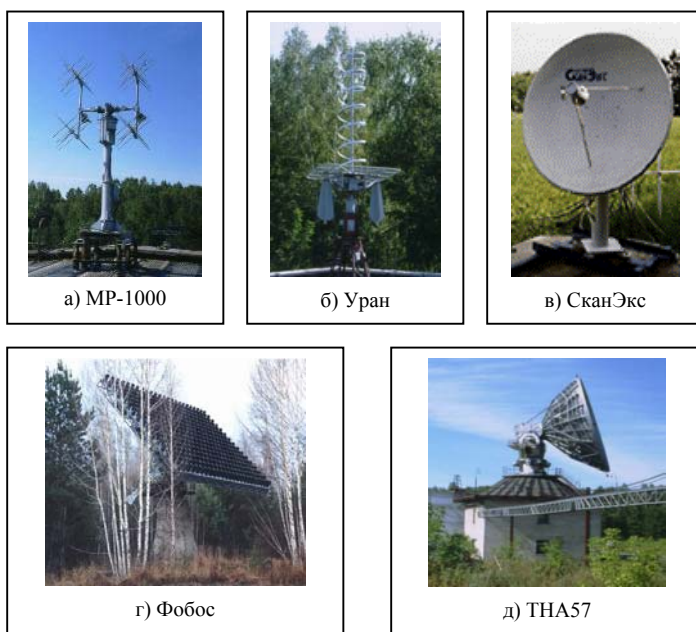


Рис. 2.6. Станции приема, используемые на ВППИ

ССКЦ развивается в рамках проекта суперкомпьютинга СО РАН при поддержке РФФИ (проект №99-07-90422) на базе многопроцессорной ЭВМ RM600 под управлением ОС Unix. В качестве вычислителя используется конфигурация из двух SMP серверов RM600-E30 фирмы Siemens (Германия) с общей пиковой производительностью около 3 Гфлоп и оперативной памятью 4,3 Гбайта. Серверы соединены между собой с помощью двух 100-Мбитных портов коммутатора. Эти серверы выполнены на базе 250 МГц RISC -микропроцессоров R10000 фирмы MIPS и характеризуются общим полем оперативной памяти. На серверах RM600 E30 установлена операционная система Reliant UNIX 5.44C20. Распараллеливание задач производится на уровне процессов. В состав Reliant Unix входит система разработки программ на языке Си, компиляторы C++, Fortran 77. На серверах RM600 E30 инсталлирован пакет MPICH 1.2.0 (MPI Chameleon) Арагонской национальной лаборатории США.

В качестве теста рассматривалась задача восстановления рельефа местности по спутниковым изображениям с пространственным разрешением 2 м. Для районов площадью в несколько сотен км² решение этой задачи на обычных компьютерах выливается в десятки дней. Применение многопроцессорного комплекса позволило решить данную задачу за сутки, то есть примерно в 50 раз быстрее. Распараллеливание производилось с помощью алгоритма равномерной разбивки изображений на подобласти.

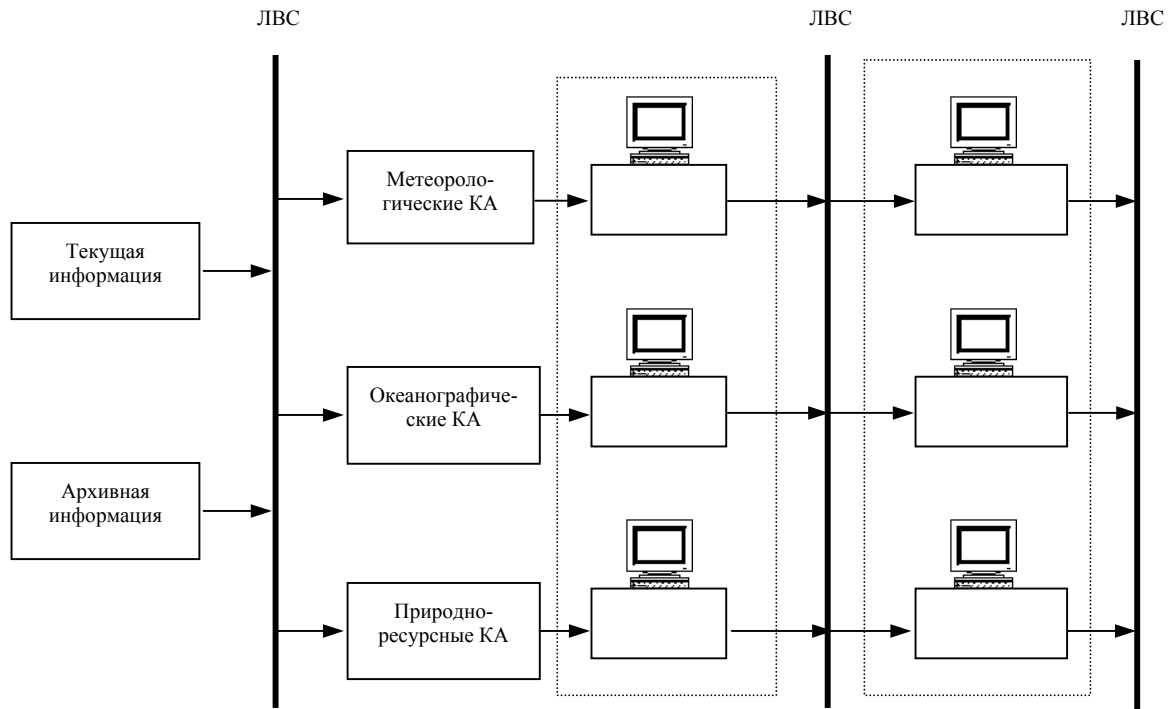


Рис. 2.7. Системы предварительной и тематической обработки

Исследовался [86] также другой аспект применения вычислительных средств с мультипроцессорной архитектурой при обработке спутниковых данных – валовая обработка многоспектральных данных, часто необходимая при предварительной обработке, а также во многих алгоритмах тематической обработки. Распараллеливание вычислений здесь осуществляется естественным образом по спектральным каналам. Проводились эксперименты по фотометрической обработке сеанса с КА "Ресурс-О1" № 3 4-канального потока данных со сканера МСУ-СК. Результаты показали, что использование многопроцессорных комплексов с большой оперативной памятью весьма эффективно для решения такого рода задач. В некоторых случаях скорость обработки многоспектральной информации растет почти линейно с увеличением количества используемых процессоров. Данный аспект обработки спутниковых данных, несомненно, актуален благодаря начавшемуся применению на КА бортовых гиперспектральных (несколько десятков спектров) устройств.

Исходные данные для расчетов и данные о режимах работы с КА поступают через систему распространения данных, сбора заявок и данных, относящихся к КА (рис. 2.8). Эта же система осуществляет распространение спутниковых данных пользователям и обмен данными между фрагментами ЦКМС.

Для решения перечисленных задач локальные вычислительные сети (ЛВС) фрагментов ЦКМС были подключены к высокоскоростной сети телекоммуникационной компании "Магистраль-Телеком". Основой для функционирования сети связи компании "Магистраль-Телеком" является сеть базовых станций, построенная с использованием современных систем передачи информации синхронной цифровой иерархии (SDH) и многоволоконных одномодовых оптических кабелей. Для построения базовой сети уровня доступа 2 Мбит/с компании "Магистраль-Телеком" используется аппаратура первого уровня SDH, осуществляющая передачу информации со скоростью 155 Мбит/с в рамках синхронного транспортного модуля STM-1. Основой для взаимодействия сети связи компании "Магистраль-Телеком" с сетями клиентов является первичный цифровой канал 2 Мбит/с с интерфейсом G.703 (G.704). Связь ЛВС ВППИ с базовой станцией осуществляется с использованием широкополосной цифровой системы абонентского радиодоступа по протоколу Ethernet (технология CDMA) со скоростью до 2 Мбит/сек. Доступ ЛВС ЗапСиб РЦПОД в г. Новосибирске и ЛВС ИВМ и МГ СО РАН к базовым станциям обеспечивается через волоконно-оптические линии связи. Важным фактором является то, что пользователям услуг сети "Магистраль-Телеком" обеспечивается доступ к ресурсам Интернет, что позволило решить не только задачу создания корпоративной сети связи ЦКМС, но и задачу доступа к имеющимся в ЦКМС спутниковым данным и их каталогам пользователям Интернет. Переход из ЛВС ВППИ в другие фрагменты ЦКМС и в Интернет осуществляется через маршрутизатор на базе IBM PC с операционной системой BSD UNIX, который через интерфейс Arlan-640 выходит в высокоскоростную цифровую радиолинию.

Система имеет интерфейс с центром коммутации сообщений автоматизированной службы передачи данных (АСПД) Росгидромета через каналы которой данные с метеорологических и океанографических КА распространяются в учреждения Росгидромета. Выделенный проводной цифровой канал с НИЦ "Планета" (г. Москва) используется как для получения исходных данных для баллистических расчетов и данных о режимах работы с КА, так и для обмена спутниковыми данными.

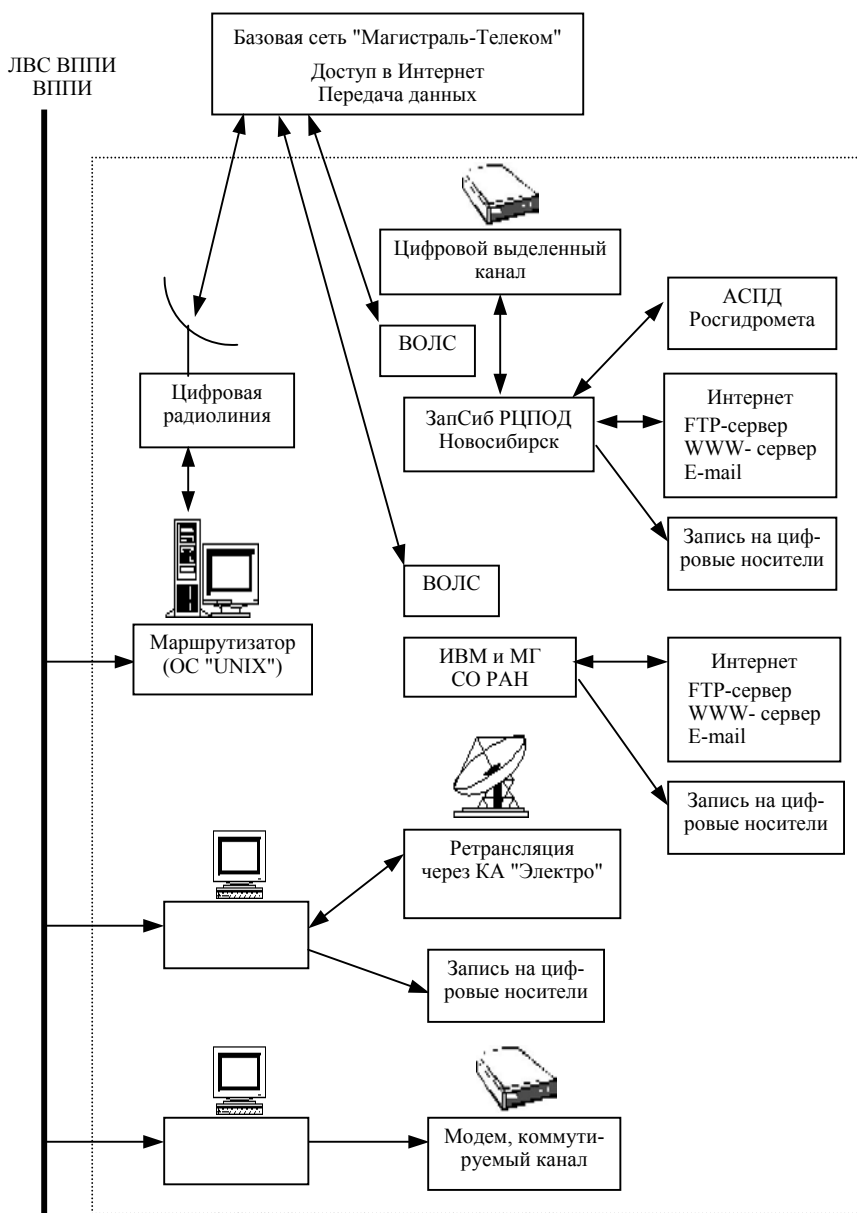


Рис. 2.8. Система распространения данных, сбора заявок и данных о КА

В фрагментах 2 (ИВМ и МГ) и 3 (ЗапСиб УГМС) (см. рис. 2.4) организован выход через оптоволоконные каналы в Интернет для получения данных о КА и для распространения спутниковых данных с помощью FTP-сервера, WWW-сервера и E-mail удаленным пользователям. Сбор и передача заявок на съемку в центры управления КА также осуществляются через названные каналы. Коммутируемый канал используется для передачи спутниковых данных или результатов обработки пользователям, не имеющим выхода в общедоступные глобальные вычислительные сети (например, службам Министерства по делам ГО и ЧС). Имеются отлаженные технические средства для приема и передачи данных через спутник-ретрансляторы, в частности, проводились работы с КА "Электро". По заявкам потребителей данные также распространяются на цифровых носителях: компакт-дисках, стримерных лентах, Zip-дисках и т. д., для чего организована запись во всех фрагментах ЦКМС.

Для того чтобы система архивации и ведения каталога удовлетворяла функциональным требованиям, приведенным в п. 2.3, наилучшим вариантом было бы создание архивов в виде баз данных на аппаратных платформах с высокопроизводительными процессорами в конфигурации с расширенной оперативной и дисковой (типа RAID-технологии) памятью. В ЦКМС же реализован двухкомпонентный архив (рис. 2.9). Основная его часть хранится на магнитных и лазерных носителях: компакт-диски (CD) используются для архивации природно-ресурсной информации, стримерная лента Exabyte и частично компакт-диски (CD) используются для архивации данных с метеорологических КА. Текущая и чаще всего запрашиваемая "старая" информация хранится в базах данных в дисковой памяти компьютеров с возможностью непосредственного доступа. В фрагменте ЦКМС, расположенном в ИВМ и МГ, создан WWW- сервер ЦКМС с оперативным удаленным доступом к каталогу природно-ресурсной информации (www.sibrsc.ru) и база данных с непосредственным доступом к части этой информации. В фрагменте ЦКМС, расположенном в ЗапСиб УГМС, организован WWW- сервер для оперативного доступа к каталогу и архиву метеорологических данных (www.rcpod.siberia.ru).

Совместно с Институтом космических исследований (ИКИ, г. Москва) и научно-исследовательским центром "Планета" (г. Москва) в сети Интернет на сервере ИКИ (http://sputnik.infospace.ru/resurs/rus_win/resurs.htm) был создан каталог природно-ресурсной информации Росгидромета [75]. Каталог автоматически обновляется данными, поступающими из НИЦ "Планета" и ЗапСиб РЦПОД.

Другим примером информационно-космического комплекса является центр ДЗЗ Югорского научно-исследовательского института информационных технологий (ЮНИИ ИТ) (г. Ханты-Мансийск) [11]. Среди основных задач ЮНИИ ИТ:

- исследования в области информационно-космических технологий;
- создание геоинформационных систем, организация и выполнение геоинформационных проектов;
- организация и осуществление информационно-технологического сопровождения аналитической деятельности органов власти на территории Ханты-Мансийского автономного округа, основанной на геопространственных данных и геоинформационных технологиях;
- разработка и внедрение передовых информационных технологий для высокопроизводительной обработки данных, их хранения и высокоскоростной передачи по сетям компьютерных телекоммуникаций;

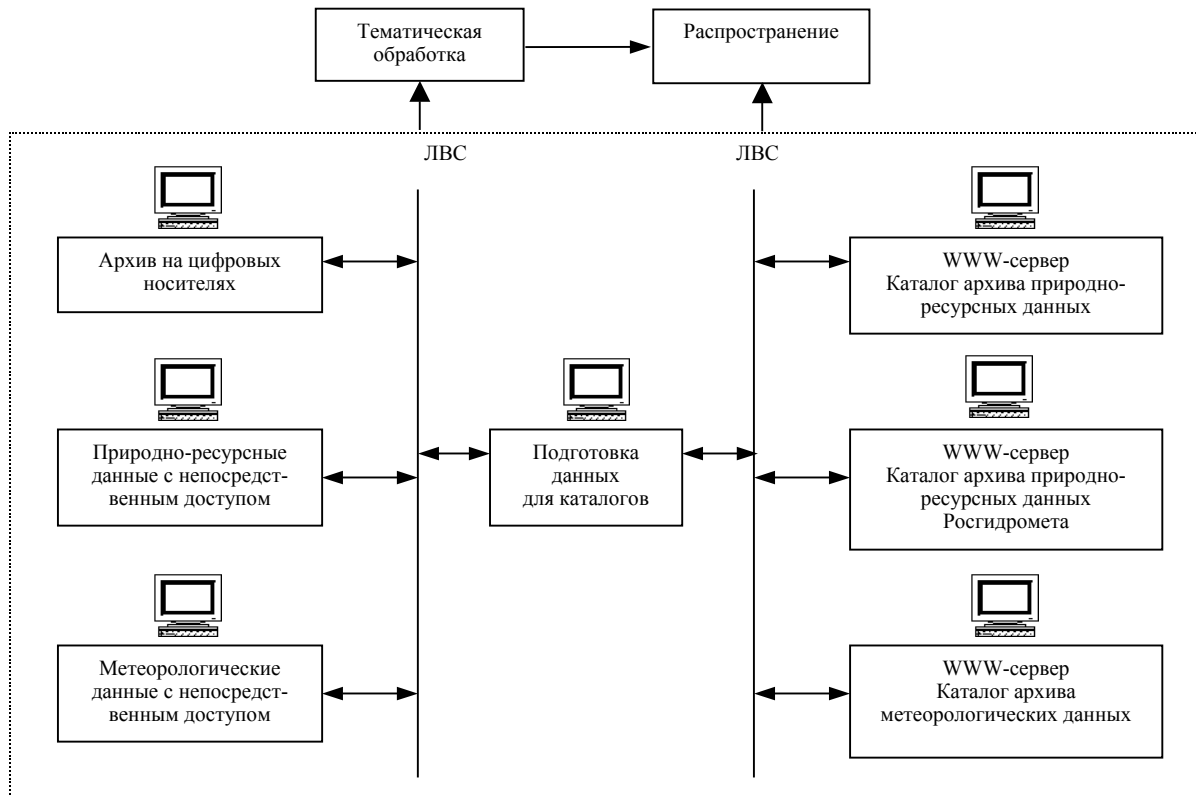


Рис. 2.9. Система архивации и ведения каталога

- развитие суперкомпьютерных сетевых технологий, предоставляющих современные возможности и обеспечивающих работу с базами данных большого объема.

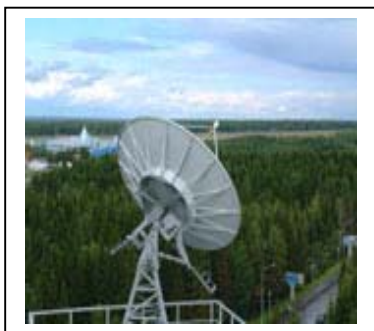
Более подробную информацию о деятельности ЮНИИ ИТ можно найти на Web-сайте www.uriit.ru.

Соответственно, основные направления деятельности центра ДЗЗ:

- прием и регистрация информации с российских и иностранных спутников, осуществляющих зондирование Земли;
- предварительная и тематическая обработка информации;
- архивация и ведение базы данных;
- ведение каталога базы данных с обеспечением доступа к ней всем потенциальным пользователям;
- распространение спутниковой информации и результатов ее обработки.

Информационно-космический комплекс Центра строится на принципах, изложенных в п.п. 2.2 – 2.4. Центр обладает тремя приемными станциями. Одна из них – станция приема и обработки информации производства НПЦ "Сканэкс". Станция предназначена для приема информации со скоростью до 64 Мбит/сек в S-диапазоне частот [46]. Вторая станция – универсальный пункт приема и обработки информации, поставленный НПЦ "ОПТЭКС" (рис. 2.10а). Станция способна принимать информацию со скоростью до 128 Мбит/сек. Функционально она разделена на две составные части для работы в S-диапазоне (1,7 ГГц) и в X-диапазоне (8,2 ГГц).

Третья станция – высокоинформативный пункт приема и обработки информации на базе приемной антенны ТНА-9П производства Российского НИИ космического приборостроения [34] (рис. 2.10б). Комплекс может обеспечить приём, запись, каталогизацию и архивацию информации, поступающей с КА ДЗЗ в X-диапазоне частот со скоростью до 500 Мбит/сек, то есть со всех существующих отечественных и зарубежных КА природно-ресурсного назначения, а также с КА детального наблюдения.



а)



б)

Рис. 2.10. Приемное оборудование центра ДЗЗ ЮНИИ ИТ

Отличительной особенностью ИКК ЮНИИ ИТ является его уникальное оборудование для хранения и обработки больших и сверхбольших объемов данных. Компьютерное ядро Института состоит из двух мощных суперкомпьютеров производства Sun Microsystems (рис. 2.11). Суммарная пиковая мощность компьютеров составляет свыше 100 гигафлоп. Имеется возможность сравнительно легкого наращивания производительности до нескольких сотен гигафлоп за счет добавления дополнительных процессорных модулей. В качестве платформы для решения наиболее сложных в вычислительном отношении задач использован суперкомпьютер компании Sun Microsystems – Sun Fire 15000. Этот мультипроцессорный компьютер выполнен в архитектуре SMP, которая в наибольшей степени соответствует потребностям многомерных вычислительных задач с сильно связанными данными. К задачам такого типа относятся и задачи обработки данных ДЗЗ, геоинформатики.

Суперкомпьютер Sun Fire 15000 построен по иерархическому принципу, что позволяет наращивать вычислительную мощность без значительной потери производительности на межпроцессорном взаимодействии. Первый уровень иерархии представлен вычислительными модулями, состоящими из четырех процессоров Ultra SPARC III с тактовой частотой 900 МГц и оперативной памяти объемом 32 Гбайт, а также модулями ввода-вывода, поддерживающими интерфейсы Gigabit Ethernet, Fibre Channel, SCSI. Суперкомпьютер оснащен 18 слотами для установки вычислительных модулей и 18 слотами для установки модулей ввода-вывода, что обеспечивает возможность использовать в максимальной конфигурации 72 процессора и память объемом 576 Гбайт.

Сеть хранения информации SAN (Storage Area Network) включает трехуровневую систему накопителей (дисковые массивы, ленточная библиотека, оптическая библиотека CD / DVD) и позволяет надежно хранить десятки терабайт данных. Подключение накопителей к суперкомпьютерам выполнено с помощью коммутаторов технологии Fibre Channel по топологии с избыточными связями, повышающими производительность и делающими сеть хранения устойчивой к отказам. Использование прогрессивной технологии обеспечивает высокую степень гибкости использования устройств хранения информации – любой процессор компьютера и любой узел кластера может получать независимый и высокоскоростной доступ к любому диску. Это позволяет применять разнообразные схемы разделенного и выделенного доступа к дисковому пространству, а также к данным на лентах и оптических дисках. При этом выбор схемы диктуется программным обеспечением в зависимости от потребностей набора задач.

Центральным компонентом современных информационных систем выступает надежный, мощный, производительный сервер баз данных [21, 22, 30]. В ЮНИИ ИТ в качестве такого сервера выступает СУБД Oracle 9i, работающий на Sun Fire 15000, а также используются локальные базы данных на Oracle 9i, работающие под различными платформами и операционными системами – Sun SPARC Solaris, Sun SPARC SunOS, LINUX Intel, MS Windows 2000, MS Windows NT. Для решения геоинформационных задач используется ArcSDE или Spatial Database Engine – это служебное программное обеспечение для связи ГИС-приложений с системами управления реляционными базами данных (РСУБД). Это программное обеспечение построено на клиент-серверной технологии и предназначено для хранения, управления и быстрого получения пространственных данных из РСУБД, таких, как Oracle, Microsoft SQL Server, IBM DB2 и Informix. ArcSDE играет фундаментальную роль как в организации корпоративных многопользовательских ГИС, так и в

Суперкомпьютерный
вычислительный центр Югорского
научно-исследовательского института
информационных технологий

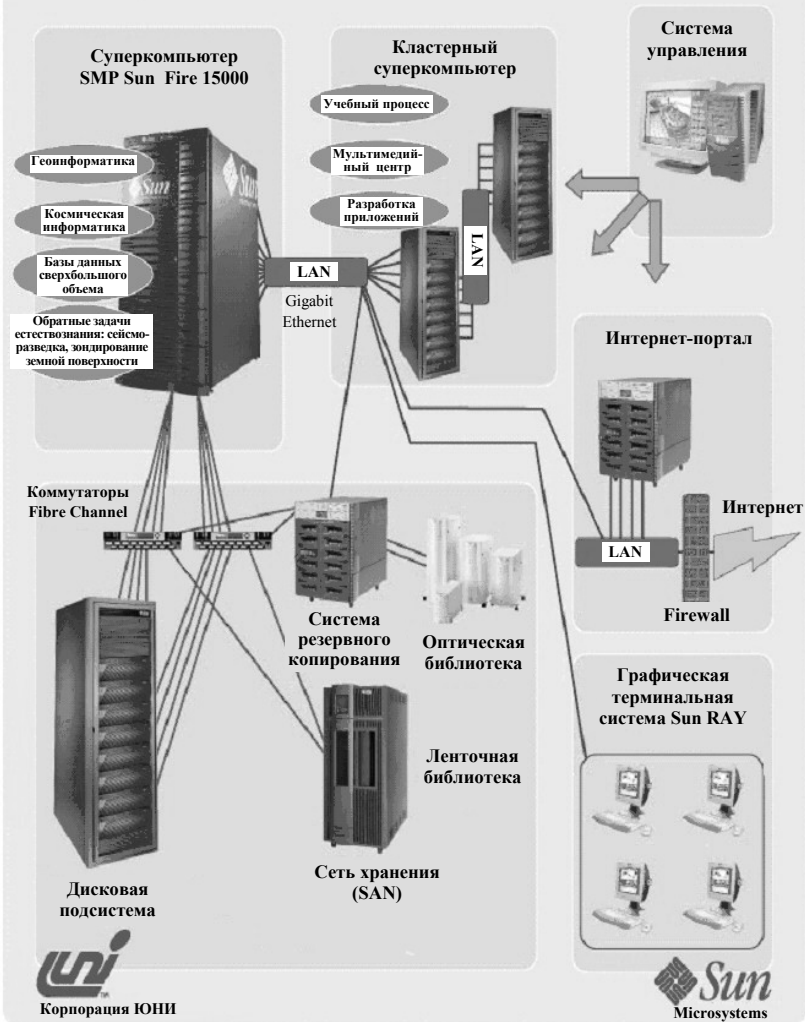


Рис. 2.11. Схема суперкомпьютерного вычислительного центра ЮНИИ ИТ

развертывании распределенных ГИС. В настоящее время производятся работы по осуществлению доступа пользователей Интернет к геоинформационным ресурсам ЮНИИ ИТ. Механизм доступа основан на использовании Oracle9i Application Server (Oracle9iAS) – продукта универсального класса, позволяющего решать широкий спектр задач по поддержке приложений в интернет, интранет и Ethernet-системах.

Программное обеспечение для обработки данных, имеющееся в Центре ДЗЗ, позволяет производить предварительную и тематическую обработку, разработку собственных прикладных модулей, а также обеспечение работы пользователей в интерактивном режиме. Для автоматизации обработки, каталогизации и хранения данных ДЗЗ на суперкомпьютере Sun Fire 15000 установлены пакеты прикладного программного обеспечения ERDAS IMAGINE Pro 8.5 for SUN и ENVI (UNIX) [12] (рис. 2.12). ENVI позволяет осуществлять обработку в мультипроцессорном режиме, что значительно сокращает время работы.

Для разработки собственных программных модулей имеются средства разработчика ENVI IDL и Imagine Developers Toolkit. Работа в среде WINDOWS осуществляется лицензионным программным обеспечением ENVI, ERDAS IMAGINE Pro 8.5, ErMapper 6.2.

Для тематической обработки данных ДЗЗ, создания тематических геоинформационных систем (ГИС) в ЮНИИ ИТ используются прикладные пакеты фирм ESRI и MapInfo Corp. Основой является полная линейка продуктов ArcGIS фирмы ESRI, которая включает плавающие лицензии программ ArcMap, ArcCatalog, ArcTools, ArcEditor, фиксированные лицензии ArcMap, ArcCatalog, ArcTools, дополнительные модули 3D Analyst, Spatial Analyst, Geostatistical Analyst, полнофункциональную ГИС ArcInfoWorkStation для платформ Windows и Solaris, программы для клиент-серверных и интернет-решений ArcSDE и ArcIMS. Также используются такие популярные в России и в мире программы фирмы MapInfo Corp, как профессиональная ГИС MapInfo Pro (версия 6.5) и система программирования MapBasic, дополнительный модуль Pavan. Модули ArcINFO WorkStation, размещенные на суперкомпьютере, позволяют оперативно осуществить вычислительноемкую обработку пространственных данных, реализация которых затруднительна на обычных компьютерах на платформе Windows.

Пакет ArcIMS обеспечивает удаленный доступ пользователей через сеть Интернет к геоданным, размещенным в геобазе ArcSDE-Oracle. Возможна работа пользователей как в режиме доступа к публикуемым электронным картам с использованием стандартных интерфейсов готовых решений на основе HTML- и Java-вьюеров и браузера ArcExplorer, так и в режиме защищенного корпоративного доступа к геоданным на основе специально разработанных на Java и ASP специализированных интерфейсов.

В настоящем разделе обзора приведены только два примера реализации информационно-космических комплексов в составе РЦКМ. Заметим, что в России существует около двух десятков центров космического мониторинга регионального и территориального уровня. В восточной части страны, кроме двух выше рассмотренных, такие центры функционируют в Анадыре, Барнауле, Владивостоке, Иркутске (2 центра), Красноярске, Новокузнецке, Томске (3 центра), Хабаровске, Южно-Сахалинске, Якутске [4].

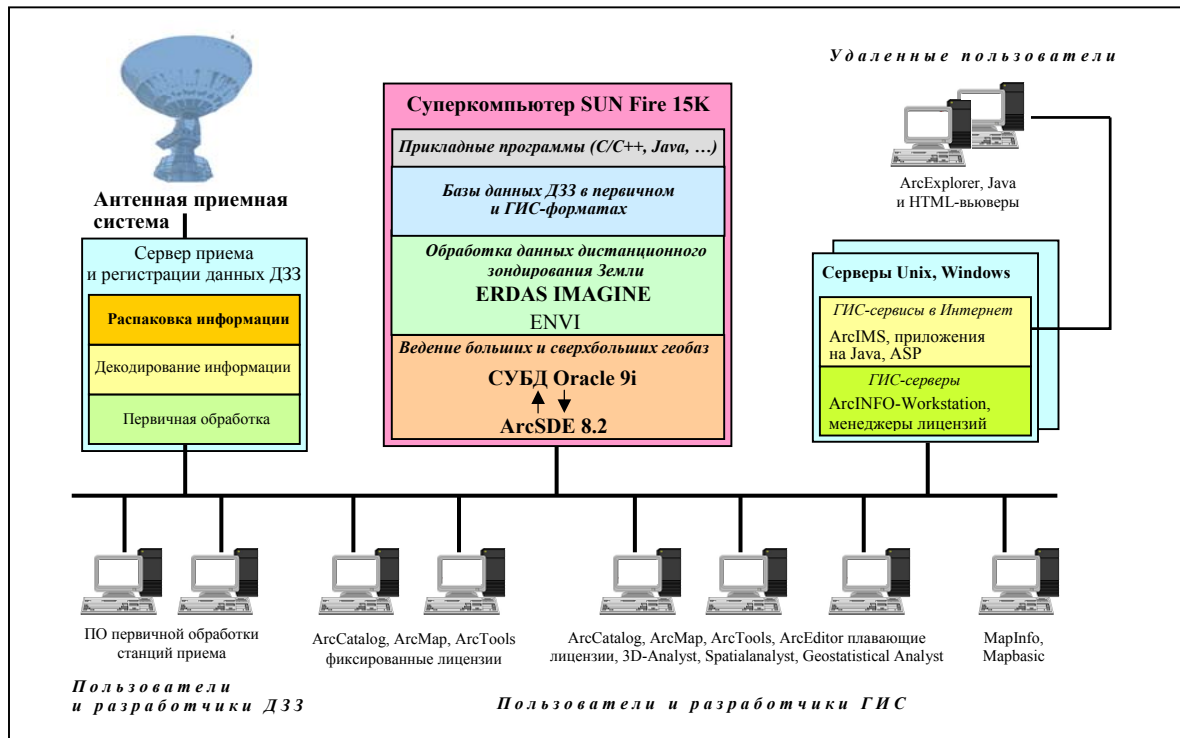


Рис. 2.12. Программное обеспечение предварительной и тематической обработки данных в центре ДЗЗ ЮНИИ ИТ

Глава 3. ВОПРОСЫ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННО-КОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

3.1. Математическое и программное обеспечение приема, предварительной обработки и архивации спутниковых данных

Дадим краткую характеристику математического и программного обеспечения задач приема, предварительной обработки и архивации спутниковых данных на примере Центра космического мониторинга Сибири (г. Новосибирск). Автоматизация приема и регистрации космоснимков предполагает решение следующих основных задач:

1. Расчет с заданной заблаговременностью на основе баллистических данных расписаний сеансов связи с КА.
2. Расчет координат движения антенн во время сеансов связи с КА.
3. Оптимизация распределения и использования вычислительных ресурсов в процессе регистрации информации в режиме реального времени.

Основой решения первых двух задач является быстрый и экономичный алгоритм расчета положения КА, движущегося по орбите, близкой к круговой [15, 103, 164 – 166, 181]. Для учета постоянно действующих сил в рамках метода оскулирующих элементов для каждого момента времени истинная орбита представляется в виде некоторой кеплеровой орбиты. Преимуществом этого алгоритма является его совместимость с повитковым прогнозом движения КА, при котором рассчитываются оскулирующие элементы орбиты спутника на начало каждого витка, что нужно для решения первой задачи. При расчете координат КА достигается точность, необходимая для решения второй задачи.

Алгоритм разделяется на следующие этапы:

- определение средних элементов орбиты, то есть элементов, получаемых с учетом вековых и долгопериодических возмущений движения КА;
- расчет короткопериодических возмущений положения КА в орбитальной системе координат;
- вычисление прямоугольных экваториальных координат КА.

На основе этого алгоритма разработана программа, рассчитывающая расписание входа КА в зону радиовидимости пункта приема, затем эти расписания сопоставляются с планами сброса информации, поступающими из центра управления, получаются расписания связи с отдельными КА, далее производится программная сортировка расписаний и составляется общее расписание работы ЦКМ на несколько суток вперед [86].

Для определения координат движения антенн (целеуказаний) с узкой диаграммой направленности прямоугольные экваториальные координаты преобразуются в топоцентрическую систему с началом координат в точке пункта приема. На высоких углах места, в соответствии с техническими ограничениями на изменение азимута антенны между соседними по времени точками, автоматически уменьшается вдвое шаг по времени после 60° и 80° . При значениях угла, близких к 90° (момент "переброса" антенны), для выполнения технических условий осуществляется интерполяция координат.

Для управления антеннами с широкой диаграммой направленности рассчитываются так называемые стандартные целеуказания, которые действительны в течение нескольких лет при условии стабильности орбиты КА. Модельная орбита рассчитывается по вышеизложенному алгоритму в экваториальных инерциальных координатах с шагом Δd , измеряемым в градусах долготы. Затем рассчитываются таблица движения антенны в зоне радиовидимости и время движения до зоны. Таким образом рассчитываются таблицы движения антенн для N орбит, где $N = [360/\Delta d]$. Перед приемом реального витка автоматически выбирается таблица витка, ближайшего к реальному по долготе восходящего узла, с помощью которой и производится управление антенной. Предложенный метод расчета позволяет использовать для управления антенной компьютер без каких-либо специальных требований к его вычислительным возможностям.

Для определения координат движения антенны (целеуказаний) с узкой диаграммой направленности в алгоритме используется разложение гравитационного потенциала с удержанием 16 первых гармоник. Коэффициенты ряда взяты из модели, описывающей форму геоида с точностью до 2,5 м [120]. Для более точного учета влияния атмосферы используются параметры динамической модели DENSIT, принятой в России в качестве стандартной для баллистического обеспечения полетов КА. Такой подход дает возможность определить координаты подспутниковой точки с погрешностью до 3 км на недельном интервале от исходных орбитальных данных.

Вышеперечисленные алгоритмы реализованы в пакете программ "Баллист", блок-схема которого приведена на рис. 3.1. Пакет реализован в операционной системе Windows и включает программы, объединенные оболочкой-меню.

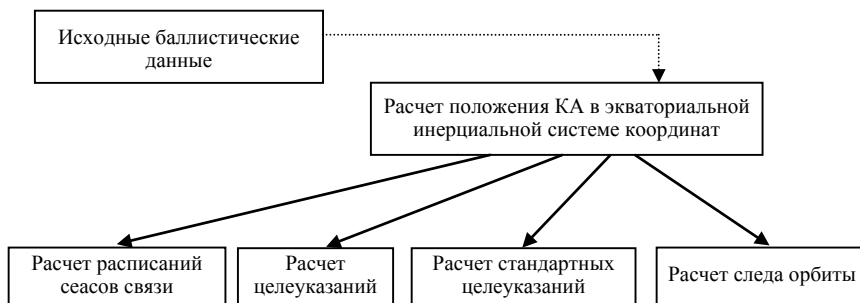


Рис. 3.1. Блок-схема пакета программ "Баллист"

Регистрация информации на ЭВМ в темпе приема с КА производится в режиме реального времени, что требует тщательного подхода к записи во избежание потерь информации. В процессе регистрации для контроля качества приема производится выдача видеоинформации на экран монитора в режиме "пролета", который наиболее естественен для просмотра поступающей информации.

Предварительная обработка является необходимым звеном процесса обработки спутниковых данных [32, 98, 142, 169, 175, 180, 184, 203, 205, 207, 208]. В предварительной обработке фрагментация занимает значительное место из-за большого объема поступающей информации и сложности структуры этой информации, содержащей в себе данные с нескольких бортовых устройств. При разработке программного обеспечения фрагментации для всех типов КА решались две основные задачи:

- разделение поступающего потока данных по видам информации, которые определяются бортовыми устройствами;
- фрагментация многоспектральной видеоинформации.

Решение первой задачи базируется на априорных сведениях о характеристиках устройств и в значительной степени определяется логикой их функционирования. Рассматривались два основных класса данных: данные пространственного сканирования (видеоинформация) и данные спектрального сканирования. Данные спектрального сканирования получают с устройств, ведущих измерения в широком, разбитом на небольшие интервалы диапазоне электромагнитного спектра [54]. Обычно записывается средний уровень энергии, приходящейся на единицу площади в поле зрения прибора, как функция длины волны. Эти данные нельзя представить в виде изображения, их природа сильно отличается от данных пространственного сканирования, поэтому понадобились другие форматы для их хранения. При фрагментации этих данных осуществляется контроль достоверности с применением критериев, характерных для каждого конкретного вида данных. В процессе дальнейшей обработки эти данные используются для определения вертикальных профилей температуры и влажности атмосферы, количества озона в атмосфере и т. д.

В процессе съемки, передачи на Землю по радиоканалу, при приеме и регистрации спутниковые данные подвергаются искажениям, вызванным шумами бортового приемного оборудования или радиопомехами в зоне прохождения сигнала. На изображениях эти искажения проявляются в виде сбоев (пропусков) строк или в виде сбоев отдельных элементов, так называемых импульсных помех. В ЦКМС используется несколько алгоритмов автоматического обнаружения и устранения таких помех. Так как помехи пространственно декоррелированы, то в их спектре, как правило, содержатся более высокие пространственные частоты, чем в спектре обычного изображения. Поэтому даже простая низкочастотная пространственная фильтрация является эффективным средством сглаживания помех (шумов). В соответствии с методами, рассмотренными в [141], массив G выходного изображения размером $M \times M$ формируется путем дискретной свертки массива F исходного изображения размером $N \times N$ со сглаживающим массивом H размером $L \times L$ согласно формуле:

$$G(m_1, m_2) = \sum_{n_1} \sum_{n_2} F(n_1, n_2) H(m_1 - n_1 + 1) (m_2 - n_2 + 1).$$

Сглаживание шума обеспечивается путем низкочастотной фильтрации с помощью массива H с положительными элементами, часто называемого шумоподав-

ляющей маской. В процессе фильтрации окрестность анализируется на наличие перепадов яркости (контуров) с целью изменения шумоподавляющей маски. Это позволяет избежать подавления мелких деталей, понижающего информативность изображения (как при медианной фильтрации). Для того чтобы процедура подавления шума не изменяла средней яркости изображения, массив H нормируется. Программная реализация данного алгоритма предполагает работу как в автоматическом режиме при оперативной обработке изображений с метеорологических КА, так и в процессе выборочной обработки изображений с природно-ресурсных КА (рис. 3.2). Фильтрация используется также и для устранения структурных искажений изображений, чаще всего обусловленных изменением характеристик элементов сканеров [204, 209] (рис. 3.3).

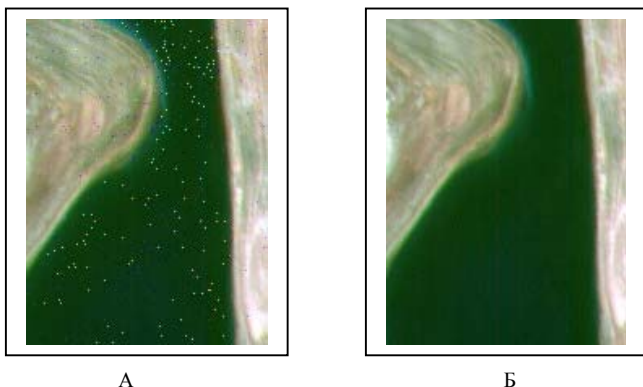


Рис. 3.2. Пример фильтрация шумов: А – исходное изображение, Б – обработанное

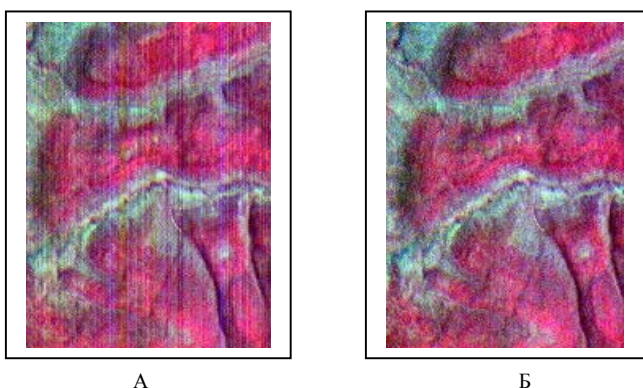


Рис. 3.3. Пример устранения структурных искажений:
А – исходное изображение, Б – обработанное

Геометрическая коррекция спутниковых изображений является обязательной процедурой предварительной обработки [26, 158, 173, 174]. В [86] описан алгоритм одного из видов геометрической коррекции – орторектификации, представляющей собой преобразование изображения в некоторую картографическую проекцию для последующей точной географической привязки изображения к картографическим материалам. Особенностью данного алгоритма является его универсальность по отношению к широкому кругу типов проекций (рис. 3.4). Программа, реализующая данный алгоритм, используется в том числе и в пакете прикладных программ "АРТ-монтаж" для слияния нескольких изображений в единое, покрывающее большую территорию изображение.

Для географической привязки спутниковых изображений к конкретным координатным системам, в том числе и с использованием опорных точек на местности, разработан ряд программ [92]. Географическая привязка данных спектрального сканирования, отличающихся низким пространственным разрешением, осуществляется на основе алгоритма, описанного выше. На последнем этапе алгоритма производится преобразование экваториальной инерциальной системы в экваториальную вращающуюся систему с помощью матрицы перехода:

$$M = \begin{bmatrix} \cos\varphi & \sin\varphi & 0 \\ -\sin\varphi & \cos\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

где $\varphi = s_0 + \omega_3(t - t_0)$,

ω_3 – угловая скорость вращения Земли,

s_0 – угловое расстояние Гринвичского меридиана от точки весны на текущий момент времени t_0 .

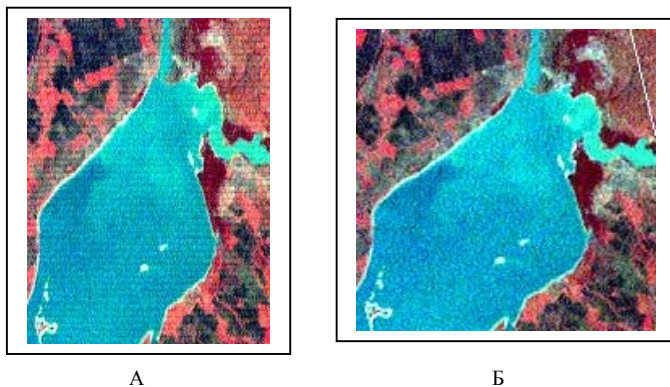


Рис. 3.4. А – исходное изображение с КА "Ресурс-О" № 3, сканер МСУ-СК, Б – изображение после устранения структурных искажений и преобразования в картографическую проекцию Гаусса-Крюгера

В результате получается так называемый след орбиты, то есть значения широты и долготы подспутниковых точек с некоторым шагом во времени. Программа, реализующая данный алгоритм, входит в состав пакета программ "Баллист" (см. рис. 3.1).

Для экспресс-обработки видеоинформации метеорологического характера часто требуется нанесение географической сетки без трансформации в проекцию карты в режиме реального времени [49, 92]. В результате использования построчного алгоритма, в основе которого лежат аналитические соотношения, связывающие систему координат снимка и земную систему координат, получаются разрывы "пологих" линий географической сетки. В [86] предложен логический корректирующий алгоритм, устраняющий эти разрывы в процессе построчной обработки. В результате логического анализа данных о пересечении формируемой сетки с текущей и предыдущей строками определяется тип линий – выпуклые или вогнутые. На следующем этапе алгоритма определяется вид участка линий – край линии, точка перегиба или регулярный участок. В случае обнаружения разрыва любой из линий сетки на основании анализа участка линии этот разрыв устраняется в процессе обработки текущей строки. Программа, реализующая данный алгоритм, используется при нанесении географической сетки на космоснимки, принимаемые с КА "Метеор", "Океан" и "NOAA" [88, 93].

Очень важными с точки зрения функционирования РЦКМ представляются вопросы архивации получаемых спутниковых данных на весь регион и организации оперативного доступа региональных и других пользователей к каталогам и архивам. В [16, 56, 64, 65, 75, 86, 109, 118, 186] рассмотрены вопросы структурной организации, а также технические и программные вопросы ведения архивов и каталогов, процедуры доступа к ним локальных и удаленных пользователей. В ЦКМС реализован архив природно-ресурсных спутниковых данных на компакт-дисках (CD). Запись на них ведется с помощью двух устройств CD-Writer: одно архивирует текущую оперативную природно-ресурсную информацию, на другом ведется архивация текущей метеорологической информации и перезапись архивных данных с устаревших магнитных лент с высокой плотностью записи со специализированных магнитофонов ML-0601 (Франция). Для организации перезаписи был разработан аппаратно-программный интерфейс между магнитофоном ML-0601 и IBM-совместимым компьютером. В настоящее время ведется разработка технологии перезаписи на CD-R архива спутниковых данных на фотоносителях, созданного в ЗапСиб РЦПОД. Одной из сложных здесь является задача совмещения многоспектральных данных.

Как упоминалось в п. 2.2, большие объемы данных, поступающих с КА во время одного сеанса, предопределяют возможность фрагментации архивных данных, передачи их пользователям с сохранением в заголовке файлов сопутствующих орбитальных данных, данных о режимах работы бортовых устройств и т. д. Важнейшим моментом при создании такого архива является выбор формата, позволяющего создать простой и удобный аппарат фрагментации. В качестве формата для хранения природно-ресурсных данных был выбран формат BRS, разработанный в Институте космического приборостроения (г. Москва). Была разработана методика фрагментации, в том числе и для оперативной передачи файлов по глобальным вычислительным сетям с возможностью конвертирования в другие распространенные форматы.

В [16] описана система хранения космических сканерных снимков, обеспечивающая функции удалённого манипулирования данными. Система хранения построена по принципу распределенной базы данных. Разработана концептуальная модель хранения данных, описывающая типы данных и связи между ними (рис. 3.5). Для ускорения процесса манипулирования данными с учетом большого объема сеансов спутниковых данных один сеанс разбивается на несколько фрагментов, каждый из которых требует отдельного описания и хранения этой информации в базе данных. Поэтому в базе данных организована основная таблица сеансов, в которой содержатся записи с информацией по всему сеансу приёма данных. Каждой записи в таблице сеансов соответствует набор записей в таблице фрагментов, содержащих информацию о фрагментах.

В таблицах 3.1 – 3.5 приведено описание полей всех таблиц базы данных.

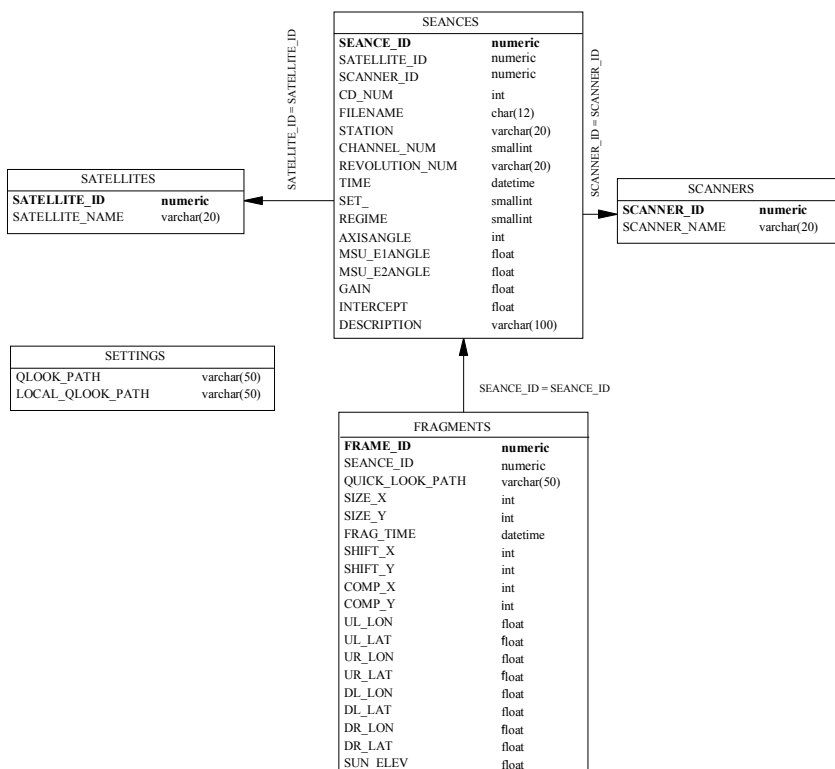


Рис. 3.5. Модель данных

Таблица 3.1

Таблица с информацией по всему сеансу – SEANCES

Поле	Описание
SEANCE_ID	Идентифицирующее поле
SATELLITE_ID	Идентифицирующее поле для типа спутника
SCANNER_ID	Идентифицирующее поле для типа сканера
CD_NUM	Номер компакт-диска с BRS-файлом
FILENAME	Имя BRS-файла на компакт-диске
STATION	Станция приема
CHANNEL_NUM	Номер используемого для QuickLook канала сканера
REVOLUTION_NUM	Номер витка
TIME	Время начала сеанса
SET_	Набор данных
REGIME	Режим проведения съемки
AXISANGLE	Угол наклона зеркала
MSU_E1ANGLE	Угол наклона зеркала
MSU_E2ANGLE	Угол наклона зеркала
GAIN	Параметры передаточной характеристики
INTERCEPT	Параметры передаточной характеристики
DESCRIPTION	Для заметок

Таблица 3.2

Таблица фрагментов потока BRS – FRAGMENTS

Поле	Описание
1	2
FRAME_ID	Идентифицирующее поле
SEANCE_ID	Идентифицирующее поле для таблицы Seances
QUICK_LOOK_PATH	Содержит относительный путь до QuickLook изображения, соответствующего фрагменту
SIZE_X	Размер фрагмента по X
SIZE_Y	Размер фрагмента по Y
FRAG_TIME	Время начала съемки фрагмента
SHIFT_X	Сдвиг от начала потока (сеанса) по X
SHIFT_Y	Сдвиг от начала потока (сеанса) по Y
COMP_X	Сжатие QuickLook изображения для фрагмента по X
COMP_Y	Сжатие QuickLook изображения для фрагмента по Y

1	2
UL_LON	Координаты (долгота) левого верхнего угла QuickLook изображения для фрагмента
UL_LAT	Координаты (широта) левого верхнего угла QuickLook изображения для фрагмента
UR_LON	Координаты (долгота) правого верхнего угла QuickLook изображения для фрагмента
UR_LAT	Координаты (широта) правого верхнего угла QuickLook изображения для фрагмента
DL_LON	Координаты (долгота) левого нижнего угла QuickLook изображения для фрагмента
DL_LAT	Координаты (широта) левого нижнего угла QuickLook изображения для фрагмента
DR_LON	Координаты (долгота) правого нижнего угла QuickLook изображения для фрагмента
DR_LAT	Координаты (широта) правого нижнего угла QuickLook изображения для фрагмента
SUN_ELEV	Угол возвышения солнца

Таблица 3.3

Таблица спутников – SATELLITES

Поле	Описание
SATELLITE_ID	Идентифицирующее поле
SATELLITE_NAME	Имя спутника

Таблица 3.4

Таблица сканеров – SCANNERS

Поле	Описание
SCANNER_ID	Идентифицирующее поле
SCANNER_NAME	Имя сканера

Таблица 3.5

Таблица настроек – SETTINGS

Поле	Описание
QLOOK_PATH	Путь изображений для доступа по протоколу HTTP
LOCAL_QLOOK_PATH	Путь изображений для доступа по локальной сети

На основе концептуальной модели разработана система управления базой данных (СУБД), которая обеспечивает типичные для СУБД функции: предоставляет возможность хранения, извлечения и обновления данных, имеет доступный конечным пользователям каталог данных и механизмы поддержки транзакций и управления параллельностью при многопользовательском режиме, предоставляет средства восстановления базы данных, имеет механизм санкционированного доступа пользователей к данным, поддерживает обмен данными с удаленными пользователями (коммуникационный интерфейс), имеет инструмент контроля качества (непротиворечивости) данных. На рис. 3.6 и 3.7 представлены примеры пользовательского интерфейса СУБД.

При реализации данной многопользовательской СУБД ее архитектура была ориентирована на технологию "клиент-сервер", которая имеет ряд преимуществ по сравнению с архитектурными схемами телеобработки и файлового сервера. Это, прежде всего, повышение производительности системы, снижение стоимости аппаратного обеспечения, сокращение коммуникационных расходов, повышение уровня непротиворечивости данных. К тому же системы баз данных, основанные на архитектуре "клиент-сервер", являются некоторым приближением к распределенным системам баз данных. Конечно, это является очень упрощенным приближением, но зато оно не требует при расширении решения основного набора проблем, характерных для распределенных баз данных.

Каталог описанной базы спутниковых природно-ресурсных данных можно найти на Web-сайте Центра космического мониторинга Сибири (www.sibrsc.ru). Приложение, позволяющее удаленным пользователям производить поиск необходимой информации в каталоге, написано на языке Java.

Причиной такого выбора является то, что приложения, написанные на этом языке, исполняются на любой вычислительной платформе, имеющей интерпретатор. Эти приложения могут загружаться интерпретатором по сети и наконец появляется возможность представления приложений в специальном формате, который может интерпретироваться в стандартных браузерах (Интернет Explorer, Netscape Navigator). Программа-обработчик, устанавливаемая на сервере, осуществляет обработку поступающих от клиентов запросов.

Совместно с Институтом космических исследований РАН (ИКИ РАН, г. Москва) и научно-исследовательским центром "Планета" (г. Москва) в сети Интернет на сервере ИКИ РАН (http://sputnik.infospace.ru/resurs/rus_win/resurs.htm) был создан каталог Росгидромета данных с природно-ресурсного КА "Ресурс-О" [64]. Программное обеспечение каталога позволяет создавать в центрах приема сжатые образы сеансов в виде набора фрагментов фиксированной длины, с заголовками, содержащими необходимую сопутствующую информацию, автоматически передавать их на сервер по FTP. В каталоге хранятся обзорные изображения двух различных степеней сжатия, переведенные в географическую проекцию с нанесенной географической сеткой. Для удобства поиска и просмотра сеансы разбиты на фрагменты.

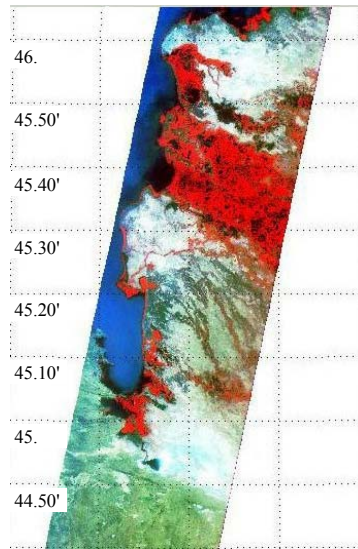
Реализованы следующие пользовательские интерфейсы:

- просмотр каталога по датам;
- поиск данных по датам, координатам интересующего района, типу съемочной аппаратуры, спектральным диапазонам с учетом качества и процента покрытия облачностью;

Сеанс/Фрагмент	Данные	Картинга	Настройки	Режим	Работа с базой данных	jadder v.0.5.5 12/02/2001
<	<	>	>	Записать	Отменить	Обновить
				Удалить	<input type="checkbox"/> Разрешить удаление сеансов	Виток <input type="text" value=""/>
Номер КД	<input type="text" value="99-198"/>	AxisAngle	<input type="text" value="2"/>	Всего сеансов:		2455
Имя файла	<input type="text" value="26135.brs"/>	MSU-E1 Angle	<input type="text" value="2.29"/>	Номер сеанса:		2442
Станция	<input type="text" value="Novosibirsk"/>	MSU-E2 Angle	<input type="text" value=""/>	Номер фрагмента:		3/19
Комплект	<input type="text" value="1"/>	Канал	<input type="text" value="3"/>	Описание		
Режим	<input type="text" value="703"/>	Gain	<input type="text" value="1.0"/>	<input type="text"/>		
Спутник	<input type="text" value="RESURS 1-3"/>	Intercept	<input type="text" value="0.0"/>			
Сканнер	<input type="text" value="MSU-E"/>					
Виток	<input type="text" value="26135"/>					
Дата	<input type="text" value="18.09.1999 03:14"/>	Фрагменты: <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>				

ФРАГМЕНТ	Угол солнца	Координаты (в градусах)					
Сдвиг по X	<input type="text" value="0"/>	Размер X	<input type="text" value="400"/>	ВЛУ дол.	<input type="text" value="84.6"/>	ВПУ дол.	<input type="text" value="85.45"/>
Сдвиг по Y	<input type="text" value="15000"/>	Размер Y	<input type="text" value="1000"/>	ВЛУ шир.	<input type="text" value="63.45"/>	ВПУ шир.	<input type="text" value="63.333"/>
Компрессия X	<input type="text" value="3"/>	Картинка	<input type="text" value="Resurs 1-3/26135e/26135_04.jpg"/>	НЛУ дол.	<input type="text" value="83.316"/>	НПУ дол.	<input type="text" value="84.133"/>
Компрессия Y	<input type="text" value="6"/>	Дата	<input type="text" value="18.09.1999 03:16:03"/>	НЛУ шир.	<input type="text" value="61.7"/>	НПУ шир.	<input type="text" value="61.6"/>

Рис. 3.6. Режим редактирования базы данных



Map Select:

Set Search Criterion:

From:

To:

Station:

Satellite:

Scanner:

Mode:

Manual Set Search Area

CD_NUM	FILENAME	FRAG_TIME	STATION	SATELLITE_NAME	REGIME	UL_LON	UL_LAT	SUN_ELEV	CHANNEL_NUM
00-046	30310a.brs	2000-06-28 02:35:30	Novosibirsk	RESURS 1-3	703	81.533	44.9	37.0	3
00-046	30310a.brs	2000-06-28 02:35:55	Novosibirsk	RESURS 1-3	703	80.966	43.4	36.7	3
00-043	30266.brs	2000-06-25 02:46:35	Novosibirsk	RESURS 1-3	703	74.766	47.85	34.3	3
00-043	30266.brs	2000-06-25 02:47:00	Novosibirsk	RESURS 1-3	703	74.3	46.35	34.1	3
00-043	30266.brs	2000-06-25 02:47:25	Novosibirsk	RESURS 1-3	703	73.85	44.833	33.9	3

Рис. 3.7. Режим просмотра изображения текущего фрагмента

- заказ исходных данных, соответствующих выбранным фрагментам изображений;
- регистрация пользователей каталога (клиентская часть).
- Реализованы служебные интерфейсы:
- статистика архива (рис. 3.8), включающая в себя количество сеансов и фрагментов, размер архива, статистику по качеству и облачности;
- визуальная оценка качества изображений и покрытия их облачностью, просмотр траекторий сеансов (рис. 3.9);
- работа с базой данных зарегистрированных пользователей каталога;
- автоматическое предоставление данных информационной системе оператора КА "Ресурс-О".

3.2. Геоинформационное и картографическое обеспечение ИКК

В настоящее время спутниковые данные наряду с традиционной картографической информацией составляют информационную основу ГИС-технологий [96, 97]. Благодаря их оперативности, расширению возможностей съемочного оборудования наблюдается постоянное увеличение удельного веса спутниковых данных по сравнению с оцифровкой имеющихся бумажных карт. Это обуславливает тенденцию к интеграции ГИС и средств работы со спутниковыми данными, которая прослеживается в развитии программного обеспечения [20, 84, 172, 178, 179]. Так, известный программный пакет для обработки спутниковых данных ERDAS IMAGINE приобрел развитые черты ГИС, а классические ГИС, первоначально предназначенные для работы с векторными данными, такие, как ARC/INFO, ArcView GIS, активно развивают средства для работы с растровыми данными.

В этих условиях были проведены исследования возможных путей интеграции спутниковых данных, принимаемых и обрабатываемых в ЦКМС, в наиболее распространенные геоинформационные системы [43, 44]. Одним из подходов явилась разработка конверторов для преобразования BRS-формата, используемого в ЦКМС в качестве рабочего, в форматы растровых данных, принятых в распространенных ГИС. Другой подход связан с ограниченным в ГИС числом картографических проекций, несовпадением их наборов в разных ГИС и реализует методы экспорта спутниковых изображений, преобразованных в нужные проекции, в ГИС, не поддерживающие такие проекции.

В ходе выполнения проектов по тематической обработке спутниковых изображений были разработаны ГИС-технологии, внедренные в производственный процесс ЦКМС:

- построения на базе ГИС "ER Mapper" трехмерных моделей местности с использованием спутниковых данных, цифровых карт и цифровой модели рельефа в целях моделирования динамики распространения природных процессов [152] (рис. 3.10). Интересные результаты получены при трехмерном математико-картографическом моделировании структуры и взаимосвязи природных процессов [170, 171, 177, 189, 191, 206]. На рис. 3.11 представлена трехмерная модель индекса вегетации растений (NDVI) в лесостепной зоне. На модели высота зависит от величины индекса. Полученная модель во многом похожа на трехмерное изображение местности;

Архив данных спутника РЕСУРС МСУ-Э

English

	Янв	Фев	Мар	Апр	Май	Июн	Июл	Авг	Сен	Окт	Ноя	Дек
2000	–	–	–	<u>5</u>	<u>25</u>	17	–	–	–	–	–	–
1999	<u>14</u>	<u>9</u>	<u>7</u>	<u>13</u>	<u>13</u>	<u>19</u>	<u>17</u>	<u>28</u>	<u>28</u>	<u>17</u>	<u>1</u>	–
1998	<u>2</u>	<u>8</u>	<u>12</u>	<u>16</u>	<u>14</u>	<u>20</u>	<u>17</u>	<u>11</u>	<u>13</u>	<u>19</u>	<u>13</u>	<u>24</u>
1997	–	–	–	<u>1</u>	<u>7</u>	<u>5</u>	<u>11</u>	<u>4</u>	<u>6</u>	<u>1</u>	<u>6</u>	<u>2</u>
1996	<u>3</u>	<u>9</u>	<u>3</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>6</u>	–	–	–	–	–	–
1995	–	<u>9</u>	<u>4</u>	<u>8</u>	<u>7</u>	<u>5</u>	<u>6</u>	<u>3</u>	<u>3</u>	<u>1</u>	<u>3</u>	<u>2</u>
1993	<u>5</u>	<u>7</u>	<u>4</u>	<u>9</u>	–	5	–	–	–	–		–
1992	<u>4</u>	–	<u>18</u>	<u>8</u>	<u>2</u>	<u>8</u>	<u>9</u>	<u>4</u>	<u>2</u>	<u>2</u>	–	<u>1</u>
1991	–	–	–	–	<u>5</u>	<u>4</u>	<u>1</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>5</u>	<u>5</u>

сеансы за число – 18/06/2000

Дата пролета, время	Станция приема	Спутник, виток	Угол оси сканера	Режим (комплект)	Траектория сеанса	Просмотр фрагментов
18/06/2000 - 05:34	Новосибирск	RESURS 1-3 - 30163	4.00	<u>703(1)</u>	[o]	[o]
18/06/2000 - 05:35	Новосибирск	RESURS 1-3 - 30163	2.00	<u>703(1)</u>	[o]	[o]
18/06/2000 - 08:49	Обнинск	RESURS 1-3 - 30165	6.00	<u>703(–)</u>	[o]	[o]

Рис. 3.8. Статистика архива данных КА "Ресурс-О", сканера МСУ-Э

Просмотр траектории сеанса 18/06/2000 - 05:35

дата/время: 18/06/2000,
05:35 MCK

станция приема: Новосибирск

спутник: RESURS 1-3

виток: 30163

угол оси сканера: 2.00

Режим (комплект): 703(1)

обзор. полный

Фрагменты с 1 по 5 из 5

Список фрагментов					
№	Центр. точка	Кач/ Обл	Регион	Обзор. снимок	Метка
6	59°6' С - 84°43' В	5/ 75	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	57°37' С - 83°52' В	5/ 75	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

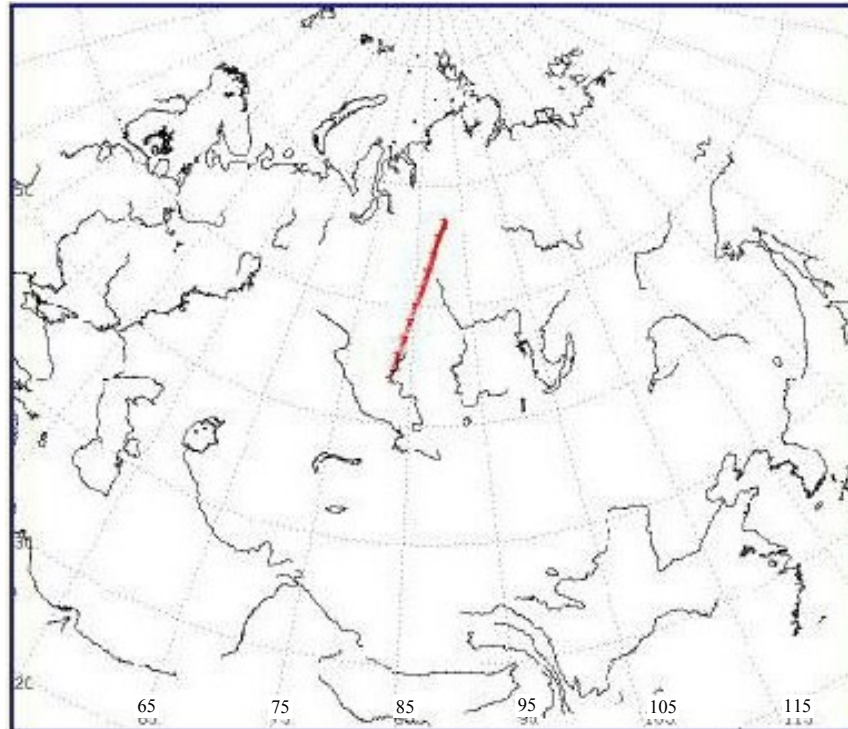


Рис. 3.9. Просмотр траектории сеанса

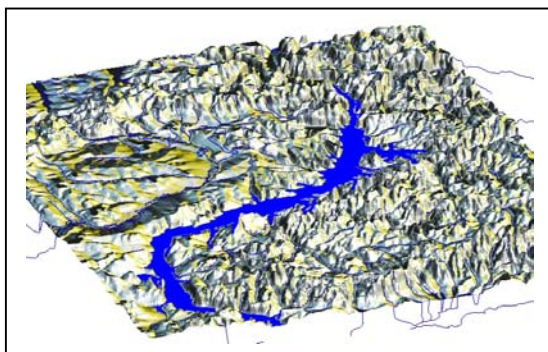


Рис. 3.10. Трехмерная модель местности района Красноярского водохранилища



Рис. 3.11. Трехмерная модель индекса вегетации

- относительной географической привязки спутниковых данных на базе ГИС ERDAS IMAGINE с использованием карт крупного масштаба в растровом виде, позволяющей осуществить привязку с точностью 1 – 1,5 пиксела;
- определения заснеженности речных бассейнов с учетом рельефа местности по спутниковым данным для оперативного прогноза стока в период весеннего таяния [29, 79];
- раннего обнаружения лесных пожаров с привязкой к векторным картам лесных угодий [1, 55, 167, 185, 188, 190];
- мониторинга паводковой обстановки на реках Сибири [60].

При создании информационно-космической технологии для решения задач комплексного мониторинга окружающей природной среды приходится учитывать необходимость формирования в составе геоинформационного обеспечения развитого комплекса прикладных программ, используемых для комплексного анализа, моделирования и прогнозирования состояния природной среды региона. В [101, 102, 125] такие геоинформационные комплексы предлагается называть геоинформационно-моделирующими системами (ГИМС).

Обобщенная структура геоинформационно-моделирующей системы представлена на рис. 3.12. В работе ГИМС используются средства общего программного обеспечения геоинформационной системы ArcView 3.x и ERDAS Imagine. Информационным ядром ГИМС являются база данных и подсистема цифровых карт. База данных содержит информацию о параметрах источников загрязнения атмосферного воздуха, о параметрах загрязняющих веществ, данные о розе ветров и другую информацию о состоянии окружающей среды. Подсистема цифровых карт (картографическое обеспечение) включает топографическую основу и тематические слои. Например, в [62, 102, 130, 133] в качестве топографической основы используется цифровая карта России масштаба 1 : 1000000 (производства Роскартографии), имеющая следующие базовые покрытия: гидрология, растительность, дороги, населенные пункты, грунты, рельеф, границы.

Специальное программное обеспечение (ПО) используется для анализа данных и оценки влияния загрязнения атмосферы на ландшафтные выделы изучаемой территории и использует результаты моделирования рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере. Поэтому комплекс программ моделирования является важным компонентом ГИМС для решения задач экологического мониторинга. Вопросы программной реализации геоинформационно-моделирующей системы для оценки воздействия техногенного загрязнения атмосферы на природную среду рассматривались в [126, 130, 137, 144, 153, 196, 200].

На рис. 3.13 приведена [200, 202] схема оценивания влияния атмосферного загрязнения на природную среду с использованием геоинформационно-моделирующих систем.

Из рис. 3.13 видно, что основную роль в обеспечении взаимодействия различных компонентов программного комплекса играет модуль интерфейсов, предназначенных для обмена информацией между такими разнородными компонентами системы, как ПО ГИС, база данных, средства моделирования рассеивания и модуль определения зон загрязнения. Работу всего комплекса координирует пользователь через "интерфейс с пользователем", который позволяет взаимодействовать с интерфейсами остальных модулей, а также с модулем определения зон загрязнения, предназначенных для определения границ этих зон. Это необходимо для отображения зон загрязнения атмосферы на ландшафтной карте, как показано на рис. 1.4. При отображении зон загрязнения в [126, 130, 202] предлагается использовать тематический аппарат сплайнов.

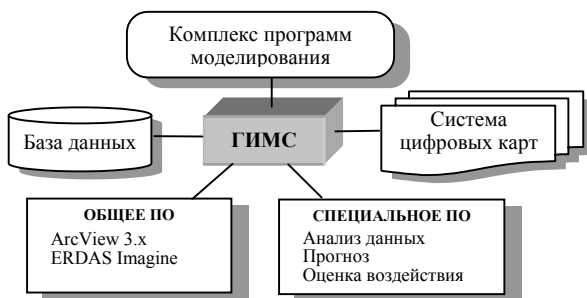


Рис. 3.12. Обобщенная структура геоинформационно-моделирующей системы

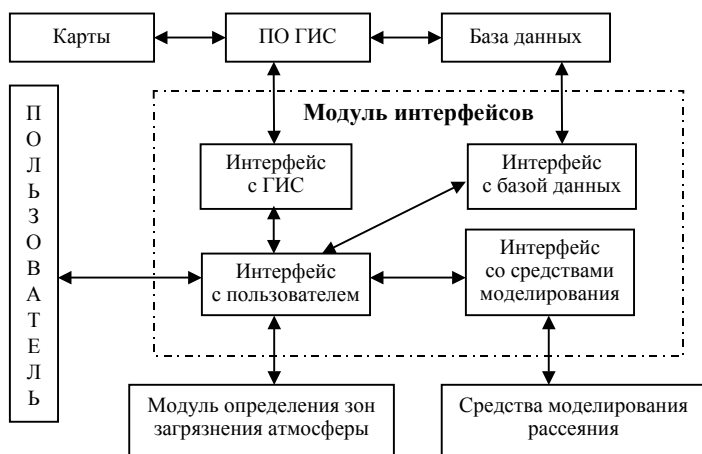


Рис. 3.13. Схема программной реализации геоинформационно-моделирующей системы

"Интерфейс с ГИС" предназначен для выполнения двух задач: подготовка начальных данных для моделирования и отображение результатов моделирования на цифровой карте. В базе данных хранятся параметры источников загрязнения атмосферного воздуха, параметры загрязняющих веществ и данные о розе ветров.

Программа моделирования рассеяния позволяет получить значение концентрации загрязняющих веществ в произвольных точках территории в зависимости от параметров источника загрязнения. Для определения зон загрязнения атмосферного воздуха необходимо определить концентрации загрязнителей для множества исследуемой территории. Для этого территория разбивается регулярной прямоугольной пространственной сеткой на ячейки с размерами, зависящими от выбранного масштаба представления карты. Моделирование рассеяния загрязняющих веществ в атмосферном воздухе проводится для каждого вещества и каждого источника выбросов во всех узлах сетки.

Для расчета относительных площадей ландшафтных выделов, попадающих в зону загрязнения, в соответствии с изложенной в разделе 1.4 методологией была разработана специальная программа [153] на языке программирования Avenue [168], в основном объединяющая в себе набор стандартных функций и запускаемая при нажатии кнопки, добавленной в интерфейс ArcView. После построения зон загрязнения пользователь должен сделать активным тематический слой, содержащий интересующую его зону загрязнения, и затем запустить программу расчета относительных площадей. Слои, содержащие выделы, для которых пользователь хочет произвести расчеты, заносятся в список программы. Программа вычисляет площадь участков территории каждого ландшафтного выдела, попадающего в зону загрязнения, а затем рассчитывает величину относительной площади в процентах от полной площади ландшафтного выдела или от площади космического снимка. Результаты расчетов последовательно отображаются на экране дисплея.

Особую важность при разработке геоинформационно-моделирующих систем для комплексного мониторинга воздействий на природную среду приобретают вопросы картографического обеспечения задач экологического моделирования и прогнозирования. Так как зона деятельности предприятий нефтедобычи в таежной зоне Западной Сибири включает в себя земли, относящиеся преимущественно к лесному фонду, то при составлении тематических ландшафтных карт территории необходимо основываться на материалах по лесоустройству либо на результатах обработки спутниковой информации.

Одной из основных проблем, которые сдерживают разработку картографического обеспечения информационно-космических технологий, является сложность определения минимальной пространственной информационной ячейки и наполнение ее информацией. Так, для оценки воздействия нефтедобычи на лесоболотные комплексы в качестве элементарной пространственной ячейки можно использовать выделы, близкие по размерам к урочищу [129]. Эти выделы для равнинной местности картируются в масштабе 1 : 25000 – 1 : 100000 в зависимости от степени однородности строения территории. Для создания картографической основы и соответствующей базы данных для задач мониторинга нефтегазоносных районов Западной Сибири необходимо совместное использование дистанционных методов (аэро- и космосъемка), имеющихся фондовых материалов и результатов натурных полевых исследований.

3.3. Математические и программные средства моделирования зон техногенного загрязнения атмосферы в нефтедобывающих регионах Сибири

Для моделирования процессов распространения химических загрязнителей в атмосфере и их воздействия на окружающую среду в [144, 192 – 194] предлагается подход, основанный на использовании геоимитационной модели, воспроизводящей процесс функционирования объекта моделирования во времени и учитывающей его пространственные свойства. Под **геоимитационной моделью** [144] по аналогии с имитационным моделированием [124, 131] понимается математическая модель, воспроизводящая процесс функционирования объекта моделирования (пространственного объекта) во времени путём имитации пространственных явлений и процессов с сохранением их логической структуры и временной последовательности. Такой подход позволяет на основе сведений о начальном состоянии объекта по исходным данным об элементарных пространственных процессах оценить характеристики реального пространственного объекта в определённые моменты времени. Поведение объекта геоимитационного моделирования задается набором алгоритмов, описывающих элементарные пространственные процессы. Предсказание свойств и поведения пространственного объекта при геоимитационном подходе к моделированию производится путём имитационного эксперимента с моделью, позволяющего исследовать изменения в состоянии реального пространственного объекта, функционирующего по определённым сценариям.

Основными физико-химическими процессами, влияющими на качество атмосферного воздуха, являются процессы распространения и трансформации загрязняющих веществ в окружающей среде [146, 203]. Последние в настоящее время

изучены крайне недостаточно. Поэтому далее более подробно рассмотрим вопросы оценивания рассеяния загрязняющих веществ в атмосфере.

Распространение загрязняющих веществ в газовых средах определяется двумя процессами: конвективным переносом частиц и процессами диффузной турбулентности атмосферы. К простейшим методам моделирования распространения веществ в задачах гидродинамики окружающей среды относятся интегральные методы [33], которые при большом количестве допущений и упрощений сводятся к системе обыкновенных дифференциальных уравнений [53]. Ниже дадим краткую характеристику некоторых наиболее распространенных моделей рассеяния загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, рассмотренных в [53, 58].

Гауссова модель распространения примеси в атмосфере. Принимаются следующие допущения, упрощающие процедуру моделирования процесса:

- перенос массы в горизонтальном направлении, вызываемый ветром, значительно превышает вклад массовой диффузии в этом направлении;
- процесс выделения примеси в атмосферу считается квазистационарным;
- скорость ветра неизменна;
- коэффициенты турбулентной диффузии есть константы.

Формулы для расчета поля концентраций в этом случае являются решением полуэмпирического уравнения переноса примеси с постоянными коэффициентами, что сильно не согласуется с моделью реального процесса. Методы расчета концентрации примеси справедливы для расстояний от 100 м до 50 км от источника для скорости ветра не менее 1 м/с.

Модифицированная модель Паскуилла-Гиффорда. Для устранения недостатков Гауссовой модели введены коэффициенты, учитывающие классы устойчивости атмосферы. Это позволило "уточнить" Гауссову модель для конкретных метеорологических условий. Эту модель целесообразно использовать для моделирования распространения примеси в случае аварий, т. е. для расчетов мгновенных выбросов и при оперативном прогнозе.

Для оперативного прогноза рассеяния загрязнителей в атмосфере также может применяться *методика Института экспериментальной метеорологии*. Недостатком этой модели является большой объем необходимой метеорологической информации [53].

Инженерный метод Главной геофизической обсерватории. Расчет концентрации по этому методу проводится для наиболее неблагоприятных метеорологических условий, в частности для скорости ветра, при которой в атмосферном воздухе может быть достигнута наиболее высокая концентрация загрязняющего вещества при постоянстве остальных характеристик выброса (масса выбрасываемого вещества, параметры источника выбросов и др.). Все источники загрязнения атмосферного воздуха подразделяются на точечные (труба предприятия, скважина), плоскостные (свалка, шламовый амбар) и линейные (автомагистраль, нефтепровод). Последняя методика в настоящее время стандартизирована и принята к применению в отечественных природоохранных службах. Несмотря на ее не очень высокую точность при оперативном прогнозе, она позволяет достаточно адекватно учитывать инерционные процессы среднегодового загрязнения территорий, что делает эту модель наиболее пригодной для оценки воздействия на растительные экосистемы. Поэтому далее рассмотрим именно эту методику, известную в отечественной природоохранной практике как методика ОНД-86, более подробно.

Эта методика позволяет рассчитывать концентрацию загрязняющих веществ в воздухе на различных расстояниях от любых источников выбросов, которую удоб-

но сопоставлять с величиной предельно допустимой концентрации [23, 107, 122]. При этом определяются следующие величины:

- уровень максимальной концентрации загрязняющего вещества (C_m), который может быть достигнут при наиболее неблагоприятных метеорологических условиях;
- опасная скорость ветра (U_m);
- расстояние от источника выбросов (X_m), на котором может быть достигнута максимальная концентрация при неблагоприятных метеорологических условиях;
- величина концентрации загрязняющего вещества в любой точке территории.

Расчет уровня максимальной концентрации вещества в воздухе выполняется по формуле:

$$C_m = \frac{A_c \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \Gamma}{H^2 \cdot (Vl \cdot dT)^{1/3}},$$

где A_c – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы;

M – масса вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени (г/с);

F – коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе;

m и n – коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из источника;

H – высота источника над уровнем земли (м);

Γ – коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности [53];

dT – разность между температурой выбрасываемой источником газовой смеси и температурой окружающего воздуха.

Основными метеорологическими параметрами, влияющими на концентрацию вредных веществ в атмосферном воздухе, являются скорость и направление ветра. Определение опасной скорости ветра U_{max} (м/с), при которой достигается на расстоянии X_m (м) от источника выбросов максимально возможное значение концентрации вредного вещества (C_m), определяется по формулам, приведенным в [53, 58].

Данная методика оказалась наиболее приемлемой в отечественной практике природоохранной деятельности для автоматизации моделирования процессов рассеяния загрязняющих веществ в атмосфере. На ее основе разработаны известные и широко применяемые пакеты прикладных программ ЭФИР-5, ЭФИР-6, АСИВ-РК, РУЗА, ГАРАНТ, АРМ-АЭН и др. Однако, в силу значительных упрощений исходной модели, этот метод не является универсальным. Наиболее целесообразно применять этот метод расчетов для высоких источников (H более 10 м) и для расстояний, не превышающих 100 км. Для низких и наземных источников, а также для холодных выбросов (температура газовой смеси соизмерима с температурой окружающей среды) в алгоритм расчетов по ОНД-86 необходимо вводить дополнения [53].

Для проверки достоверности геоимитационной модели, положенной в основу программных средств определения зон загрязнения атмосферы в нефтедобывающих районах, в [197, 198, 202] проведено сопоставление с реальными данными об

аэрозольном загрязнении территории Западной Сибири [19]. На рис. 3.14 приведены результаты моделирования зон загрязнения атмосферного воздуха углеводородами, выбрасываемыми при сжигании попутного газа на Самотлорском месторождении, с использованием следующих параметров: объем добываемой нефти – 100 млн т в год, что примерно соответствует уровню добычи 1985 г. [121], объемы сжигаемого газа – 4,8 млн м³. Расчеты производились для разных уровней загрязнения, определяемых в долях от величины предельно допустимой концентрации (ПДК).

Наложение полученных путем моделирования зон атмосферного загрязнения на карту распределения концентрации аэрозоля (рис. 1.2) показывает достаточно приемлемое совпадение результатов моделирования зон загрязнения с аэрозольной аномалией, что и иллюстрирует рис. 3.14. По мнению авторов [136], это может служить объяснением того факта, что аномальная зона аэрозольного загрязнения в районе Нижневартовска образовалась в результате деятельности нефтедобывающего комплекса в этом регионе Западной Сибири.

Результаты оценки экологических воздействий загрязнения атмосферы в районах нефтедобычи, полученные с применением рассмотренной в настоящем разделе методики ОНД-86 для моделирования зон загрязнения атмосферы и основанные на использовании космоснимков и информационно-космических технологий, излагаются в заключительном разделе обзора. Особенности использования космоснимков высокого и среднего пространственного разрешения для оценки воздействий на природную среду посвящен следующий раздел.

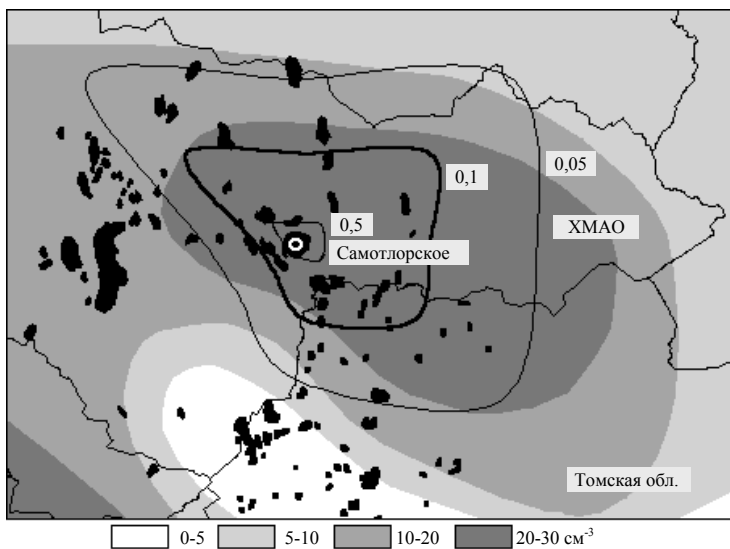


Рис. 3.14. Карта распределения счетной концентрации аэрозоля с наложенными зонами загрязнения от факелов Самотлорского месторождения

3.4. Особенности определения зон техногенного воздействия с использованием космоснимков среднего и высокого пространственного разрешения

Тажный биом Западно-Сибирской равнины, основные зоны которого (южная, средняя и северная тайга) оказываются в условиях воздействия нефтедобычи, характеризуется высокой степенью заболоченности (от 30 – 40% на юге до 60 – 70% на севере [67]) и поэтому относится к числу наиболее труднодоступных для исследования территорий. В связи с этим для исследований структуры и состояния лесоболотных комплексов на ее территории наиболее перспективным представляется использование информационно-космических технологий, основанных на космоснимках. Методология обработки космоснимков различного пространственного разрешения для лесных территорий в настоящее время достаточно разработана [102, 182]. Методические вопросы их дешифрирования с учетом особенностей лесоболотных территорий рассмотрены в [8, 106]. Наиболее полные исследования структуры лесоболотных комплексов, результаты которых изложены в [8], проведены на территории Васюганской равнины.

Известно [37], что Васюганская болотная система относится к одной из крупнейших в мире и является типичной для лесоболотных комплексов Западно-Сибирской низменности. Ее площадь составляет более 5 млн га. Особенностью ее является приуроченность к наивысшим отметкам местности, выделяемым как Васюганское куполообразное поднятие. В условиях, когда болотный массив сложен плотными слабопроницаемыми породами, такое расположение определяет его активное воздействие на окружающие лесные ландшафты, расположенные на склонах водораздела.

Наземные исследования территории Васюганской равнины проводились на нескольких ключевых участках (КУ), расположенных в ее западной части [106], на юго-востоке [8] и на северо-востоке [37]. Далее для иллюстрации дадим более подробную характеристику одного из ключевых участков. Так, выбранный в [8] для исследований КУ (рис. 3.15) расположен в юго-восточной части Васюганской равнины на территории Колыванского района Новосибирской области в междуречье рек Шегарка и Икса. Выбор этого ключевого участка, условно обозначенного "Понюмаревка", обусловлен его относительной доступностью и расположением в непосредственной близости у восточных границ Большого Васюганского болота. На его территории имеется сеть полевых и лесных дорог (рис. 3.15), что создает возможность организации наземных исследований. Ключевой участок, площадь которого составляет 543,9 км², включает все основные для лесоболотной территории типы растительных группировок, что позволяет провести комплексное описание элементов растительности, почв и рельефа (включая элементы растительного покрова южной тайги и подтайги).

Полевые исследования сочетают маршрутные и полустационарные методы. Маршруты (пешие и на вездеходах) на территории ключевого участка закладываются в направлении от речной сети к водоразделам. На болотах маршруты прокладываются от края болотного массива к его генетическому центру (от окраинных топей через мезотрофную часть к центральной части яряма). На протяжении маршрута проводилось комплексное описание почв, растительности и рельефа с отражением закономерностей внутренней структуры описываемого выдела и границ перехода. Полустационарными методами изучались продуктивность растительных

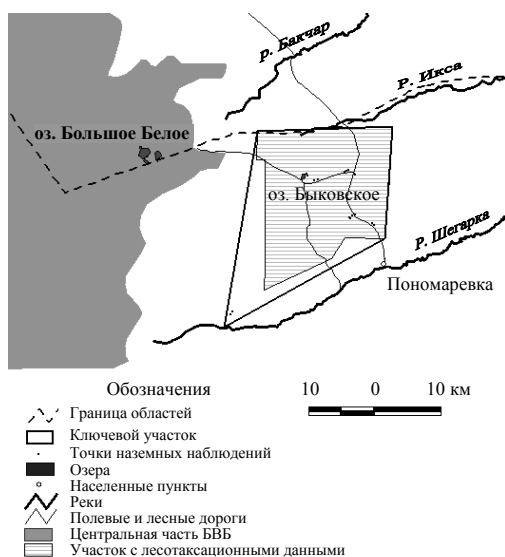


Рис. 3.15. Схема расположения ключевого участка "Пономаревка"

сообществ и гидрологические свойства, отбирались для дальнейших исследований образцы торфяных колонок и почв. В обоих случаях проводится координатная привязка точек исследования. На ключевом участке "Пономаревка" было обследовано 18 объектов, приуроченных к различным частям болотной системы (рис. 3.15).

При анализе ландшафтной структуры лесоболотных комплексов необходимо учитывать, что на территории Западно-Сибирской равнины зональные черты сильно завуалированы высокой заболоченностью, что приводит к необходимости учета таких факторов, как рельеф и дренированность территории, глубина залегания почвенно-грунтовых вод. Структура лесоболотных комплексов характеризуется высокой степенью неоднородности и мозаичности. Размеры фитоценоотического и почвенного контуров и, следовательно, элементарного ландшафтного выдела, составляют десятки метров. Кроме того, для заболоченных лесов характерна невысокая контрастность ландшафтов с закономерной повторяемостью элементарных выделов. Растительность на территории ключевого участка характеризуется крайне высокой трансформированностью и представлена преимущественно производными лесами. Коренные леса сохранились небольшими участками в заболоченных местообитаниях. Такая пространственная структура растительного покрова значительно осложняет дешифрирование космоснимков.

На основе обобщения литературных данных, анализа лесоустроительных материалов и собственных полевых исследований на КУ "Пономаревка" была составлена типологическая схема (табл. 3.6) ландшафтных выделов (природных комплексов местности, урочищ), пригодная для дешифрирования космоснимков высокого пространственного разрешения. Следует отметить, что при типизации ландшафтных

Таблица 3.6

Типы ландшафтных выделов лесоболотных территорий

№ п/п	Типы ландшафтных выделов, выделяемые при дешифрировании космических снимков
<i>А. Гидроморфные (болотные) типы местности</i>	
1.	Болото олиготрофное сосново-кустарничково-сфагновое (рямы низкорослые, 5б бонитет)
2.	Болото мезотрофное осоково-сфагновое открытое (мезотрофная топь)
3.	Болото низинное ерничково-разнотравно-осоково-гипновое
4.	Болото мезотрофное сосново-ивово-березово-осоково-сфагновое
5.	Березово-ивняковая обводненная краевая часть болота
<i>В. Полугидроморфные, заболоченные типы местности</i>	
6.	Березовый травяно-болотный лес слабодренированных кратковременно проточных местоположений с торфяно-перегнойно-глеевыми почвами (заболоченный лес, 4 бонитет). Среднеспелые (3 класс возраста) березовые, сосново-березовые, осиново-березовые леса
7.	Березовый травяно-болотный лес слабодренированных кратковременно проточных местоположений с торфяно-перегнойно-глеевыми почвами (заболоченный лес, 4 бонитет). Молодые (1 – 2 класс возраста) березовые, осиново-березовые, сосново-березовые леса
8.	Елово-кедрово-сосновый лес с березой, травяно-болотный слабодренированных местоположений с торфяно- и торфянисто-глеевыми почвами (заболоченный лес, 4 – 5 бонитет)
<i>С. Дренированные и слабоувлажненные местообитания. Типы местности, слабо трансформированные процессами заболачивания</i>	
9.	Сосново-кедрово-еловый травяной, реже мшистый лес дренированных местоположений с дерново-глеевыми почвами (4 бонитет)
10.	Осиновый травяной лес дренированных местоположений с дерново-глеевыми почвами (автоморфный лес с преобладанием осины, 2-3 бонитет)
11.	Березовый разнотравный лес дренированных местоположений с луговыми и лугово-черноземными почвами (автоморфный лес с преобладанием березы, 2 -3 бонитет)
<i>Д. Антропогенно преобразованные территории</i>	
12.	Луга разнотравно-бобово-злаковые

выделов по свойствам растительного покрова (табл. 3.6), наиболее полно учитываются состав, возраст, тип и бонитет леса. Состав насаждений отражает соотношения основных лесообразователей, бонитет и тип являются объективными показателями условий произрастания леса. Важным технологическим элементом процесса дешифрирования космоснимков является использование базы данных (БД), в которой содержатся информация о результатах наземных наблюдений на территории КУ и лесотаксационные описания выделов на исследуемой территории. Сформи-

рованная в [8] база данных содержит стандартные лесотаксационные описания по 52 кварталам. Для обработки космоинформации выбран фрагмент трёхзонального космического снимка (КС) с пространственным разрешением около 40 м, полученного со спутника Ресурс-О (сканер МСУ-Э). Разработанная в [8] обобщенная схема основных этапов обработки КС приведена на рис. 3.16. Классификация выделов на КС проводится с помощью программной системы MultiSpec 2.5, в которой реализованы два различных методических подхода к проведению классификации: с обучением (с "учителем") и автоматический (без "учителя").

Векторизация снимка проводится средствами ArcView 3.x, после чего определяются относительные площади каждого из типов ландшафтных выделов, приведенных в табл. 3.6. Соотношение площадей различных выделов характеризует ландшафтную структуру территории.

Рассмотрим кратко результаты исследований ландшафтной структуры территории восточной части Васюганской болотной системы. На рис. 3.17 приведена схема

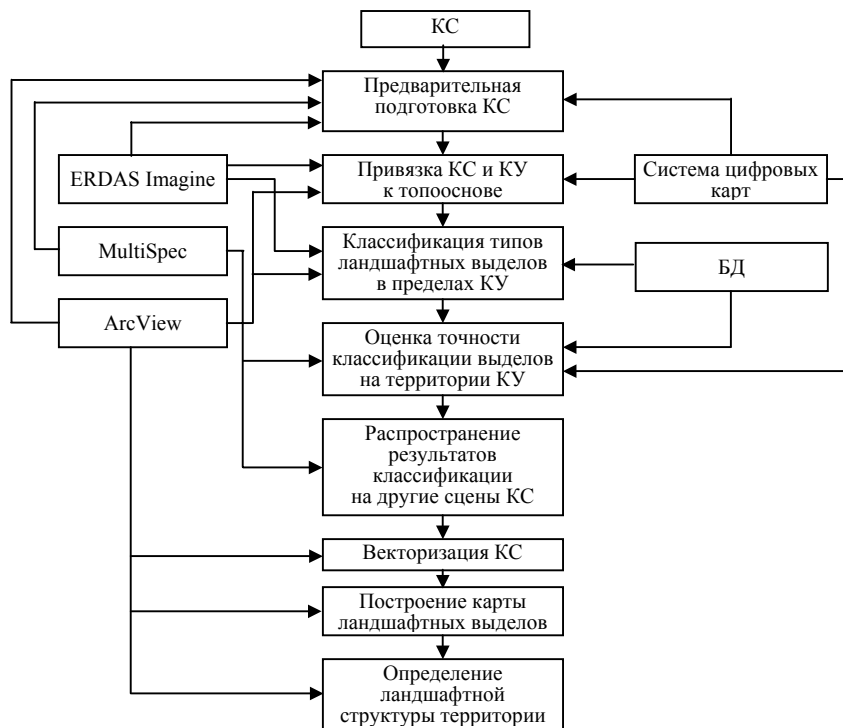
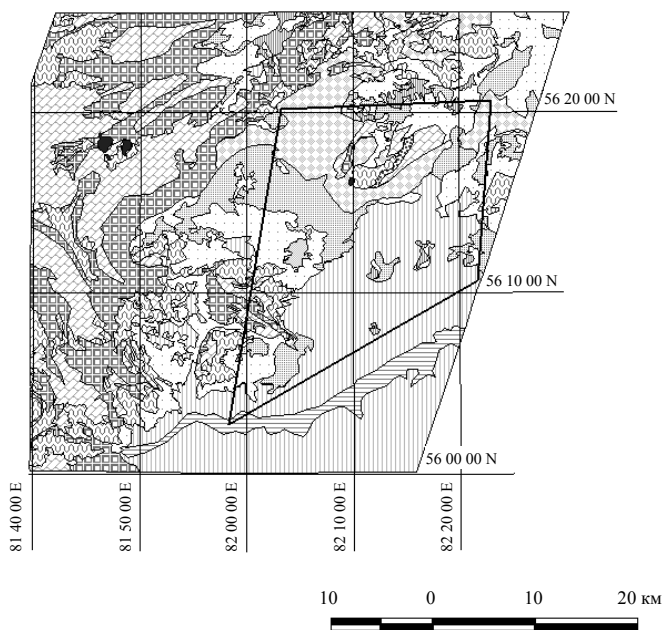


Рис. 3.16. Схема основных этапов обработки космоснимка лесоболотной территории



Обозначения (нумерация в соответствии с табл. 3.6)

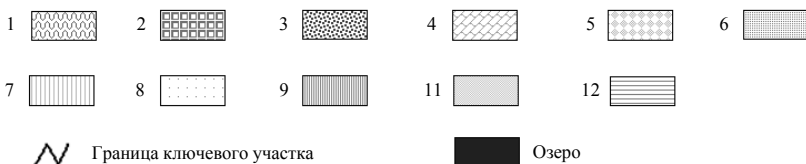


Рис. 3.17. Карта ландшафтных выделов в результате обработки КС

ма расположения ландшафтных выделов, определенная в результате обработки КС по описанной выше схеме (рис. 3.16). Как следует из рис. 3.17, 11 из 12 приведенных в табл. 3.6 типов ландшафтных выделов, характерных для лесоболотных комплексов подтайги и южной тайги Западной Сибири, выявляются на обработанном КС. Однако один тип выделов – осинный лес на дренированных местоположениях (обозначен номером 10 в табл. 3.6) – в пределах изучаемого участка территории не был выявлен, что может быть объяснено высокой степенью мелкоконтурности и мозаичности лесных ландшафтов в зоне влияния крупных болотных систем, соче-

танием преимущественно осиново-березовых и березово-осиновых лесов, в которых различия в структуре древостоя составляют 2 – 4 единицы. Следовательно, отнесение леса к березовому или осinovому типу большей частью весьма условно. Кроме того, береза и осина имеют схожие в летние периоды отражательные спектры, что затрудняет их разделение при дешифрировании.

На территории КУ выявлены [8] 11 типов ландшафтных выделов из 12 приведенных в табл. 3.6, которые характерны для Васюганского болота. Предлагаемая в [9, 10] процедура обработки позволяет на основе ДДЗ и подспутниковых наблюдений на территории КУ, сравнительно доступного для проведения исследований, переносить результаты классификации ландшафтных выделов на остальные фрагменты космического снимка, отображающие менее доступные для наземных исследований территории лесоболотного комплекса. Такой подход позволяет определять ландшафтную структуру и состояние лесоболотного комплекса на значительных по площади территориях, характерных для условий размещения западно-сибирского нефтедобывающего комплекса.

С использованием средств ГИС были рассчитаны по векторизованным космоснимкам относительные площади каждого типа выделов. Величины относительных площадей лесоболотных выделов различного геосистемного уровня организации приведены в табл. 3.7 и 3.8. В табл. 3.7 представлены данные относительно лесоболотных выделов, рассматриваемых на уровне урочища, которые объединяются, как показано в табл. 3.6, по ландшафтным признакам – влажности местообитания и структуре растительного покрова – в более крупные лесоболотные комплексы (местности), относительные площади которых представлены в табл. 3.8.

Заметим, что из ландшафтных типов, включенных в табл. 3.6, на исследованной территории Васюганской равнины присутствуют 11 типов (10-й тип отсутствует), что отражает легенда карты на рис. 3.17 и табл. 3.7, в которой нулевое значение площади относится к 10-му типу. Анализ данных табл. 3.7 показывает, что в структуре юго-восточной части территории Большого Васюганского болота преобладают 5 основных типов лесоболотных выделов: типы 1, 2, 4, 7 и 8, суммарная площадь которых составляет около 80% от общей площади. Анализ территории по сте-

Таблица 3.7

Относительные площади ландшафтных выделов на участке КС

Тип выдела	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Площадь, %	10,7	15,7	0,2	15,3	7,5	8,3	22,7	15,6	1,1	0	0,2	2,7

Таблица 3.8

Относительные площади ландшафтных выделов по степени увлаженности

Тип местности	Гидроморфный	Полугидроморфный	Дренажный	Другие
Площадь, %	49,4	46,6	1,3	2,7

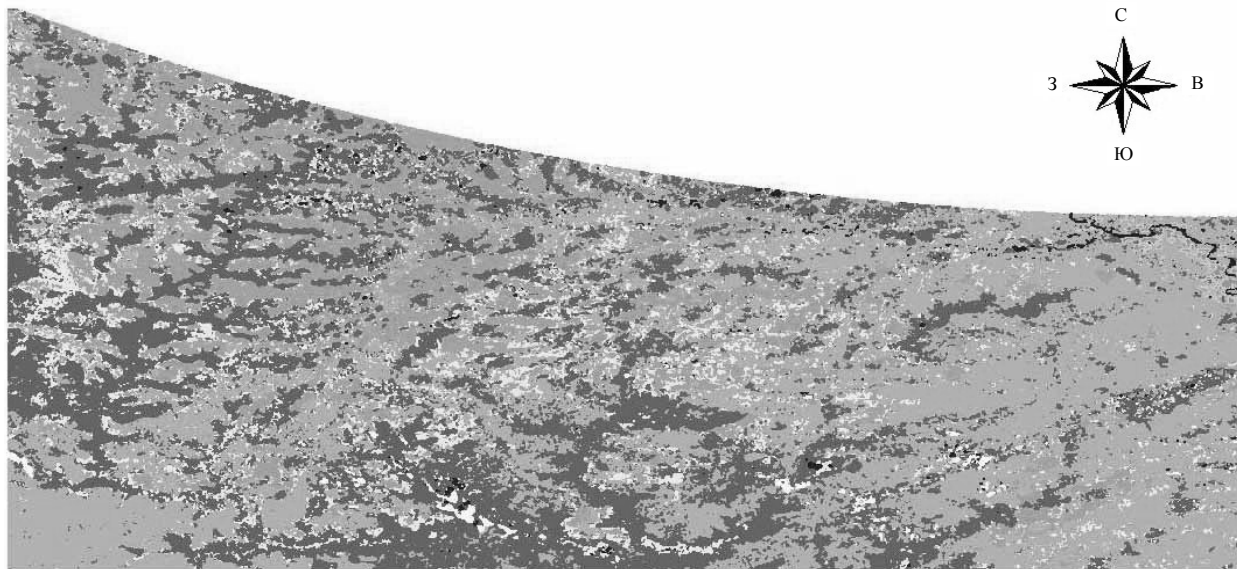
пени гидроморфизма и выраженности болотообразовательного процесса показал, что преобладающими являются болотные и полуболотные (сильно заболоченные) ландшафты (табл. 3.8).

Таким образом, проведенный анализ территории юго-восточной части Васюганского болотного массива показал высокую гидрогенную трансформированность ландшафтной структуры, в которой явно преобладают болотные и заболоченные ландшафты. Остальная часть территории также находится под влиянием болотного массива и характеризуется избыточным увлажнением. Контуры собственно автоморфных ландшафтов столь малы, что на космическом снимке с высоким разрешением не выделяются.

Применение космической информации позволяет существенно ускорить и удешевить получение информации о ландшафтной структуре природно-территориальных комплексов по сравнению с использованием дорогостоящих ландшафтных карт, что показано в [100, 137, 183, 200], где рассмотрены вопросы применения космоснимков (КС) высокого пространственного разрешения в целях оценки воздействия нефтедобычи на природную среду.

Однако при исследовании ландшафтной структуры больших территорий использовать космоснимки среднего разрешения более предпочтительно, так как с помощью одного такого космического снимка можно исследовать территорию площадью до 300 – 350 тыс. км², что является перспективным для условий Сибири [136, 176] с ее обширными лесными и лесоболотными территориями. В [176] рассмотрены вопросы анализа ландшафтной структуры территории и определения площадей лесоболотных выделов с использованием многозонального снимка со спутника "Ресурс-01" (сканер МСУ-СК) среднего разрешения (около 150 м) с полосой обзора 600 км. Сканер МСУ-СК имеет четыре спектральных канала (первые три канала – в видимой части спектра, 4-й канал – в ближней инфракрасной области).

В [176] для определения состава и характера преобладающей растительности, наличия открытых водных поверхностей был взят летний снимок. Хвойные и лиственные леса отчетливо различаются по значениям спектральной яркости. Разделение сосновых и темнохвойных лесов проводилось на основе анализа снимка с привлечением "учителей" – лесотаксационных планов. Лиственные породы (береза, осина) на летнем снимке не разделяются. Для классификации типов ландшафтных выделов на космоснимке был выбран ключевой участок, расположенный на северо-западе Томской области и включающий территорию бассейнов рек Еллекулуны-Ях, Катыльга, Лонтынь-Ях. При выборе ключевого участка учитывались его репрезентативность и степень охвата основных типологических элементов территории. Обработка космического снимка проводилась средствами программного обеспечения системы ERDAS Imagine, после чего данные экспортировались в формат, поддерживаемый программным обеспечением геоинформационной системы ArcView 3.x, с помощью которой определялись относительные площади каждого из ландшафтных выделов. На рис. 3.18 приведена карта ландшафтной структуры, полученная в результате обработки космического снимка среднего разрешения. В процессе анализа ландшафтной структуры лесоболотной территории были определены 5 типов ландшафтных выделов, характерных для зон южной и средней тайги Западной Сибири: мелколиственные (береза, осина), темнохвойные (ель, кедр) и сосновые леса, пойма и болото.



Типы ландшафта



Сосновые леса



Темнохвойные леса



Мелколиственные леса



Болото



Открытые водоемы



Пойма



Облака

Рис. 3.18. Карта ландшафтной структуры территории, полученная в результате обработки КС

3.5. Примеры оценки воздействий загрязнений атмосферы на лесоболотные комплексы с применением информационно-космических технологий

В настоящем разделе приведем сводку некоторых результатов оценки воздействий загрязнения атмосферы на лесные и лесоболотные комплексы, изложенных в [8, 101, 102, 137, 200].

В работе [136] в качестве объектов исследования выбраны два участка территории нефтедобычи на западе Томской области, на которых расположены описанные в разделе 1.2 настоящего обзора Васюганская группа месторождений и Игольско-Таловое месторождение. Районы нефтедобычи относятся к подзоне южной тайги, основным зональным типом которой являются кедр, ель, пихта и мелколиственные леса, отличающиеся хорошо развитым древостоем. Территория частично заболочена.

На основе учета реальных объемов выбросов из всех факельных установок на территории КУ определялись площади природных выделов, оказавшихся в зонах загрязнения атмосферы. Для уровней загрязнения 0,05, 0,1, 0,5 и 1 (от ПДК) для разных типов ландшафта были рассчитаны отношения площади загрязненного выбросами сажи или диоксида азота ландшафтного выдела к его общей площади в зависимости от уровня загрязнения атмосферы и объема добычи нефти.

На рис. 3.19 для примера приведены зависимости относительной величины площади (y) ландшафтных выделов, загрязненных выбросами сажи, от объема сжигаемого попутного газа (x), рассчитанные с использованием космического снимка, фрагмент которого был представлен на рис. 4.3. Результаты расчетов приведены для Васюганской группы месторождений и для Игольско-Талового месторождения для уровня загрязнения 0,05 от ПДК.

На рис. 3.20 приведен обработанный летний КС высокого разрешения, полученный с КА "Ресурс-О1" территории нефтедобычи на северо-западе Томской области с наложенными на него зонами загрязнения. По результатам дешифрирования КС выделены осиновые, березовые, темнохвойные и сосновые леса, вырубки, болотные массивы, пойменные участки рек (рис. 3.20). Как показал анализ ландшафтной структуры территории по результатам обработки КС, 45% территории, покрываемой космическим снимком, занимают болота, 26% – мелколиственные леса, 11% – сосновые леса и 14% – темнохвойные леса.

На основе карты природных выделов, построенной по данным космического снимка, были рассчитаны [137, 200] размеры площадей загрязненных ландшафтов, отнесенные к полной площади ландшафтного выдела соответствующего типа (рис. 3.21). Эти относительные площади зависят от уровня загрязнения (в пределах рассматриваемых зон загрязнения) и от объема добываемой нефти, с которым связан объем сжигаемого попутного газа. Исследованы зависимости относительных площадей загрязнения от объема добычи при фиксированных уровнях загрязнения воздуха выбросами сажи (0,3 и 0,5 ПДК). Для получения реальных оценок в качестве исходного объема добычи нефти взята величина существующего объема добычи на Первомайском месторождении в Томской области.

Совместный анализ зон загрязнения и ландшафтной обстановки позволяет не только определить площади территорий природных выделов с различной степенью

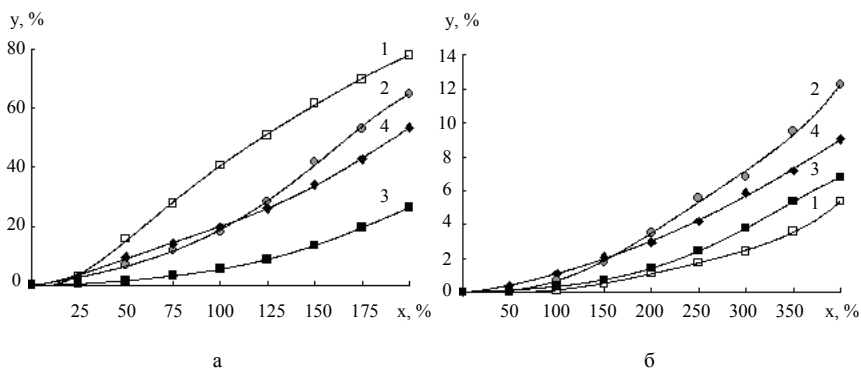


Рис. 3.19. Зависимости относительной площади загрязненных ландшафтных выделов от объемов добычи нефти при 0,05 ПДК:

а – Васюганская группа месторождений, б – Игальско-Таловое месторождение;
 1 – темнохвойный лес, 2 – сосновый лес, 3 – мелколиственный лес, 4 – болото.

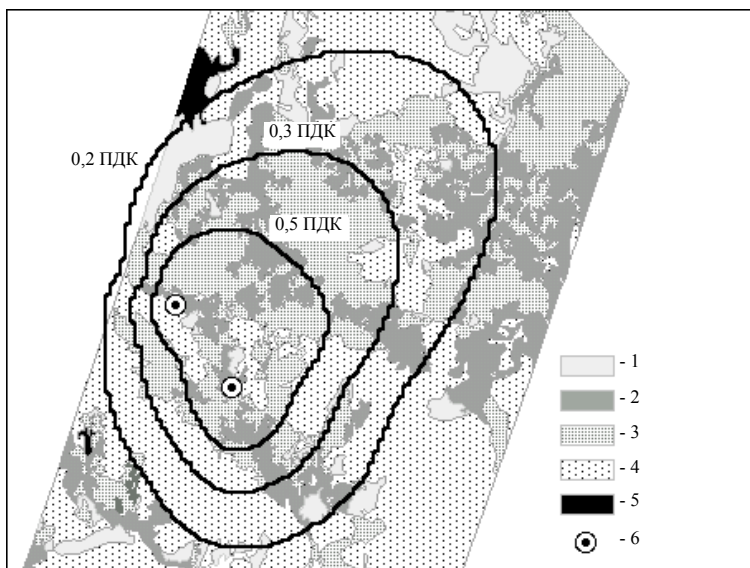


Рис. 3.20. Фрагмент векторизованного космического снимка участка территории нефтедобычи в Томской области с наложенными зонами загрязнения:

1 – сосновые леса, 2 – темнохвойные леса, 3 – березовые леса, 4 – болото, 5 – вырубки, 6 – факалы.

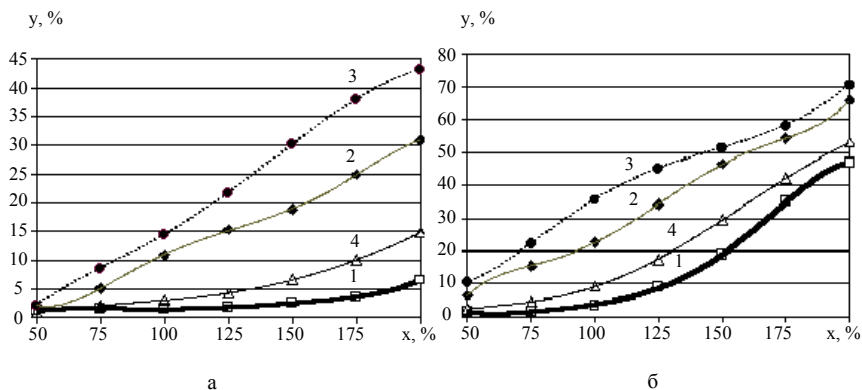


Рис. 3.21. Зависимость относительной площади загрязненных выбросами сажи ландшафтных выделов от объемов добычи нефти:

а – 0,5 ПДК, б – 0,3 ПДК;

1 – сосновые леса, 2 – темнохвойные леса, 3 – березовые леса, 4 – болото.

антропогенной нагрузки, но и выявить наиболее уязвимые участки территории. Так, известно, что наиболее подвержены воздействию атмосферного загрязнения коренные елово-пихтовые леса, что, возможно, связано с более длительным циклом смены хвои у ели и пихты по сравнению с сосной и кедром. За время этого цикла (6 – 7 лет) в массе хвои может адсорбироваться и накапливаться значительное количество вредных веществ (и в первую очередь, сажи), что может привести к изменениям физиологических процессов в лесных фитоценозах. Более устойчивы к сажевому загрязнению мелколиственные (особенно березовые) леса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В разных странах, в том числе и в России, разрабатываются и обсуждаются программы устойчивого развития. Реализация программ возможна лишь в случае, если будут разработаны механизмы их осуществления, в разработке которых важная роль будет отводиться региональным и глобальным прогнозам изменений экологического состояния окружающей среды под воздействием хозяйственной деятельности. На основе этих прогнозов могут формироваться обоснованные нормативы уровней загрязнения компонентов окружающей среды, ограничения на объемы выпуска промышленной продукции в регионах либо на объемы добычи и переработки сырьевых природных ресурсов.

Решение задач экологического прогноза в настоящее время сдерживается из-за практического отсутствия систем экологического мониторинга как источников оперативной и достоверной информации о текущем состоянии окружающей среды. Одним из перспективных направлений в информационном обеспечении задач экологического мониторинга является использование информационно-космических технологий, разработка и совершенствование которых относится к одному из приоритетов мирового развития. Однако методологические проблемы оценки техногенных воздействий на природную среду с использованием информационно-космических технологий разработаны в настоящее время недостаточно. Настоящий обзор, посвященный оценке воздействий нефтедобычи на лесоболотные комплексы Западной Сибири, вносит определенный вклад в решение этой проблемы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абушенко Н.А. и др. Опыт и перспективы организации оперативного спутникового мониторинга территории России в целях службы пожароохраны лесов // Исследование Земли из космоса. – 1998. – № 3. – С. 89 – 95.
2. Авдеевский В.С., Успенский Г.Р. Народнохозяйственные и научные космические комплексы. – М.: Машиностроение, 1985. – 147 с.
3. Аковецкий В.И. Аэрокосмос и ноосфера. – М.: Недра, 1989. – 177 с.
4. Алексеев А.С. и др. Состояние и перспективы развития космического мониторинга Сибири / А.С. Алексеев, Г.Н. Ерохин, А.Г. Зацепин, В.И. Зиненко, В.Н. Копылов // Труды Междунар. конф. "Современные проблемы информационных технологий и космический мониторинг" – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – С. 9 – 15.
5. Алексеев А.С. и др. Вопросы развития центра космического мониторинга Сибири и создания multidisciplinary технологий мониторинга / А.С. Алексеев, Г.Н. Ерохин, В.И. Зиненко, В.Н. Копылов // Труды Междунар. конф. ENVIROMIS-2000 "Измерения, моделирование и информационные системы как средства реабилитации окружающей среды на городском и региональном уровне". – Томск, 2000. – С. 50 – 53.
6. Алексеев А.С., Калантаев П.А., Пяткин В.П. Новые информационные технологии в дистанционных исследованиях Земли из космоса // Материалы Междунар. науч.-техн. конф. "Современные проблемы геодезии и оптики". – Новосибирск, 1998. – С. 18 – 20.
7. Алексеев В.А., Рак Л.Д. Признаки ослабления ели под влиянием атмосферного загрязнения // Лесоведение. – 1985. – № 5. – С. 37 – 43.
8. Алексеева М.Н. и др. Анализ структуры лесоболотных комплексов юго-востока Васюганской равнины с использованием космоснимков и данных наземных наблюдений / М.Н. Алексеева, А.Г. Дюкарев, Ю.М. Полищук, Н.Н. Пологова // Вестник Томского государственного университета. – 2002. – № 2. – С. 80 – 83.
9. Алексеева М.Н. и др. Методические вопросы обработки космических снимков для оценки воздействий загрязнений атмосферы на лесоболотные комплексы / М.Н. Алексеева, А.Г. Дюкарев, Ю.М. Полищук, О.С. Токарева // Сборник трудов Междунар. науч. конф. "Экология Сибири, Дальнего Востока и Арктики". – Томск: Изд-е МИЦФОСЭ ТНЦ СО РАН, 2001. – С. 331 – 335.
10. Алексеева М.Н., Полищук Ю.М. Методические вопросы использования космоинформации в решении экологических проблем добычи нефти // Материалы 2-й науч.-практ. конф. "Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа". – Томск: СТГ, 2001. – С. 121 – 123.
11. Алсынбаев К.С. и др. Система приема и обработки спутниковой информации Югорского НИИ информационных технологий / К.С. Алсынбаев, В.В. Голомолзин, Г.Н. Ерохин, В.Н. Копылов // Труды науч.-практ. конф. "Проблемы региональной информатизации и пути их решения". – Ханты-Мансийск: Технологи ИЦД, 2002. – Ч. 1. – С. 128 – 130.
12. Алсынбаев К.С., Голомолзин В.В. Распределенные геоинформационные базы как основа для экспертно-аналитических исследований территорий // Там же. – Ч. 2. – С. 100 – 103.
13. Ананьин В. Интернет как инструмент корпоративного управления // СУБД. – 1997. – № 3. – С. 53 – 58.
14. Анфимов Н.А., Лукьященко В.И., Моисеев Н.Ф. и др. Проект государственной космической программы России на 1993 – 2000 гг. // Космонавтика и ракетостроение. – 1993. – № 1. – С. 14 – 27.

15. Аппазов Р.Ф., Сытин О.Г. Методы проектирования траекторий носителей и спутников Земли. – М.: Наука, 1987. – 440 с.
16. Арефин А.Н., Макеев А.В., Никифоров Д.В. Опыт создания и перспективы распределенной системы хранения и доступа к данным космического мониторинга // Труды Междунар. конф. "Современные проблемы информационных технологий и космический мониторинг". – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – С. 104 – 109.
17. Асмус В.В. и др. Концепция, основные этапы и первые результаты создания территориальной системы космического мониторинга Севера России / В.В. Асмус, А.М. Волков, В.А. Злотников, В.В.Шварев // Дистанционное зондирование Земли и решение задач природопользования и экологии. – М.: РКА, 1996. – С. 6 – 21.
18. Баррет Э., Куртис Л. Введение в космическое землеведение. – М.: Прогресс, 1979. – 368 с.
19. Белан Б.Д., Зуев В.Е., Панченко М.В. Основные результаты самолетного зондирования аэрозоля в ИОА СО РАН (1981 – 1991 гг.) // Оптика атмосферы и океана. – 1995. – Т. 13. – № 1 – 2. – С. 131 – 155.
20. Берлянт А.М. Виртуальные геоизображения. – М.: Научный мир, 2001. – 56 с.
21. Берлянт А.М. Картография и телекоммуникация. – М.: Астрей, 1998. – 76 с.
22. Бернстайн Ф. Middleware: модель сервисов распределенной системы // СУБД. – 1997. – № 2. – С. 76 – 80.
23. Беспамятных Г.Н., Кротов Ю.А. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. – Л.: Гидрометеоздат, 1985. – 366 с.
24. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем: Пер. с нем. / Под ред. Р. Шуберта. – М.: Мир, 1988. – 350 с.
25. Болота Западной Сибири, их строение и гидрологический режим / Под ред. К.Е. Иванова и С.М. Новикова. – Л.: Гидрометеоздат, 1976. – 448 с.
26. Бугаевский Л.М. Теория картографических проекций регулярных поверхностей. – М.: Златоуст, 1999. – 144 с.
27. Букс И.И., Прохоров Б.Б., Салиев А.В. Оценка ландшафтов бассейна озера Байкал по их устойчивости к различным экологическим факторам и их сочетаниям // Региональный мониторинг состояния озера Байкал / Под ред. Ю.А. Изразля и Ю.А. Анохина. – Л.: Гидрометеоздат, 1987. – С. 23 – 35.
28. Букс И.И., Фомин С.А. Экологическая экспертиза и оценка воздействия на окружающую среду: Учеб.-метод. пособие. Кн. 1. – М.: Изд-во МНЭПУ, 1999. – 128 с.
29. Бураков Д.А., Сухинин А.И., Ромасько В.Ю. и др. Методика определения заснеженности речного бассейна по спутниковым данным для оперативного прогноза стока // Метеорология и гидрология. – 1996. – № 8. – С. 100 – 109.
30. Бучнев А.А., Калантаев П.А., Пяткин В.П. Региональная ГИС для обработки аэрокосмических изображений // Материалы Междунар. конф. "ГИС для оптимизации природопользования в целях устойчивого развития территорий". – Барнаул, 1998. – С. 106 – 112.
31. Бучнев А.А., Калантаев П.А., Пяткин В.П. ИНТРАНЕТ – архитектура региональной интегрированной системы для обработки аэрокосмических изображений // VIII-ая Междунар. конф. по компьютерной графике и визуализации ГРАФИКОН-98. – Москва, 1998. – С. 82 – 85.
32. Бучнев А.А., Пяткин В.П. Программный комплекс для обработки аэрокосмических изображений // Труды IV-ой Междунар. конф. РОАИ-4-98. – Новосибирск, 1998. – С. 251-253.
33. Бызова Н.А. Экспериментальное исследование атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примесей. – Л.: Гидрометеоздат, 1991. – 278 с.
34. Вальд В.П. и др. Высокоинформативные наземные комплексы и малые станции приема космической информации ДДЗ / В.П. Вальд, М.В. Новиков, Г.В. Шишкин, В.В. Березкин, В.И. Семин // Труды Междунар. конф. "Современные проблемы информационных технологий и космический мониторинг". – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – С. 30 – 35.
35. Васильев С.В. Воздействие нефтегазодобывающей промышленности на лесные и болотные экосистемы. – Новосибирск: Наука, 1998. – 127 с.
36. Васильев С.В. Экологический риск воздействия на лесные и болотные экосистемы // Материалы 1-ой Всерос. науч.-практ. конф. "Исследования эколого-географических

- проблем природопользования для обеспечения территориальной организации и устойчивого развития нефтегазовых регионов России: Теория, методы, практика". – Нижневартовск: Изд-во "Приобье", 2000. – С. 170 – 174.
37. Васюганское болото, природные условия, структура и функционирование / Под ред. Л.И. Инишевой. – Томск: Изд-во "Томский ЦНТИ", 2000. – 136 с.
 38. Волкова В.Г., Максимова Г.Н. Некоторые аспекты устойчивости растений и растительных сообществ к техногенным выбросам в связи с планируемым развитием Саянского ТПК // Охрана окружающей среды и географический прогноз. – Иркутск: ИГ СО АН СССР, 1979. – С. 21 – 30.
 39. Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень). – Екатеринбург: УИФ "Наука", 1994. – 280 с.
 40. Воробьева А.И. и др. Атмосферные загрязнения Томска и их влияние на здоровье населения / А.И. Воробьева, М.А. Медведев, Л.П. Волкотруб, Н.В. Васильев. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1992. – 192 с.
 41. Гаврилов В.П. Черное золото планеты. – М: Недра, 1990. – 160 с.
 42. Гарбук С.В., Гершензон В.Е. Космические системы дистанционного зондирования Земли. – М.: Изд-во А и Б, 1997. – 296 с.
 43. Геоинформационные системы: Сб. – М.: CDS- Club, 1996. – 167 с.
 44. Геоинформационные технологии в решении региональных проблем: Сб. – Тула, 2000. – 124 с.
 45. Герман М.А. Спутниковая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 368 с.
 46. Гершензон В.Е. Новый этап развития технологий ИТЦ "Сканэкс" в области ДЗЗ // Труды Междунар. конф. "Современные проблемы информационных технологий и космический мониторинг". – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – С. 22 – 29.
 47. Гладышев В.П., Ковалева С.В., Коршунов В.В. Оксиды азота в окружающей среде и проблемы экологии. – Томск: ТГПУ, 1998. – 117 с.
 48. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. – М.: Высш. шк., 1988. – 228 с.
 49. Головчин В.Р., Тищенко А.П. Пространственная привязка спутниковых сканерных изображений по траекторным данным // Аэрокосмические исследования Земли. Методы обработки видеоинформации с использованием ЭВМ. – М.: Наука, 1978. – С. 56 – 65.
 50. Гонин Г.Б. Космическая фотосъемка для изучения природных ресурсов. – Л.: Недра, 1980. – 320 с.
 51. Горелов В.А., Лукашевич Е.Л., Стрельцов В.А. Состояние и тенденции развития космических средств ДЗЗ высокого разрешения // Информационный бюллетень ГИС-ассоциации. – 2002. – № 4 (36). – С. 6 – 11.
 52. Государственный доклад "О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации в 1999 году". – М.: Госкомитет по охране окружающей среды, 2000. – <http://www.ecocom.ru/Gosdoklad99>.
 53. Гриценко А.И., Аكوпова Г.С., Максимов В.М. Экология. Нефть и Газ. – М.: Наука, 1997. – 598 с.
 54. Дейвис Ш.М. и др. Дистанционное зондирование: количественный подход. – М.: Недра, 1983. – 415 с.
 55. Дементьев В.Н. и др. Разработка системы оперативного мониторинга территорий на примере задачи детектирования лесных пожаров Новосибирской области / В.Н. Дементьев, Н.Н. Добрецов, Е.Н. Кулик, Е.Е. Моисеев // Вычислительные технологии: "Геоинформатика", спец. выпуск. – Новосибирск: ИВТ СО РАН, 2000. – С. 14 – 19.
 56. Дмитриев Г.А. Перспективы использования компьютерных сетей для организации доступа к спутниковым данным и результатам их обработки в центре космических наблюдений // Труды Междунар. конф. "Современные проблемы информационных технологий и космический мониторинг". – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – С. 129 – 132.
 57. Дюкарев А.Г., Пологова Н.Н., Лапшина Е.Д. и др. Природно-ресурсное районирование Томской области / Препринт 2: Экология регионального природопользования. – Томск: Изд-во "Спектр" ИОА СО РАН, 1997. – 40 с.

58. Егоров А.Ф. и др. Современное состояние, проблемы контроля, прогнозирования и управления качеством атмосферного воздуха / А.Ф. Егоров, Т.В. Савицкая, О.В. Дмитриева, С.П. Дударов // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. – 2000. – Вып. 2. – С. 2 – 75
59. Ерохин Г.Н., Копылов В.Н. Организация работы по космическому мониторингу Сибири. Перспективы использования информационных комплексов космической системы "Ресурс-О" для решения задач дистанционного зондирования Сибири // Тез. докл. Всерос. конф. "Развитие системы экологического мониторинга" (Томск, 7 – 9 декабря 1999). – С. 30 – 33.
60. Ерохин Г.Н., Копылов В.Н. Мониторинг речных пойменных затоплений по данным оперативной космической съемки с ИСЗ "Ресурс-О1" № 3 // Материалы Всерос. выставочно-конф. "Новые технологии и инвестиционные проекты" (Якутск, 10 – 13 апреля 2000 г.). – С. 17 – 18.
61. Загрязнение воздуха и жизнь растений: Пер. с англ. / Под ред. М. Трешоу. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – С. 33 – 39.
62. Заикин Д.А., Полищук Ю.М., Хамарин В.И. Методические вопросы использования космоинформации в решении экологических проблем добычи нефти // Материалы 4-ой Междунар. конф. "Химия нефти и газа". – Томск: Изд-во СТУ, 2000. – Т. 2. – С. 396 – 399.
63. Заиков Г.Е., Маслов С.А., Рубайло В.Л. Кислотные дожди и окружающая среда. – М.: Химия, 1991. – 144 с.
64. Захаров М.Ю. и др. Построение архивов данных метеорологических спутников на основе технологий глобальных сетей ИНТЕРНЕТ / Препринт ИКИ РАН. – Москва, 1998. – 24 с.
65. Захаров М.Ю., Лупян Е.А., Мазуров А.А. и др. Организация системы оперативного доступа удаленных пользователей к спутниковым данным // Исследования Земли из космоса. – 1996. – № 5. – С. 67 – 72.
66. Земцов А.А., Земцов В.А. Возможность экологических катастроф в Западной Сибири // География и природные ресурсы. – 1997. – № 2. – С. 14 – 20.
67. Иванова Н.А., Титов Ю.В. Экология растений. – Томск: МГП "Раско", 2002. – 120 с.
68. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. – М.: Гидрометеиздат, 1984. – 560 с.
69. Инженерная экология: Учебник / Под ред. проф. В.Т. Медведева. – М.: Изд-во "Гардарики", 2002. – 687 с.
70. Информационный бюллетень "О состоянии окружающей среды ХМАО в 2000 году". – Ханты-Мансийск: НПЦ "Мониторинг", 2001. – 134 с.
71. Информационный бюллетень "О состоянии окружающей среды ХМАО в 2001 году". – Ханты-Мансийск: НПЦ "Мониторинг", 2002. – 122 с.
72. Информационный бюллетень "О состоянии окружающей среды ХМАО в 1999 году". – Ханты-Мансийск: НПЦ "Мониторинг", 2000. – 130 с.
73. Использование снимков со спутников SPOT // Ракетно-космическая техника. – 1996. – № 11 – 12. – С. 6.
74. Как организовать общественный экологический мониторинг: Руководство для общественных организаций / Под ред. Хотулевой М.В. – М.: Социально-экологический Союз, 1998. – 256 с.
75. Калантаев П.А. и др. Концепция интегрированного банка данных МГИС / П.А. Калантаев, В.Д. Набивич, В.П. Пяткин, В.М. Трубников // Материалы Междунар. конф. "Интеркарто-4: ГИС для оптимального природопользования в целях устойчивого развития территорий". – Барнаул: Изд-во АГУ, 1998. – С. 245 – 249.
76. Калантаев П.А., Пяткин В.П. Интранет-архитектура региональной геоинформационной системы обработки аэрокосмических изображений // Труды Междунар. конф. "Современные проблемы информационных технологий и космический мониторинг". – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – С. 46 – 49.
77. Кемп П., Арис К. Введение в биологию. – М: Мир, 1988. – 671 с.
78. Киенко Ю.П. Основы космического природоведения. – М.: Картогеоцентр-Геодезиздат, 1999. – 285 с.

79. Ким П.А., Пяткин В.П. Аппроксимация матрицы высот рельефа в цифровой картографии на основе вертикального процессирования данных // Материалы Междунар. конф. "Интеркарто-4: ГИС для оптимального природопользования в целях устойчивого развития территорий". – Барнаул: Изд-во АГУ, 1998. – С. 171 – 175.
80. Кондратьев К.Я. Метеорологические спутники. – Л.: Гидрометеоздат, 1963. – 311 с.
81. Кондратьев К.Я. Новые зарубежные метеорологические спутники. – Л.: Гидрометеоздат, 1975. – 38 с.
82. Кондратьев К.Я. Приоритеты глобальной экологии и задачи дистанционного зондирования окружающей среды и биосферы // Исследования Земли из космоса. – 1991. – № 5. – С. 3 – 9.
83. Кондратьев К.Я. Радиационная аппаратура метеорологических спутников США// Метеорология и гидрология. – 1968. – № 12. – С. 89 – 102.
84. Коновалова Н.В., Капралов Е.Г. Введение в ГИС: Учеб. пособие. – М.: ООО "Библион", 1997. – 160 с.
85. Копылов В.Н. Опыт создания и использования регионального центра космического мониторинга окружающей среды в задачах рационального природопользования // Труды Междунар. конф. "Современные проблемы информационных технологий и космический мониторинг". – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – С. 67 – 72.
86. Копылов В.Н. Программно-технологический комплекс регионального центра космического мониторинга окружающей среды. – Новосибирск: Изд-во НГУ, 2001. – 71 с.
87. Копылов В.Н. Технологии оперативного космического мониторинга опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций на территории Сибири // Материалы науч.-практ. конф. "Совершенствование защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера". – Новосибирск: Изд-во МОУ ЦДРО, 2001. – С. 75 – 77.
88. Копылов В.Н. Автоматизация первичной обработки спутниковой метеорологической видеоинформации // Тез. докл. Всесоюз. конф. "Проблемы гидрометеорологического обеспечения народного хозяйства Сибири". – Красноярск: Изд-во КНЦ СО РАН, 1988. – С. 56 – 58.
89. Копылов В.Н., Асмус В.В., Милехин О.Е. Система государственных центров космического мониторинга окружающей среды // Труды Междунар. конф. "Современные проблемы информационных технологий и космический мониторинг" – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – С. 158 – 163.
90. Копылов В.Н., Ерохин Г.Н. Проблемы космического мониторинга Сибири // Труды 4-го Сибирского конгресса по прикладной и индустриальной математике "Региональные проблемы Сибири и Дальнего Востока". – Новосибирск, 2000. – С. 4 – 8.
91. Копылов В.Н., Ерохин Г.Н. Экологический мониторинг в России. Космические и наземные системы действующие и планируемые // Труды Междунар. семинара "Окружающая среда и здоровье населения". – Якутск: Изд-во АН Саха (Якутии), 1999. – С. 11 – 13.
92. Копылов В.Н., Малыхин А.Е., Юшин П.Е. Комплекс программно-технических средств географической привязки спутниковой информации в оперативном режиме // Математические и технические проблемы обработки изображений. – Новосибирск, 1986. – С. 95 – 97.
93. Копылов В.Н., Малыхин А.Е., Юшин П.Е. Комплекс программно-технических средств обработки спутниковой информации в оперативном режиме. – М.: Гидрометеоздат, 1988. – С. 1 – 3. – (Серия: Изучение верхних слоев атмосферы и спутниковая гидрометеорология).
94. Копылов В.Н. Оперативные технологии в области регионального космического мониторинга // Изв. МОН и АН Казахстана. Сер. физико-математическая. – 2001. – № 6 (220), ч. 2. – С. 95 – 100.
95. Космическая система "Метеор-3М" № 1: Справ. материалы / Под ред. Г.М. Полищука. – СПб.: Гидрометеоздат, 2001. – 104 с.
96. Кошкарев А.В., Каракин В.П. Региональные геоинформационные системы. – М.: Недра, 1987. – 126 с.

97. Кошкарёв А.В., Тикунов В.С. Геоинформатика. – М.: Картгеоцентр-Геодезиздат, 1993. – 213 с.
98. Крайнев А.Г., Лупян Е.А. и др. Первичная обработка данных метеорологических спутников на локальных станциях приема // Исследование Земли из космоса. – 1994. – № 5. – С. 112 – 117.
99. Кронберг П. Дистанционное изучение Земли. – М.: Мир, 1988. – 343 с.
100. Крутиков В.А., Полищук Ю.М. Геоинформационное обеспечение мониторинга окружающей среды и климата // Оптика атмосферы и океана. – 2002. – Т. 15, № 1. – С. 12 – 20.
101. Крутиков В.А., Полищук Ю.М. Методология и опыт использования геоинформационного моделирования в решении региональных проблем // Тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. "Суверенный Казахстан: 10-летний путь развития космических исследований". – Алматы: ИКИ МОН РК, 2001. – С. 38.
102. Крутиков В.А., Полищук Ю.М., Токарева О.С. Геоинформационно-моделирующая система и оценка воздействий нефтедобычи на природную среду// Труды Междунар. конф. "Современные проблемы информационных технологий и космический мониторинг". – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал "Гео", 2002. – С. 154 – 157.
103. Кугаенко Б.В., Эльясберг П.Е. Долгосрочный прогноз движения ИСЗ по почти круговым орбитам с учетом произвольного числа зональных гармоник // Математические методы моделирования в космических исследованиях. – М.: Наука, 1971. – С. 106 – 119.
104. Кулагин Ю.З. Лесообразующие виды, техногенез и прогнозирование. – М.: Наука, 1980. – 116 с.
105. Ладьяженский Г.М. Архитектура корпоративных информационных систем // СУБД-1997. – № 5 – 6. – С. 18 – 24.
106. Лапшина Е.Д. и др. Структура растительного покрова западной части Большого Васюганского болота (на примере ключевого участка "Узас") / Е.Д. Лапшина, А.Ю. Королюк, В. Блойтин, Е.Я. Мульдьяров, В.И. Валуцкий // Сибирский экологический журнал. – 2000. – Т. 7, № 5. – С. 563 – 576.
107. Либерман Н.Р., Исаев Л.И. Вредные вещества в промышленности: Справочник. – Л.: Химия, 1985. – 464 с.
108. Липаев В.В. Системное проектирование сложных программных средств для информационных систем. – М.: Синтез, 1999. – 224 с. – (Сер. "Информатизация России на пороге XXI в.").
109. Лупян Е.А., Мазуров А.А. Данные спутникового дистанционного зондирования в глобальных компьютерных сетях ИНТЕРНЕТ // ГИС-обозрение. – 1997. – № 3. – С. 40 – 41.
110. Львов Ю.А. Региональная экология: содержание и методы // Проблемы региональной экологии. – Томск: Изд-во "Красное знамя", 1994. – Вып. 1. – С. 20 – 24.
111. Мазур И.И. Экология нефтегазового комплекса. Наука. Техника. Экономика. – М.: Недра, 1993. – 493 с.
112. Маковский В.И. Влияние нефтезагрязнений на растительный покров и торфяную залежь олиготрофных болот // Растительность в условиях техногенных ландшафтов Урала. – Свердловск: УрО АН СССР, 1989. – С. 96 – 102.
113. Моисеенко А.Е. Современное состояние и перспективы использования средств ДЗЗ из космоса в целях изучения природных ресурсов: Обзор. – М.: ЦНИИГА, 1989. – 96 с.
114. Моисеенко А.Е. Современное состояние и перспективы использования средств дистанционного зондирования Земли из космоса в целях изучения природных ресурсов и экологии: Обзор. – М.: Наука, 1994. – 103 с.
115. Надин А.Ф., Тарханов С.Н., Лобанова О.А. Оценка накопленной серы и соединений металлов лесными растениями вблизи промышленной зоны города Коряжмы // Экологическая химия. – 2000. – Т. 9, вып. 3. – С. 216 – 218.
116. Негрбов О.П. Словарь эколога: Учеб. пособие. – Воронеж: Изд-во "Истоки", 1999. – 188 с.
117. Нещетаев А.Г. Виды и значение биологических ресурсов в природе и обществе // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. – 2001. – № 3. – С. 52 – 66.
118. Никулин Д.В., Федоров С.А. Использование открытых программных продуктов при создании распределенной системы доступа и обработки данных архива пространствен-

- ной информации по Сибирскому региону // Труды Междунар. конф. "Современные проблемы информационных технологий и космический мониторинг". – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – С. 120 – 124.
119. Обзор "О состоянии окружающей среды ХМАО в 1998 году". – Ханты-Мансийск: Госкомитет по окружающей среде, 1999. – 153 с.
 120. Параметры Земли 1990 г. (ПЗ-90) / Под ред. В.В. Хвостова. – М., 1998. – 40 с.
 121. Паренаго О.П., Давыдова С.Л. Экологические проблемы химии нефти // Нефтехимия. – 1999. – Т. 39, № 1. – С. 3 – 13.
 122. Пинигин М.А. Гигиеническая оценка степени опасности загрязнения атмосферного воздуха // Санитарная охрана атмосферного воздуха городов. – М.: САНПИН 1976. – С. 40 – 47.
 123. Полищук Г.М. и др. Комплексная технология приема, обработки, архивации и распространения данных космического наблюдения / Г.М. Полищук, А.М. Волков, Ю.М. Кондратьев, С.Г. Яковлев, В.М. Кибардин, В.Н. Стожкова, Г.Ю. Лысик // Труды Междунар. конф. "Современные проблемы информационных технологий и космический мониторинг". – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – С. 16.
 124. Полищук Ю.М. Имитационно-лингвистическое моделирование систем с природными компонентами. – Новосибирск: Изд-во "Наука", 1992. – 229 с.
 125. Полищук Ю.М. Информатика и анализ техногенных воздействий на природную среду // Сб. докл. конф., посвящ. 90-летию со дня рождения А. Ляпунова. – Новосибирск, 2001. – С. 505 – 510. – <http://www.sbras.ru/ws/Lyap2001/2283>.
 126. Полищук Ю.М., Рюхко В.В. Программа "Система определения зон атмосферного загрязнения", зарегистрирована в Роспатенте, свидетельство № 2001610920 от 30.07.2001 г.
 127. Полищук Ю.М. и др. Методические вопросы применения ГИС в задачах оценки и прогноза воздействия нефтедобычи на лесоболотные комплексы Западной Сибири / Ю.М. Полищук, А.Е. Березин, А.Г. Дюкарев, Е.С. Козин, О.С. Токарева // Труды 2-го Всерос. совещ. "Экология пойм сибирских рек и Арктики" – Томск: Изд-во STT, 2000. – С. 314 – 320.
 128. Полищук Ю.М. и др. Экологическое прогнозирование воздействий нефтегазового комплекса на природную среду Западной Сибири с использованием ГИС-технологий / Ю.М. Полищук, А.Е. Березин, А.Г. Дюкарев, О.С. Токарева // География и природные ресурсы. – 2001. – № 2. – С. 43 – 49.
 129. Полищук Ю.М. и др. Оценка воздействия нефтегазодобычи на состояние лесоболотных комплексов Западной Сибири / Ю.М. Полищук, А.Е. Березин, А.Г. Дюкарев, О.С. Токарева // Материалы 2-го Междунар. симп. "Контроль и реабилитация окружающей среды". – Томск: Изд-во "Спектр" ИОА СО РАН, 2000. – С. 13 – 17.
 130. Полищук Ю.М., Рюхко В.В. Применение геоинформационных систем для оценки последствий аварий на объектах нефтегазового комплекса // Материалы 4-ой Междунар. конф. "Химия нефти и газа". – Томск: Изд-во STT, 2000. – Т. 2 – С. 380 – 384.
 131. Полищук Ю.М. и др. Региональные экологические информационно-моделирующие системы / Ю.М. Полищук, В.А. Силич, В.А. Татарников, И.А. Ходашинский, Т.А. Ципилева. – Новосибирск: ВО "Наука", 1993. – 133 с.
 132. Полищук Ю.М., Токарева О.С. Анализ воздействия загрязнений атмосферы на лесоболотные экосистемы в нефтедобывающих районах Сибири // Оптика атмосферы и океана. – 2000. – Т. 13, № 10. – С. 950 – 953.
 133. Полищук Ю.М., Токарева О.С. Анализ экологических последствий нефтедобычи в Западной Сибири с использованием ГИС // Материалы 4-ой Междунар. конф. "Химия нефти и газа". – Томск: Изд-во STT, 2000. – Т. 2. – С. 400 – 405.
 134. Полищук Ю.М., Токарева О.С. Методика оценки воздействия техногенного химического загрязнения атмосферы на лесоболотные комплексы в нефтедобывающих районах Западной Сибири // Химия в интересах устойчивого развития. – 2002. – Т. 10, № 5. – С. 659 – 668.
 135. Полищук Ю.М., Токарева О.С. Методология и организация эколого-географических исследований воздействия нефтедобычи на природную среду // Исследования эколого-

- географических проблем природопользования для обеспечения территориальной организации и устойчивости развития нефтегазовых регионов России: Теория, методы и практика. – Нижневартовск: Изд-во "Приобье", 2000. – С. 75 – 78.
136. Полищук Ю.М., Токарева О.С., Булгакова И.В. Оценка воздействий загрязнений атмосферы на лесные комплексы в нефтедобывающих районах с применением космоснимков // Оптика атмосферы и океана. – 2003. – № 5 – 6.
 137. Полищук Ю.М. и др. Геоинформационный анализ воздействий загрязнения атмосферы на растительные биосистемы с использованием космоснимков / Ю.М. Полищук, О.С. Токарева, В.В. Рюхко, М.Н. Алексеева // Геоинформатика. – 2002. – № 2. – С. 10 – 13
 138. Полищук Ю.М., Токарева О.С. Результаты имитационного эксперимента по анализу воздействия загрязнений атмосферы на экосистемы нефтедобывающих территорий Сибири // Труды IV Междунар. симп. по проблемам экоинформатики. – М.: ИРЭ РАН, 2000. – С. 44 – 48.
 139. Практическое пособие по разработке раздела "Оценка воздействия на окружающую среду" к "Порядку разработки, согласования, утверждения и составу обоснований инвестиций в строительство предприятий, зданий и сооружений" СП 11-101-95. – М.: ГП "ЦЕНТРИНВЕСТпроект", 1998. – 32 с.
 140. Программа биологических и экологических исследований Академии наук СССР // Вестник АН СССР. – 1988. – № 11. – С. 1 – 160.
 141. Прэртт У. Цифровая обработка изображений. – Т. 1. – М.: Мир, 1982. – 311 с.
 142. Пяткин В.П., Салов Г.И. Непараметрические статистические критерии в задачах дистанционного зондирования // Труды IV-ой Междунар. конф. РОАИ-4-98. – Новосибирск, 1998. – С. 368 – 372.
 143. Реморов В.В., Сидоренко Т.Н., Бушковский А.Л. Основные факторы техногенного нарушения окружающей среды в нефтедобывающих районах Томской области // Нефтяное хозяйство. – 1996. – № 11. – С. 90 – 91.
 144. Рюхко В.В., Полищук Ю.М. Геоимитационное моделирование и оценка воздействия химического загрязнения атмосферы // Материалы 7-го Междунар. симп. "Оптика атмосферы и океана". – Томск: Изд-во "Спектр" ИОА СО РАН, 2000. – С. 155.
 145. Сборник методик по расчету выбросов в атмосферу загрязняющих веществ. – Л.: Гидрометеоздат, 1986. – 186 с.
 146. Селиванов А.С. Космическое телевидение на службе науки и народного хозяйства // Техника кино и телевидения. – 1977. – № 10. – С. 61 – 67.
 147. Селиванов А.С., Тучин Ю.М. Региональная станция приема и обработки спутниковой информации // Дистанционное зондирование и решение задач природопользования и экологии на федеральном и региональном уровнях. – М.: РКА ЦПИ, 1996. – С. 69 – 71.
 148. Серебрякова Л.К. Допустимые концентрации токсических веществ в атмосферном воздухе для древесной растительности // Газоустойчивость растений. – Новосибирск: Наука, 1980. – С. 184 – 185.
 149. Сорокин И.В. Космические системы ДЗЗ: научно-коммерческие системы: Аналит. обзор. Справочник. – М.: РКК "Энергия", 1994. – 420 с.
 150. Справочник потребителя спутниковой информации / Под ред. В.В. Асмуса, О.Е. Милехина. – СПб.: Гидрометеоздат, 2002. – 106 с.
 151. Теллин С. Интранет и адаптивные инновации: переход от управления к координации в современных организациях // СУБД. – 1996. – № 5 – 6. – С. 68 – 79.
 152. Тикунов В.С. Моделирование в картографии. – М.: Изд-во МГУ, 1997. – 405 с.
 153. Токарева О.С. Программа "Оценка воздействия загрязнения атмосферы на природную среду", зарегистрирована в Роспатенте, свидетельство № 2002611530 от 30 августа 2002 г.
 154. Уткин В.Ф., Анфимов Н.А., Лукьяченко В.М. и др. Концепция построения космической программы России // Проблемы авиационной и космической техники. – 1995. – № 8. – С. 6 – 8.
 155. Федонин В.А. Охрана окружающей среды в ОАО "Томскнефть" ВНК: состояние, проблемы, перспективы // Нефтяное хозяйство. – 1996. – № 11. – С. 87 – 89.
 156. Фелленберг Г. Загрязнение природной среды. Введение в экологическую химию: Пер. с нем. – М.: Мир, 1997. – 232 с.

157. Филипенко А.В. Сырьевая база нефтедобычи и недропользования в ХМАО. – Екатеринбург: Издат. дом "Пакурс", 2001. – 144 с.
158. Чекалин В.Ф. Ортотрансформирование фотоснимков. – М.: Недра, 1986. – 168 с.
159. Чижов Б.Е. Лес и нефть Ханты-Мансийского автономного округа. – Тюмень: Изд-во Ю. Мандрики, 1998. – 144 с.
160. Экоинформатика. Теория, практика, методы и системы / Под ред. В.Е. Соколова. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – 520 с.
161. Экологический мониторинг: Состояние окружающей природной среды Томской области в 1999 году. – Томск: Госкомитет по охране окружающей среды Томской области, 2000. – 250 с.
162. Экологический энциклопедический словарь. – М.: Издат. дом "Ноосфера", 1999. – 930 с.
163. Экология Ханты-Мансийского автономного округа / Под ред. В.В. Плотнокова. – Тюмень: Изд-во "СофтДизайн", 1997. – 287 с.
164. Эльясберг П.Е. Введение в теорию полета ИСЗ. – М.: Наука, 1965. – 540 с.
165. Эльясберг П.Е. Определение движений по результатам измерений. – М.: Наука, 1976. – 416 с.
166. Эскобал П. Методы определения орбит. – М.: Мир, 1970. – 386 с.
167. Abushenko N.A. et al. Near real-time satellite monitoring of Russia for forest fire protection // Mapping Science and Remote Sensing. – 1999. – Vol. 36, № 1. – P. 54 – 61.
168. Avenue. Environmental Systems Research Institute. Inc. – N.Y., 1997. – 280 p.
169. Avery T.E., Berlin G.L. Fundamentals of Remote Sensing and Airphoto Interpretation. – MacMillan Publ. Co. – 1992. – 472 p.
170. Baret F., Guyot G., Major D. TSAVI: a vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI and APAR estimation // Proc. of the 12th Canadian Symposium on Remote Sensing and IGARSS'89. – Vancouver (Canada), 1989. – P. 1355 – 1358.
171. Baret F., Guyot G. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment // Remote Sensing of Environment. – 1991. – № 35. – P. 161 – 173.
172. Bernhardsen T. Geographic Information Systems. – N.Y.; London: John Wiley & Sons, 1992. – 318 p.
173. Bernstein R. Image Geometry and Rectification / Chapter 21 in The Manual of Remote Sensing. R.N. Colwell, ed. – Bethesda, MD, American Society of Photogrammetry, 1983. – № 1. – P. 875 – 881.
174. Brookshire G., Nadler M., Lee C. Automated Stereophotogrammetry // Computer Vision, Graphics and Image Processing. – 1990. – № 52. – P. 276 – 296.
175. Buchnev A.A., Kalantaev P.A. Pyatkin V.P. An integrated information system for processing aerospace images // Pattern Recognition and Image Analysis. – 1998. – Vol. 8, № 3. – P. 287 – 289.
176. Bulgakova I.V., Polistchuk Y.M., Tokareva O.S. Geoinformation technology of assessment of oil extraction impact on swamp-forest ecosystems by means of middle resolution space images // Abstracts of XI Intern. Conf. of IBFRA (August 5 – 9, 2002, Krasnoyarsk, Russia). – Krasnoyarsk: Institute of Forest of SB RAS, 2002. – P. 19 – 20.
177. Coops N.C., Waring R.H. The use of multiscale remote sensing imagery to derive regional estimates of forest growth capacity using 3-PGS // Remote Sensing in Environment. – 2001. – Vol. 75, I. 3. – P. 324 – 334.
178. Curran P.J. Remote sensing methodologies and geography // Int. J. Remote Sensing. – 1997. – № 8. – P. 1255 – 1275.
179. DeMers M. Fundamentals of Geographic Information Systems. – N.Y.; London: John Wiley & Sons, 1996. – 320 p.
180. Drury S. A. A Guide to Remote Sensing: Interpreting Images of the Earth. – Oxford: Oxford University Press, 1990. – 425 p.
181. Hoots F.R. A Short, Efficient Analytical Satellite Theory // AIAA Paper № 80-1659, August 1980. – 297 p.
182. Khamarin V.I., Protasov K.T., Serykh A.P. Supervised classification of RESURS MSY-E data for recognized predominant cone-bearing tree regions // Proceedings of SPIE. – 1999. – Vol. 3983. – P. 186 – 191.

183. Krutikov V.A., Polistchuk Y.M. Geoinformation software for environmental and climatic monitoring // *Atmospheric and Oceanic Optics*. – 2002. – Vol. 15, № 1. – P. 8 – 15.
184. Lillesand T.M., Kieffer R.W. Remote sensing and image interpretation. – 3rd Ed. – J. Wiley & Sons., 1994, – 750 p.
185. Lo C.P., Quattrochi D.A., Luval J.C. Application of high-resolution thermal infrared remote sensing and GIS to assess the urban heat island effect // *Int. J. Remote Sensing*. – 1997. – Vol. 18, № 2. – P. 123 – 130.
186. Loupian E. et al. Development of fully automated systems for satellite data acquisition with remote control over the Internet / E. Loupian, V. Zakharov, A. Mazurov, R. Nazirov, E. Flitman // 2nd International Symposium on "Reducing the cost of spacecraft ground systems and operations". – Oxford.: RAL Keble College, 1997. – P. 76 – 86.
187. Madden R., Parsons C. A technique for real time quantitative display of APT scanning radiometer data // *J. Appl. Meteorol.* – 1973. – Vol. 12, № 2. – P. 381 – 385.
188. McPherson E., Nowak D. et al. Quantifying urban forest structure, function and value: The Chicago Urban Forest Climate Project. *Urban Ecosystems*. – 1997. – № 1. – P. 49 – 61.
189. Nemani R.R., Running S.W. Estimation of regional surface resistance to evapotranspiration from NDVI and thermal-ir AVHRR data // *J. of Applied Meteorology*. – 1989. – № 28. – P. 276 – 284.
190. O'Brien D.M., Mitchell R.M. An error budget for cross-calibration of AVHRR shortwave channels against ATSR-2 // *Remote sensing in Environment*. – 2001. – Vol. 75, № 2. – P. 216 – 229.
191. Pinty B., Verstrate M. GEMI: a non linear index to monitor global vegetation from satellites // *Vegetatio*. – 1992. – № 15. – P. 20 – 21.
192. Polistchuk Y. Regional environmental analysis and prediction // *Proceedings of Intern. Confer. on Modeling and Environmental Systems with Geographical Information Systems* (June 22 – 25, 1998, Hong Kong, China). – Hong Kong: The Chinese Univ. of Hong Kong, 1998. – Vol. 1. – P. 115 – 120.
193. Polistchuk Y. Assessment of chemical hazardous zone with GIS // *Contingency, Emergency, Crisis and Disaster Management / Defining the Eagenda for the Third Millenium* (Ed. G. Beroggi). – Delft (Netherlands): Delft Univ. of Technology, 1999. – P. 141 – 145.
194. Polistchuk Y. Geoinformation systems and regional environmental prediction // *Safety Science*. – 1998. – Vol. 30. – P. 63 – 70.
195. Polistchuk Y. et al. Geoinformation systems for regional environmental studies / Y. Polistchuk, E. Kozin, V. Ruyhko, O. Tokareva // *Proceedings of SPIE*. – 1999. – Vol. 3983. – P. 572 – 577.
196. Polistchuk Y., Tokareva O. Analysis of impact of atmospheric pollution on the forest-swamp ecosystems of Siberian oil producing regions // *Atmospheric and oceanic optics*. – 2000. – Vol. 13, № 10. – P. 882 – 885.
197. Polistchuk Y., Tokareva O. Geoinformation analysis of atmosphere pollution impact on landscape of siberian oil –producing territories // *Proceedings of SPIE*. – 2000. – Vol. 4341. – P. 571 – 576.
198. Polistchuk Y. Geoinformation technology of assessment of air pollution impact on landscape for nature safety management // *Proceedings of the 8th Annual Conference of the International Emergency Management Society TIEMS'2001* (June 19-22, 2001, Oslo, Norway). Ed. K. Drager. – Oslo: TIEMS, 2002. – P. 331 – 338.
199. Polistchuk Y., Ruykhko V. Geoinformation technology for assessment of accidental chemical pollution / Ed. K. Kowalski, M. Trevis // *Proceedings of the 7th Annual Conf. of the International Emergency Management Society TIEMS'2000* (May 17 – 21, 2000, Orlando, Florida USA). – Orlando: TIEMS, 2000. – P. 434 – 439.
200. Polistchuk Y. et al. Geoinformation modeling system for analysis of atmosphere pollution impact on vegetable biosystems using space images / Y. Polistchuk, V. Ruykhko, O. Tokareva, M. Alexeeva // *Proceedings of SPIE*. – 2002. – Vol. 4678. – P. 478 – 484.
201. Polistchuk Y.M., Ruykhko V.V. Geoinformation technology for assessment of accidental chemical pollution // *Safety Science*. – 2001. – Vol. 39, № 1 – 2. – P. 31 – 37.

202. Polistchuk Y.M., Salmina N.Y., Tsipileva T.A. Modelling of the structure of chemical compounds and prediction of ecological-toxicological state of the environment// Chemistry for Sustainable Development. – 1996. – Vol. 4. – P. 21 – 31.
203. Pyatkin V.P. Extraction of structures of arbitrary shape in aerospace images // Pattern Recognition and Image Analysis. – 1998. – Vol. 8, № 3. – P. 327 – 329.
204. Rahman H., Dedieu G. SMAC: a simplified method for the atmospheric correction of satellite measurements in the solar spectrum // Int. J. Remote Sensing. – 1994. – Vol. 15, № 1. – P. 123 – 143.
205. Richards J.A. Remote Sensing Digital Image Processing: An Introduction. – Berlin: Springer-Verlag, 1993. – 340 p.
206. Richardson A., Wiegand C. Distinguishing vegetation from soil background information // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. – 1997. – № 43. – P. 1541 – 1552.
207. Russ J. C. The Image Processing Handbook. – Boca Raton, FL: CRC Press, 1992. – 445 p.
208. Sabins Jr.F.F. Remote Sensing: Principles and Interpretation. – 3rd Ed. – N.Y.: W.H. Freeman & Co., 1996. – 496 p.
209. Secker J., Staenz K., Gauthier R., Budkewitsch P. Vicarious calibration of airborne hyperspectral sensors in operational environments // Remote Sensing in Environment. – 2001. – Vol. 75, № 1.1. – P. 81 – 92.
210. Siberian Forest // ИАСА Options, Winter'94. – Luxenburg, Austria: ИАСА, 1994. – P. 12.
211. The catalogue of SPOT products and services. SPOT IMAGE, 1989. – 55 p.
212. Wegmuller U., Werner C., Nuesch D. Land surface analysis using ERS-1/SAR interferometry, ESA Bulletin, 02, 1995. – № 81. – P. 30 – 37.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- Ерохин Геннадий Николаевич – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией сетевых технологий и директор ЮНИИ ИТ
- Копылов Василий Николаевич – кандидат технических наук, руководитель Центра дистанционного зондирования Земли ЮНИИ ИТ
- Полищук Юрий Михайлович – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией ИХН СО РАН, главный научный сотрудник Центра дистанционного зондирования Земли ЮНИИ ИТ
- Токарева Ольга Сергеевна – ведущий математик ИХН СО РАН.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ РЕГИОНАХ	4
1.1. Анализ факторов воздействия нефтедобычи на природную среду	4
1.2. Состояние загрязнения атмосферы в нефтедобывающих регионах	9
1.3. Воздействие химического загрязнения атмосферы на растительность	12
1.4. Методические вопросы оценки воздействия загрязнения атмосферы на природную среду	19
Глава 2. ИНФОРМАЦИОННО-КОСМИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ В СИСТЕМАХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА	24
2.1. Краткая история создания и развития космических систем дистанционного зондирования Земли	24
2.2. Концепция создания системы космического мониторинга окружающей среды	27
2.3. Функционально-технологические требования к информационно- космическому комплексу	31
2.4. Структура информационно-космического комплекса	35
2.5. Примеры реализации информационно-космических комплексов	38
Глава 3. ВОПРОСЫ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННО-КОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА	52
3.1. Математическое и программное обеспечение приема, предварительной обработки и архивации спутниковых данных	52
3.2. Геоинформационное и картографическое обеспечение ИКК	64
3.3. Математические и программные средства моделирования зон техногенного загрязнения атмосферы в нефтедобывающих регионах Сибири	70
3.4. Особенности определения зон техногенного воздействия с использованием космоснимков среднего и высокого пространственного разрешения	74
3.5. Примеры оценки воздействий загрязнений атмосферы на лесоболотные комплексы с применением информационно- космических технологий	82
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	85
ЛИТЕРАТУРА	86
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	96

Ерохин Геннадий Николаевич
Копылов Василий Николаевич
Полищук Юрий Михайлович
Токарева Ольга Сергеевна

ИНФОРМАЦИОННО-КОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ
ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ВОЗДЕЙСТВИЙ
НЕФТЕДОБЫЧИ НА ПРИРОДНУЮ СРЕДУ

Компьютерная верстка выполнена Т.А. Калюжной

Лицензия ИД № 04108 от 27.02.01

Подписано в печать 20.10.2003. Формат 60x84/16.
Бумага писчая. Гарнитура Times. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 6,0. Уч.-изд. л. 5,9. Тираж 300 экз.
Заказ N 279.

ГПНТБ СО РАН. Новосибирск, ул. Восход, 15, комн. 407, ЛИСА.
Полиграфический участок ГПНТБ СО РАН. 630200, Новосибирск,
ул. Восход, 15.