

Российская академия наук. Сибирское отделение  
Государственная публичная научно-техническая библиотека  
Институт почвоведения и агрохимии

**Серия "Экология"**  
Издается с 1989 г.  
**Выпуск 55**

**А.А. Танасиенко, А.Ф. Путилин, В.С. Артамонова**

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭРОЗИОННЫХ  
ПРОЦЕССОВ**

Аналитический обзор

Новосибирск, 1999

ББК П064

**Танасиенко А.А., Путилин А.Ф., Артамонова В.С.** Экологические аспекты эрозийных процессов: Аналит. обзор / ГПНТБ СО РАН, Ин-т почвоведения и агрохимии СО РАН; Науч. ред. И.М. Гаджиев. - Новосибирск, 1999. - 89 с. - (Сер. Экология. Вып. 55).

В обзоре впервые представлены данные о запасе холода в почвах Западной Сибири, показано влияние этого запаса на интенсивность, величину геохимической миграции элементов и антропогенной эрозии. Используя литературные данные и собственные наблюдения, прослежено за динамикой потерь химических элементов. Особое место в обзоре отводится экологическим последствиям эрозийных процессов для почвенной биоты, заключающимся в деградации микробоценозов смытых почв до потери отдельных крупных таксонов в своем составе или отдельных функций. Сделана попытка классифицировать экологические последствия эрозийных процессов. Показано, что в малоснежные годы вынос биогенных элементов при геохимической миграции превалирует над эрозией почв и является экологически слабо опасным. В многоснежные годы антропогенная эрозия полностью ответственна за отчуждение химических элементов из почвы и эти потери можно классифицировать как экологически сильно опасные.

Обзор рассчитан на почвоведов, агроэкологов и всех, интересующихся предметом ООС.

Научный редактор доктор биологических наук,  
член-корреспондент РАН И.М. Гаджиев

Обзор подготовлен к печати к.п.н. О.Л. Лаврик  
Н.И. Коноваловой  
Т.А. Калужной

ISBN 5-7692-0254-8

© Государственная публичная  
научно-техническая библиотека  
Сибирского отделения  
Российской академии наук  
(ГПНТБ СО РАН), 1999

## ВВЕДЕНИЕ

Склоны той или иной крутизны представляют собой наиболее распространенный элемент рельефа и занимают наибольшую площадь. К склоновым формам поверхности приурочена также и значительная доля пахотных угодий, активная хозяйственная деятельность на которых стимулирует развитие эрозионных процессов. Так как эта деятельность изменяет сложившееся равновесие между рельефом и преобразующими его процессами, то склоновые территории, обладающие в естественных условиях большим запасом эрозионной стойкости, часто превращаются в области интенсивной денудации с эрозионной стойкостью значительно ниже критической.

Среди факторов антропогенного влияния на почвенный покров громадное воздействие оказывает распашка земель, особенно в расчлененных районах. Перевод почв из целинного или залежного состояния в пашню, когда нарушается равновесие между процессами "гумификация-минерализация" со сдвигом в сторону последнего, приводит к существенной потере органического вещества и кальция. Эти вещества еще интенсивнее теряются при развитии эрозионных процессов. В результате активизации геохимической миграции элементов и антропогенной эрозии за последние полвека практически здоровые и плодородные почвы утратили свое превосходное качество, а территории водосборных бассейнов больших и малых рек в ряде случаев превратились в зоны экологического бедствия.

Ускоренная эрозия нарушает природный баланс экосистемы (Панков, 1937). Влияние ускоренной эрозии на экосистему проявляется как в потере почвы, выщелачивании из нее многих химических элементов, необходимых для формирования высокой и качественной продукции, так и в поступлении твердой фазы смытой почвы на другой участок местности. Для компенсации потери продуктивности земель приходится включать в сельскохозяйственное производство дополнительные площади (Larson et al., 1983).

Влияние эрозии на биологические компоненты в экосистеме изучено явно недостаточно. Последствия эрозионных процессов довольно сложные и зависят от взаимодействия таких факторов, как потеря органического вещества, микроорганизмов, илстой фракции и элементов питания, а также от изменения физических свойств почвы.

Важное последствие эрозии для экосистемы - это снижение запасов органического вещества в почве. В связи с высокой концентрацией органического вещества в верхней части почвенного профиля и его низкой плотностью, гумус представляет собой один из первых компонентов, которые выносятся из почв в результате эрозии. Органическое вещество во многих почвах служит главным источником, который вносит вклад в емкость катионного обмена, а также источником минерального азота и аккумулятором значительной части азота, вносимого с минеральными удобрениями. Снижение запасов гумуса в результате эрозии почв непосредственно влияет на круговорот питательных веществ в агроэкосистеме, по крайней мере по двум причинам: 1) снижение запасов питательных веществ связано с уменьшением содержания гумуса; 2) в результате снижения емкости катионного обмена органического вещества (в илистой фракции) соответственно уменьшается способность почв удерживать питательные вещества. Совместное влияние этих двух факторов и увеличение затрат удобрений, которые требуется вносить на более эродированных участках, приводят к возрастанию потенциального переноса элементов питания в результате эрозии поверхностного слоя почвы и внутрпочвенного выщелачивания.

Эрозия в масштабах поля может оказывать в агроэкосистеме влияние на участки, расположенные от водораздела на значительном расстоянии. Это определяется тем, что смытая почва должна где-то скапливаться. Эрозия оказывает вредное воздействие также на озера и реки.

Почва, благодаря своей огромной активной поверхности, в состоянии поглощать многие вредные соединения на пути их миграции в водные системы, а также снижать избыточное поступление химических элементов, которое может привести к эвтрофикации водоемов. Однако с возросшими антропогенными нагрузками на агроландшафт склонов почва во многих случаях не справляется со своими "задачами".

Деятельность человека, проявляющаяся в сжигании ископаемого топлива и плавлении сернистых руд, привела к заметным изменениям в кислотности осадков. Оксиды азота, серы, хлор, выделяемые в процессе технологической деятельности, преобразуются в сильные кислоты в атмосфере и возвращаются на землю с осадками. Эти сильные кислоты при таянии снежного покрова или разбавлении дождевой водой понижают рН атмосферных осадков ниже 5,6. Усиливается вымывание Са, Mg, К и других химических элементов из склоновых почв в результате поверхностного стока талых и ливневых вод. При этом, как полагает В.А. Ковда (1981), наблюдается активизация и мобилизация Al, Fe, Mg и связывание Р. Такие изменения заметно снижают почвенное плодородие и заставляют увеличивать дозировку удобрений и усиливать известкование почв.

Эвтрофикация водоемов отмечается также в результате нерационального внесения фосфорных удобрений, значительная часть которых с поверхностным стоком талых, ливневых и ирригационных вод поступает в водоемы (Ковда, 1975). Данный процесс происходит на фоне ограниченных запасов фосфатов, которые могут истощиться в течение 75 -

100 лет (Добровольский, Никитин, 1986). Фосфор слишком драгоценен, чтобы отдавать его на “съедение” синезеленым водорослям.

Такие компоненты экологического воздействия эрозионных процессов, как потеря органического вещества почвы, формирование намывных почв, эвтрофикация водоемов вследствие выноса значительного количества питательных веществ из поверхностного слоя почвы и кислых атмосферных осадков взаимно связаны между собой, равноценны и протекают одновременно.

## Глава 1. ХОЗЯЙСТВЕННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА, ИНТЕНСИФИЦИРУЮЩАЯ ЭРОЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ

Сибирь располагает значительными земельными ресурсами, среди которых наиболее хозяйственно ценными являются черноземы. Они занимают 31,3 млн га или 77% пахотных угодий и обеспечивают достаточное получение зерна вследствие их высокого исходного плодородия. Если учесть, что в 1970 - 1994 гг. прирост населения только в Западно-Сибирском районе, включающем в себя Алтайский край, Кемеровскую, Новосибирскую, Омскую, Томскую и Тюменскую области, составлял 126208 человек в год (Российский..., 1996), а средняя потребность пашни для производства сельскохозяйственной продукции на одного жителя планеты при существующем уровне урожаев - 0,4 га (Заславский, 1979), в сельскохозяйственное использование здесь ежегодно должно вводиться около 50 тыс. га. К сожалению, площадь пашни лишь в Западной Сибири за этот временной отрезок сократилась почти на 500 тыс. га (Сельское..., 1988). Необходимо отметить, что Западно- и Восточно-Сибирский районы характеризуются высокой долей пашни на одного жителя: от 0,5 до 2,8 га. Самое низкое количество пашни на одного жителя приходилось в Кемеровской области - 0,5 га. В результате существенного прироста населения за последние 25 лет (240 тыс. человек) ныне здесь на одного жителя приходится уже 0,46 га и приближается к мировому уровню.

Около 60% всех сельскохозяйственных угодий страны, в том числе 53% пашни, расположено на склонах крутизной до 10° (Шурикова, 1981). Механический перенос на склоновые земли агротехники, сложившейся на равнинных территориях, привел к обесструктуриванию ранее зернистых черноземов, к их значительной выпаханности, снижению плодородия, а в большинстве случаев - к развитию эрозионных процессов. Их усиление обусловлено резким уменьшением защитной функции естественной растительности и эрозионной стойкости почв, подвергающихся длительному хозяйственному воздействию.

Антропогенная нагрузка на ландшафты Сибири, в сравнении с европейской частью России, относительно невысока, что объясняется небольшой продолжительностью интенсивного воздействия. Длительность этого воздействия не превышает 100 лет (Кирюшин, Лебедева, 1984), в то время как в европейской части России она достигает 360 лет (Сурмач, 1970). Вследствие этого эрозионными процессами в Сибири поражены лишь те территории, которые характеризуются довольно высоким

расчленением, большим распространением пахотных угодий на склоновых землях.

На земельной территории Сибири при одинаковом в целом механическом воздействии на пахотные почвы их деградация вследствие эрозийных процессов в различных административных областях происходит неодинаково. Пораженность земель сельскохозяйственного назначения Сибири эрозийными процессами достигла больших размеров, хотя основная часть пахотных почв интенсивно используется в земледелии этого региона в последние 40 - 50 лет, а общая средняя продолжительность распашки почв региона не превышает 130 лет. Интенсивному развитию эрозийных процессов в агроценологических ландшафтах (где до последнего времени не применялись почвоохранительные мероприятия, а там, где они применялись, в последние 5 - 6 лет в силу создавшейся ситуации в сельском хозяйстве, ныне аграриями игнорируются) способствовал ряд хозяйственных факторов.

В сферу сельскохозяйственного использования Сибири вовлечено лишь около 50 млн га земель, из которых примерно половину занимает пашня (табл. 1.1). В целом же распаханность территории Сибири крайне низка - около 8% - и варьирует от 31% в Омской области до 1,2% - в Тюменской.

Т а б л и ц а 1.1

Структура сельскохозяйственных угодий некоторых регионов Сибири

Край, республика, область	Площадь сельскохозяйственных угодий, тыс. га				Относительная распаханность, %
	всех видов	пашни	сенокосов	пастбищ	
Алтайский	11169	7275	1219	2675	65,1
Горный Алтай	1691	146	182	1363	8,6
Кемеровская	2650	1613	446	591	60,9
Новосибирская	8301	3865	2273	2163	56,5
Омская	6796	4453	1045	1298	65,5
Томская	1438	667	469	302	46,6
Тюменская	3601	1740	1017	844	48,3
Бурятия	2690	1018	340	1332	37,8
Тыва	4484	506	102	3876	11,2
Хакасия	1844	732	210	902	41,6
Читинская	7641	2256	Нет дан.	Нет дан.	29,4
<b>Всего:</b>	52305	24271	7303	15346	46,4

Интенсивность проявления эрозии почв во многом зависит от степени распаханности территории и особенно от давности ее распашки (Беннет, 1958). В связи с этим важно выяснить относительную распаханность земель, которая представляет собой долю в составе

сельскохозяйственных угодий. Относительная распаханность земель различных зон Сибири в зависимости от природных условий довольно сильно отличается от истинной.

Понятно, что и почвенно-географические и почвенно-генетические изменения, отмеченные при широкомасштабной распашке территории, ведут к не менее значимым почвенно-экологическим последствиям. При этом самым очевидным и экологически значимым следствием можно считать сокращение площадей гидроморфных экосистем и часто очень сильную их деградацию. Исследования показывают, что при 40 - 50%-й распашке территории оставшиеся нетронутыми экосистемы лесостепной, и тем более степной, зоны оказываются, как правило, антропогенно деградированными. Если воспользоваться "Критериями оценки экологической обстановки..." (1992), то значительную часть сельскохозяйственной зоны Омской и Кемеровской областей, Алтайского края и юго-востока Новосибирской области уже сейчас следует считать зонами чрезвычайной экологической ситуации (см. табл. 1.1).

Результатом повсеместной распашки земель явилось резкое изменение климатических условий в целом, и тепловых характеристик в частности (глубина промерзания, расходы тепла на испарение почвенной влаги). Распашка крутых склонов земледельческой зоны Сибири привела к тому, что здесь в настоящее время около 15 млн га эрозионно опасных земель, причем почти 9 млн га подвержены в различной степени смыву и дефляции. Плоскостной смыв наблюдается уже на склонах крутизной 1,5 - 2° (Соболев, 1948; Сурмач, 1954). В Кемеровской области, например, около 30% пахотных почв распространены на склонах круче 3° и являются, следовательно, эрозионно опасными (Танасиенко, 1992), а в Алтайском крае примерно 10% пашни расположено на склонах более 6° (Орлов, 1983). Почвы на склонах такой крутизны подвергаются очень сильному плоскостному смыву, а эрозия здесь принимает катастрофические размеры.

Несмотря на относительную недавность сельскохозяйственного освоения земель, процессы водной эрозии стали проявляться на некоторых массивах весьма интенсивно. При освоении новых земель в Западной и Восточной Сибири распахивались склоны крутизной 8 - 10° (5% от площади пашни), а в предгорьях - даже 15 - 20°. Так, при подъеме целинных и залежных земель за 1954 г. в Алтайском крае распашано 87,3 тыс. га, Кемеровской области - 2,5, Новосибирской - 18,4 тыс. га. За 1954 - 1957 гг. только в Западной Сибири было освоено около 6 млн га, из них в Алтайском крае 2,9, Новосибирской области - 1,43, Омской - 1,2 млн га (Ковалев, 1957). Существенную территорию распашали в эти годы и в Восточной Сибири. В Бурятии в период освоения новых земель было распашано 315 тыс. га целинных и залежных земель (Ангархаев, 1977), а в Хакасии - 463 тыс. га (Танзыбаев, 1974).

В Сибири практически отсутствуют посевы озимых культур, сдерживающие смыв склоновых почв. В структуре посевных площадей около 70% занимают зерновые культуры и только 13% - многолетние травы (Сельское..., 1971). Замена естественных травяных формаций посевами, в основном однолетних культур, привела не только к снижению интенсивности гумусонакопления, но и к увеличению поверхностного стока



талых, ливневых, ирригационных вод и смыву почвы. Наибольший смыв почвы наблюдается на посевах пропашных культур. С посевов кукурузы твердый сток в 60 - 300 раз больше, чем под многолетними травами или сомкнутой естественной растительностью и в 10 раз больше по сравнению с озимой пшеницей (Беннет, 1958; Конке, Бертран, 1962; Луца, 1963).

Таким образом, сильное антропогенное воздействие на пахотно-пригодные почвы, снижение залесенности территории создают в земледельческой зоне Западной и Восточной Сибири предпосылки для инициирования эрозионных процессов, ухудшения качества пашни, ограничения роста продуктивности сельскохозяйственных культур. Эрозионные процессы в регионе наблюдаются на почвах лишь тех территорий, которые характеризуются высоким горизонтальным расчленением. Поэтому в целом степень эрозионного разрушения пахотно-пригодных почв Сибири за сравнительно короткое время использования их в пашне, естественно, оказалось ниже, чем, например, пахотных почв Среднерусской возвышенности. Если в районах европейской части России на распаханых склонах уже хорошо выражено полосное распределение почв разной степени эродированности (в верхней части склона слабо-, в средней - средне- и в нижней - сильноэродированные), то на пахотных склонах Западной и Восточной Сибири преобладают слабосмытые варианты почв, среднесмытые встречаются лишь вдоль ложбин стока, а сильносмытые - фрагментарно. Естественно предположить, что продукты твердого стока аккумулируются в отрицательных формах рельефа и подножий склона, формируя намытые почвы. Подобные элементарные почвенные ареалы имеют настолько малую площадь, что не могут быть представлены отдельными выделами на современных почвенных картах. Однако их доля среди эродированных почв достигает 1,5 - 2%.

Можно полагать, что за период после освоения целинных и залежных земель, когда использование почв осуществлялось без соблюдения защитных противозерозионных мер, все пахотные земли, склонные к эрозионному разрушению, оказались подверженными ускоренной денудации. Поэтому, оценивая деградацию почвенного покрова Сибири при денудации, следует учитывать не только среднюю или сильную степень эрозионного разрушения почв, как это рекомендуется, но и слабоэродированные почвы, поскольку преобладание в составе пахотных угодий слабосмытых почв - дело времени, а не показатель интенсивности эрозионных процессов.

Первое упоминание об эродированных почвах региона, их морфологии и свойствах, мерах борьбы с эрозией мы находим в работах С.С. Соболева с И.Б. Садовниковым (1955), Г.А. Пресняковой (1957). Были составлены почвенно-эрозионные карты на отдельные районы юго-востока Западной Сибири (Орлов, 1971; Каштанов, 1974). В географическом плане распространение почворазрушающих процессов (эрозии и дефляции почв) относительно хорошо изучено лишь в Западной Сибири (Орлов, 1971; 1983; Градобоев, 1974; Рейнгард, 1975; Мусохранов, 1983; Хмелев, Танасиенко, 1983; Танасиенко, 1992; Ковалева, 1992). В Восточной Сибири в эрозионном отношении лучше всего изучена территория Бурятии (Намжилов, 1974; 1983; 1984; Намжилов и др., 1989; Иванов, 1975; Реймхе,

1986; Корсунов, Цыбжитов, 1989), Тывы (Назын-Оол и др., 1974; Назын-Оол и др., 1977) и Хакасии (Танзыбаев, 1974; Бекетов, Ильин, 1977). Эрозия почв в Иркутской, Читинской областях и Красноярском крае практически не изучена. Поэтому судить о распространении эрозии и дефляции в Сибири можно лишь на примере западной ее части.

Почворазрушающие процессы на территории Западной Сибири проявляются зонально. В северных районах земледельческой зоны, где территория характеризуется пологоувалистым рельефом, смыв пахотных почв практически отсутствует несмотря на их пониженную эрозионную стойкость. Сильный поверхностный смыв почв отмечается только фрагментарно на отдельных склонах, но в общем доля смытых почв невелика. Однако освоение новых земель под пашню в Западной Сибири возможно только в северных, таежных районах (Ковалев, Волковинцер, Гаджиев, 1974), поэтому сильное проявление здесь локального смыва почв необходимо особо учитывать. Юго-западнее этой территории почвенный покров слабо поражен эрозией и дефляцией. Это практически северо-восточная и восточная части Колывань-Томской возвышенности. Здесь почворазрушающими процессами охвачено около 10% пашни, причем эрозионные процессы преобладают. Это в основном районы южной тайги и лесостепи, где эрозионные процессы проявляются на придолинных склонах, а развитию дефляции препятствует сравнительно высокая ветроустойчивость почв и отсутствие больших массивов пахотных земель, на которых мог бы проявиться лавинно-ветровой эффект. В пределах Колывань-Томской возвышенности процессы смыва проявляются на ограниченной площади - только на склонах балок и речной сети.

Пахотные почвы юго- и северо-восточных районов Западной Сибири относятся к слабо пораженным эрозией. Геоморфологически это в основном северная оконечность Приобского плато. Несмотря на относительно высокую расчлененность территории, но благодаря хорошей эрозионной стойкости развитых здесь почв (темно-серых лесных, оподзоленных и выщелоченных черноземов), эрозионными процессами охвачено лишь около 3% пашни.

На юго-западе и юге Западной Сибири вычленяются территории, в которых дефляционные процессы преобладают над эрозионными. Сюда входят северная и восточная оконечности Карасукской равнины, центральная и южная часть Приобья. Это территории с преимущественным распространением обыкновенных и южных, солонцеватых и карбонатных черноземов легко- и среднесуглинистого гранулометрического состава. Большая часть территории (более 50%), наряду со значительным количеством дней с ветрами большой скорости, сравнительно небольшим атмосферным увлажнением и низкой дефляционной стойкостью пахотных почв создает предпосылки для преимущественного развития процессов дефляции.

Юго-восточная часть Западной Сибири, характеризующаяся расчлененностью территории и большим атмосферным увлажнением, отличается значительным распространением смыва пахотных почв. На северо-востоке территории вычленяется район, где почвы пашни в средней и сильной степени поражены эрозией. В геоморфологическом отношении

это юг Колывань-Томской возвышенности, Присалаирская дренированная равнина и предгорья Алтая. Высокая расчлененность поверхности и значительная распаханность земель (около 50%), наличие в основном длинных пологих и покатых склонов способствовали смыву пахотных почв (темно-серых лесных и черноземов) на 20 - 25% площади пашни вследствие стока преимущественно талых вод.

В Кузнецкой котловине наблюдается совместное проявление на пашне эрозии и дефляции. Лишь в предгорной части Кузнецкого Алатау наиболее интенсивен поверхностный смыв, а в центральной, наиболее остепненной части котловины, преобладает дефляция. Эрозионные процессы обусловлены поверхностным стоком снеготалых вод, формирующихся при радиационном типе снеготаяния. Смыв пахотных почв в котловине наблюдается и при выпадении ливней высокой интенсивности и суточных норм.

В целом эрозионными процессами охвачена та территория земледельческой зоны Западной Сибири, которая и более расчленена, и более увлажнена, тогда как в степной части этой зоны, менее увлажненной, дефляция пахотных почв проявляется интенсивно.

При сравнительно небольшой продолжительности антропогенной нагрузки на почвенный покров Сибири степень его пораженности почворазрушающими процессами в целом по региону и по России примерно одинакова. Если на территории России эродированные почвы в среднем составляют 34% от площади пашни, то в Сибири - 33%. Однако в составе смытых почв Сибири доля среднесмытых сравнительно невелика и почти отсутствуют сильносмытые (табл. 1.2).

Таким образом, наиболее подвержены эрозии и дефляции почвы Алтайского края - в среднем 45% от площади пашни. Менее всего (около 12%) пахотных почв смыто и дефлировано в Новосибирской области. Это объясняется тем, что основная земледельческая часть области расположена на равнинной территории (где объемы поверхностного стока разных по генезису вод минимальны), а в почвенном покрове преобладают тяжело- и среднесуглинистые разновидности черноземов с хорошей эрозионной стойкостью.

Т а б л и ц а 1.2

Распространение эродированных и дефлированных почв в некоторых  
регионах Сибири, тыс. га

Край, республика, область	Пашня	Почвы			Всего разрушено почв	
		эродирован- ные	дефлирован- ные	совместно разрушены	тыс. га	% от пашни
Алтайский	7274,7	1099,9	2364,5	Нет	3464,4	47
Горный Алтай	145,9	86,2	2,4	-"	88,6	61
Кемеровская	1613,0	144,8	173,6	74,6	393,0	25
Новосибирска я	3865,4	247,0	251,6	22,0	520,6	13
Омская	4453,5	212,9	1294,6	254,0	1761,5	40
Томская	667,0	6,3	Нет	Нет	6,3	1
Тюменская	1740,0	Нет	-"	-"	Нет	-
Бурятия	1018,0	272,0	308,0	250,0	830,0	81
Тыва	506,0	15,6	184,6	Нет	200,2	40
Хакасия	732,0	373,3	251,0	-"	624,3	85
Читинская	2256,0	185,6	1024,4	-"	1210,0	54
<b>Всего:</b>	24271,5	2643,6	5854,7	600,6	9098,9	37

## Глава 2. СПЕЦИФИКА ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В СИБИРИ

На пахотных землях Сибири широко распространена эрозия почв. Ее развитию способствуют прежде всего естественноисторические условия территории: изрезанный холмисто-увалистый рельеф; неравномерное распределение осадков в течение года с максимумом их выпадения во второй половине лета, преимущественно в виде ливней; сильное и глубокое промерзание почв в зимний период, препятствующее инфильтрации талых вод. Следовательно, смыв почв обусловлен рядом специфических особенностей, важнейшими из которых выступает климат, в частности осадки.

К основным факторам, без которых невозможна эрозия почв, В.В. Докучаев (1883) относил рыхлость поверхностных горных пород и большую глубину речных долин, обусловившую низкое положение местных базисов эрозии. Но, как известно, для превращения возможности в действительность необходимо еще одно условие - наличие свободно стекающих потоков воды, обладающих достаточной кинетической энергией для разрушения почвенного покрова склона и переноса продуктов разрушения вниз по склону. Следовательно, важнейшими показателями, определяющими эрозионную роль климата, являются атмосферные осадки. Но не все климатические показатели в равной степени влияют на интенсивность эрозионных процессов. Важнейшие из них: количество годовых осадков, режим их выпадения.

Количество осадков, выпадающих в какой-либо местности, по мнению А.А. Роде (1978), характеризуется значительной изменчивостью во времени и носит ритмичный характер. Следовательно, годовое количество осадков дает общее представление об увлажнении территории и свидетельствует о том, что чем больше атмосферных осадков, тем сильнее проявляется эрозия. Однако, как полагает Н. Гудзон (1974), корреляция между количеством осадков и интенсивностью эрозионных процессов незначительна, поскольку одно и то же количество осадков может вызвать разную степень проявления эрозии. Зная ритмичность в выпадении осадков, вероятно, можно прогнозировать ежегодный смыв от стока талых, ливневых вод, а также принять конкретные меры по предотвращению эрозионных процессов либо сведению эрозионных потерь почвы до допустимого уровня.

Количество продуктов талого стока контролируется интенсивностью снеготаяния, глубиной оттаивания почвы и экспозицией склона. Снеготаяние на склоне южной экспозиции длится в течение 5 - 7, максимум 12 дней. Сток талых вод проходит по переувлажненной, не защищенной

растительностью почвы; водоотдача из снега крайне низка и в фазу интенсивного стока достигает 0,15 мм/мин-га. Ливневые дожди характеризуются на порядок большей интенсивностью и сопровождаются большей величиной смыва твердой фазы почвы. Человек прямо или косвенно влияет на проявление эрозионных процессов. Орошение, в основном черноземов, приводит к возникновению ирригационной эрозии. Учитывая генезис временных водных потоков, вызывающих эрозию, представляется необходимым рассмотреть условия формирования поверхностного стока на пахотных почвах склонов весной за счет снеготаяния и летом - за счет ливней и орошения.

## 2.1. Снеготалые воды

Специфической особенностью Западной и Восточной Сибири является ежегодное формирование устойчивого снежного покрова, который, в зависимости от цикличности выпадения осадков, в очень малоснежные зимы варьирует от 56 до 75 мм, а в годы с высоким количеством твердых осадков (очень многоснежные зимы) - до 180 - 220 мм (табл. 2.1).

Развитие эрозионных процессов, инициируемых тальми водами, обусловлено рядом факторов и условий, важнейшие из которых климатические. Многие исследователи-эрозиоведы (Лысак, 1957; Клейнерман, 1963; Сильвестров, 1970; Брауде, 1976; Иванов, 1979; Чуян и др., 1984; Zuzel et al., 1982) отмечали, что на формирование поверхностного стока талых вод существенно влияют, при наличии надлежащего уклона местности и достаточного запаса воды в снеге, экспозиция склонов. Немаловажное значение имеет и тип погоды в период снеготаяния. В различных геоморфологических районах Сибири этот тип колеблется от радиационного до адвективного, переходя через радиационно-адвективный и адвективно-радиационный. Однако при любом из названных четырех типов погоды в период снеготаяния сток талых вод наблюдается лишь при сочетании определенных условий. К данным условиям следует отнести высокую активность весенних процессов (быструю смену низких отрицательных ночных температур воздуха на высокие положительные в течение дня, характерную третьей декаде марта и первой апреля), что также является одной из специфических особенностей сибирского снеготаяния.

Нашими исследованиями (Орлов, 1971; 1977; Орлов, Путилин, 1978; Орлов и др., 1988; Путилин, 1988; Ковалева, 1992; Танасиенко, 1992) установлено, что снегозапасы с содержанием 40 мм воды при любом типе погоды, несмотря на высокую активность весенних процессов, дают поверхностный сток талых вод, но не приводят к смыву твердой фазы почвы. Другими словами, при запасах воды в снеге около 40 мм мы вправе ожидать лишь миграцию растворенных химических элементов, и степень экологической опасности в такие годы минимальна. Снегозапасы в интервале 40 - 60 мм вызывают смыв почвы, но этот смыв не превышает интенсивности почвообразования (Бельгибаев, Долгилевич, 1970), является экологически безопасным и не бывает более 2 т/га. Существенный смыв

твердой фазы почвы (2 - 20 т/га) проявляется лишь при значительных водозапасах в снеге (более 60 мм).

Т а б л и ц а 2.1

Осадки холодного (XI-Ш) периода в различные по увлажнению гидрологические годы (Справочник, 1969; Гидрологический., 1967 - 1973 гг. Метеорологический., 1976 - 1990 гг.)

Годы	Статистические параметры				
	n	lim, мм	M ± m, мм	б	V, %
<b>Присалаирье, м/с Тогуцин (1951 - 1988 гг.)</b>					
Очень малоснежные	5	61 - 72	66 ± 5	4,6	7
Малоснежные	8	81 - 90	85 ± 1	3,6	4
Нормальные	7	98 - 105	101 ± 1	3,0	3
Многоснежные	7	108 - 119	114 ± 2	4,6	4
Очень многоснежные	9	122 - 170	142 ± 6	17,5	12
<b>Приобье, м/с Ордынское (1951 - 1990 гг.)</b>					
Очень малоснежные	5	58 - 70	65 ± 2	4,4	7
Малоснежные	5	78 - 90	84 ± 2	5,2	4
Нормальные	5	95 - 105	100 ± 2	3,8	4
Многоснежные	5	106 - 118	113 ± 2	5,6	5
Очень многоснежные	6	131 - 159	139 ± 4	10,5	8
<b>Кузнецкая котловина, м/с Кемерово, агро (1948 - 1988 гг.)</b>					
Очень малоснежные	7	56 - 75	68 ± 3	8,4	12
Малоснежные	6	77 - 90	81 ± 2	5,4	7
Нормальные	7	93 - 105	99 ± 2	5,4	6
Многоснежные	7	106 - 117	113 ± 2	4,1	4
Очень многоснежные	7	121 - 153	131 ± 4	11,3	8
<b>Бие-Чумышская возвышенность, м/с Бийск-Зональная (1934 - 1988 гг.)</b>					
Очень малоснежные	5	63 - 71	67 ± 2	3,3	5
Малоснежные	3	77 - 85	81 ± 2	4,0	5
Нормальные	4	87 - 97	93 ± 3	2,2	5
Многоснежные	8	101 - 111	106 ± 1	2,9	3
Очень многоснежные	33	122 - 323	184 ± 9	53,0	29

На величину ежегодных потерь почвы при снеготаянии большое влияние оказывает запас холода в почвенном профиле. Об этом запасе упоминают многие эрозиоведы, но никто из них не дает конкретного определения запаса холода и метода расчета этого тела. Мы попытались рассчитать запасы холода в профиле почвы в различных регионах Западной Сибири - Присалаирье, Приобье, Кузнецкой котловине и Бие-Чумышской возвышенности.

Запасы холода, по нашим представлениям - это сумма отрицательных температур в толще 20 - 160 см на фиксированных глубинах. Поскольку мы не располагаем собственными данными о температуре профиля почвы во всех регионах, мы воспользовались данными Гидрометеослужбы (Гидрологический..., 1967 - 1979; Метеорологический..., 1976 - 1990).

Расчеты показывают, что в очень малоснежные зимы, когда выпадает не более 75 мм твердых осадков, запасы холода в профиле темно-серых лесных почв Бие-Чумышской возвышенности и черноземов выщелоченных Кузнецкой котловины варьируют в пределах  $-2100... -3400^{\circ}\text{C}$ , а в Приобье, где широко распространены черноземы обыкновенные, эти запасы существенно отличаются от двух названных регионов (табл. 2.2). В Приобье пределы колебаний в запасах холода достигают  $2100^{\circ}\text{C}$ , в то время как в профиле почв, распространенных на Бие-Чумышской возвышенности и в Кузнецкой котловине -  $-1300^{\circ}\text{C}$ . Необходимо также отметить, что в Приобье не только большая амплитуда в запасах холода, но и значительные расхождения в средних его показателях (на  $-400... -500^{\circ}\text{C}$ ) в сравнении с остальными регионами.

Столь существенные запасы холода в Приобье можно объяснить, вероятно, тем, что данная территория находится на границе перехода лесостепи в степь. Поэтому здесь наблюдается низкая облесенность и усиленный ветровой режим, что сказывается на мощности снежного покрова.

В малоснежные зимы, когда во всех регионах Западной Сибири выпадает в среднем 80 - 85 мм осадков и снег препятствует проникновению холода в глубь почвы, запасы холода в ней на Бие-Чумышской возвышенности на  $-950^{\circ}\text{C}$ , в Кузнецкой котловине - на  $-850^{\circ}\text{C}$ , а в Приобье - на  $-1300^{\circ}\text{C}$  меньше, чем в очень малоснежные зимы.

Нормальному по количеству твердых осадков холодному периоду гидрологического года характерны относительно небольшие и практически равные во всех регионах Западной Сибири запасы холода в профиле почв, варьирующие в пределах  $-1230... -1280^{\circ}\text{C}$ .

Высокое количество твердых осадков (106 - 120 мм по запасам воды в снеге) в многоснежные зимы положительно сказывается на запасах холода в профиле темно-серых и черноземных почв. Эти запасы минимальны в черноземах Кузнецкой котловины и максимальны - в почвах Приобья.

Бие-Чумышской возвышенности свойственны высокие снегозапасы, на 40 - 50 мм превышающие среднемноголетние величины в Присалаирье, Приобье и Кузнецкой котловине. Такой значительный снежный покров в очень многоснежные зимы привел к тому, что запасы холода в профиле



почв Бие-Чумышской возвышенности оказались ничтожными ( $-135^{\circ}\text{C}$ ), что в 1,5 - 2 раза меньше, чем в остальных регионах Западной Сибири.

Необходимо отметить также, что в очень многоснежные (выдающиеся) зимы при чрезвычайно высоких снегозапасах (более 200 мм воды в снеге) профиль почвы остается в талом состоянии. Такая зима наблюдалась, к примеру, в 1983 г.

Т а б л и ц а 2.2

Запасы холода в профиле почв (20 - 160 см) в различные по снегозапасам гидрологические годы

Годы	Статистические параметры				
	n	lim, мм	$M \pm m$ , мм	$\bar{b}$	V, %
<b>Присалаирье, черноземы оподзоленные, м/с Посевная (1961 - 1990 гг.)</b>					
Многоснежные	7	-534...-720	$-648 \pm 27$	70	11
Очень многоснежные	7	-24...-431	$-247 \pm 60$	159	64
<b>Приобье, черноземы обыкновенные, м/с Огурцово (1931 - 1990)</b>					
Очень малоснежные	22	-2400...-4512	$-3070 \pm 144$	687	22
Малоснежные	8	-1506...-1932	$-1756 \pm 37$	144	8
Нормальные	10	-1003...-1437	$-1227 \pm 53$	169	14
Многоснежные	5	-582...-959	$-812 \pm 40$	89	11
Очень многоснежные	6	-168...-461	$-332 \pm 56$	139	41
<b>Кузнецкая котловина, черноземы выщелоченные, м/с Кемерово, агро (1951 - 1990 гг.)</b>					
Очень малоснежные	6	-2052...-3394	$-2550 \pm 215$	528	20
Малоснежные	3	-1665...-1736	$-1693 \pm 22$	38	2
Нормальные	5	-1063...-1455	$-1250 \pm 68$	152	12
Многоснежные	9	-503...-944	$-713 \pm 54$	163	23
Очень многоснежные	15	-41...-446	$-203 \pm 37$	144	7
<b>Бие-Чумышская возвышенность, темно-серые лесные почвы, м/с Бийск-Зональная (1951-1990 гг.)</b>					
Очень малоснежные	5	-2104...-3447	$-2666 \pm 237$	532	20
Малоснежные		-1513...-1900	$-1713 \pm 63$	142	8
Нормальные		-1017...-1497	$-1279 \pm 69$	169	13
Многоснежные		-561...-965	$-774 \pm 42$	159	21
Очень многоснежные		-39...-250	$-134 \pm 29$	79	58

С запасом холода тесно связаны объем и интенсивность стока талых вод. Нашими исследованиями выявлена следующая закономерность: чем больше запасы холода в профиле почв, тем меньше объем и интенсивность жидкого стока. Как было уже отмечено, при запасах холода, превышающих  $-3000^{\circ}\text{C}$ , и водозапасах в снеге до 40 мм сток талых вод практически отсутствует (0 - 10 мм). В малоснежные гидрологические годы с ростом снегозапасов и снижением запасов холода объем стока талых вод увеличивается до 40 - 46 мм при коэффициенте стока 0,50 - 0,55.

Период снеготаяния в Западной Сибири характеризуется высокой интенсивностью весенних процессов, о чем впервые было упомянуто в работах А.Д. Орлова (1971; 1983). Под этим подразумевается быстрое нарастание положительных температур воздуха в течение первой половины дня в третьей декаде марта и первой - апреля (табл. 2.3). Так, в зоне распространения черноземов оподзоленных (Присалаирье) температура воздуха варьирует от  $-4^{\circ}\text{C}$  утром до  $+9^{\circ}\text{C}$  в 13 часов дня. Такой широкий размах колебаний температуры воздуха присущ только Присалаирью, хотя этому региону свойственен преимущественно радиационно-адвективный тип погоды. Последнее обстоятельство положительно сказывается на величине поверхностного стока талых вод и массе смытой почвы. В малоснежные гидрологические годы здесь смывается меньше всего почвенного материала (1,4 т/га ежегодно), в то время как на Бие-Чумышской возвышенности при том же объеме и коэффициенте стока смыв почв достигает 4,0 т/га. Столь существенный смыв твердой фазы почвы на склоновых массивах Бие-Чумышской возвышенности обусловлен различиями в эрозионной стойкости почв: в Присалаирье распространены среднегумусные и тучные черноземы оподзоленные с высокой емкостью катионного обмена, на Бие-Чумышской возвышенности - темно-серые лесные почвы с низким содержанием гумуса и поглощенных катионов.

В нормальные по количеству твердых осадков гидрологические годы и запаса холода почти в 2 раза меньших, чем в очень малоснежные зимы, и при самой низкой отрицательной температуре воздуха в третьей декаде марта амплитуда температур воздуха в первой декаде апреля в Присалаирье достигает  $10^{\circ}\text{C}$ ; Кузнецкую котловину, где в основном сосредоточены черноземы выщелоченные, следует классифицировать как более реактивный регион, поскольку амплитуда температур воздуха в дневные часы в первой декаде апреля равна  $15^{\circ}\text{C}$ . Эту высокую активность весенних процессов в Кузнецкой котловине, как и в Приобье, следует объяснять радиационным типом погоды. В итоге в нормальные по количеству твердых осадков гидрологические годы величина смыва твердой фазы черноземов обусловлена не столько эрозионной стойкостью почвы, сколько интенсивностью весенних процессов. Поскольку в Приобье эта активность несколько выше, чем в Кузнецкой котловине, смыв твердой фазы черноземов обыкновенных среднегумусных среднесуглинистых Приобья на 1,0 т/га в такие годы выше, чем в Кузнецкой котловине. В Присалаирье весенний смыв черноземов оподзоленных еще больше, чем приобских черноземов, но на повышенный смыв первых существенно влияют щелочные выбросы Чернореченского цементного завода.

Активность весенних процессов в многоснежные зимы очень высока во всех регионах Западной Сибири. Амплитуда температур воздуха в первой половине дня первой декады апреля достигает 12...-17°C. Это и понятно, поскольку необходимо в относительно короткий срок (10 - 12 дней) растопить 106 - 120 мм запасенной в снеге воды, а для такой работы требуется большое количество солнечной энергии. В многоснежные гидрологические годы запас холода в профиле почв сравнительно низок -500... -960°C. Почвы промерзают не очень глубоко (40 - 60 см).

Т а б л и ц а 2.3

Температура воздуха перед и во время снеготаяния в различных гидрологические годы (Справочник ..., 1969; Гидрологический..., 1968 - 1990; Метеорологический..., 1976 - 1990, lim, °C)

Годы	n	Март (III декада)		Апрель (I декада)	
		7 часов	13 часов	7 часов	13 часов
<b>Присалаирье, чернозем оподзоленный, м/с Тогучин (1951 - 1976 гг.)</b>					
Очень малоснежные	5	-3,1...-9,0	-3,6 ± 4	-7,6 ± 1,2	1,4 - 8,5
Малоснежные	8	-4,2...-14,7	-8,4 ± 2,4	-0,1...-4,1	1,6 - 9,4
Нормальные	4	-7,9...-20,2	-1,2...-7,3	-1,9...-3,8	1,7 - 6,3
Многоснежные	4	-3,4...-9,8	-4,0 ± 5,0	-7,7 ± 0,3	1,4 - 9,7
Очень многоснежные	5	-2,5...-18,8	-8,6 ± 3,8	-1,3...-4,4	2,2 - 6,9
<b>Кузнецкая котловина, чернозем выщелоченный, м/с Кемерово, агро (1950 - 1990 гг.)</b>					
Очень малоснежные	16	-2,3...-18,4	-8,2 ± 4,5	-4,9 ± 0,3	-1,9 ± 10,8
Малоснежные	5	-6,6...-12,0	-6,5 ± 2,3	-1,6...-4,2	1,4 - 2,7
Нормальные	7	-6,5...-8,7	-1,8...-2,6	-0,7...-5,1	1,8 - 10,1
Многоснежные	5	-3,5...-19,0	-8,6 ± 0,7	-1,1...-8,4	0,3 - 5,8
Очень многоснежные	4	-5,0...-9,2	-1,3 ± 1,7	-0,5...-7,0	1,6 - 7,0
<b>Бие-Чумышская возвышенность, темно-серые лесные почвы, м/с Бийск-Зональная (1950 - 1975 гг.)</b>					
Нормальные	2	-4,9...-14,0	-5,4 ± 1,0	-0,7 ± 0,6	3,3 - 6,6
Многоснежные	3	-3,5...-11,5	-3,8 ± 1,7	-1,4...-7,4	-2,1 ± 4,7
Очень многоснежные	20	-0,4...-19,4	-8,1 ± 3,3	-9,8 ± 1,9	0,1 - 10,2

В период снеготаяния (первая декада апреля) даже на фоне высокой активности весенних процессов ночью бывают морозы до -8°C, что

стимулирует формирование ледяной прослойки на границе мерзлого и талого слоя. Днем талые воды не способны проникнуть в глубь почвенного профиля, формируют микроруслу стока и выносят значительную часть деагрегированного почвенного материала. Поэтому смыв почв в многоснежные гидрологические годы в 1,5 - 2 раза больший, чем в нормальные.

В очень многоснежные гидрологические годы, больше характерные Бие-Чумышской возвышенности и отчасти Присалаирью, в то время как в Кузнецкой котловине и Приобье они встречаются не чаще, чем другие по снежности зимы, запас воды в снеге колеблется от 120 до 320 мм. Для того, чтобы перевести такое огромное количество запасенной в снеге воды в жидкое состояние, причем в ограниченный отрезок времени, требуется весьма существенное поступление солнечной энергии. Не случайно активность весенних процессов в такие годы максимальна. Амплитуда температур воздуха в первой половине дня в начале апреля достигает 14... 20°C. Вместе с тем следует отметить, что ночью температура воздуха опускается до -10°C. Небольшие запасы холода -40...-460°C обуславливают минимальное (до 40 см) промерзание почвы. Поэтому разморозание последней происходит уже к концу снеготаяния, что положительно сказывается на величине смыва почвенного материала.

Полное оттаивание профиля почвы весной после малоснежных гидрологических лет, например, заканчивается ко второй декаде мая, хотя в отдельные годы в начале июня можно наблюдать на глубине 120 - 140 см замерзший слой с температурой -0,5...-1,0°C). В нормальные годы почвенный профиль оттаивает к началу мая. Раннее оттаивание почвенного профиля после очень многоснежных зим должно стимулировать высокую впитывающую способность и инфильтрацию талой воды. В таком случае сток талых вод должен отсутствовать либо быть минимальным. Однако существенно низкие ночные температуры воздуха (до -10°C) приводят к замерзанию верхней части (5 - 7 см) пахотного слоя склоновых почв и образованию на поверхности почвы ледяной корки. Благодаря высокой интенсивности весенних процессов в первой половине дня поверхность пахотного слоя вновь быстро оттаивает, разжижается, теряет связность, приобретает свойства текучести, а большая масса стекающих с верхней части склона талых вод, где запасы снега наибольшие, обуславливает максимальный, в сравнении с менее снежными зимами, смыв твердой фазы почвы - 8 - 15 т/га.

Следует отметить, что в особо выдающиеся гидрологические годы, например в 1983 г., почвенный профиль зимой остается в талом состоянии. Запасы воды в снеге в такие годы также бывают максимальными. Можно предположить, что при высокой активности весенних процессов, наступающих после многоснежных зим, величина и интенсивность поверхностного стока будут превышать впитывающую и инфильтрационную способность склоновых почв. В итоге это должно привести к громадному смыву твердой фазы почвы. Но в действительности такого хода снеготаяния мы не наблюдаем. В выдающиеся гидрологические годы весной при талом почвенном покрове и в 3 раза большем снежном

покрове, в сравнении с очень малоснежными гидрологическими годами, активность весенних процессов минимальна, снеготаяние растягивается на 25 - 30 дней (вместо 5 - 12), поверхностный сток талых вод ничтожен, поскольку вся вода практически полностью впитывается талым почвенным покровом.

Полученные нами данные за период с 1969 по 1997 гг. свидетельствуют о том, что величина поверхностного стока талых вод и смыв твердой фазы склоновых земель тем больше, чем значительнее снеготаяние и меньше холода проникло в профиль почв (табл. 2.4). Так, вне зависимости от генетического типа почв, объем поверхностного стока талых вод в очень малоснежные гидрологические годы варьирует от 0 до 33 мм, а смыв твердой фазы почвы эквивалентен величине почвообразования.

Малая величина стока талых вод объясняется тем, что часть снежного покрова сублимировалась под действием высоких весенних процессов, часть талых вод поглотилась почвами и лишь незначительное количество талых вод сформировало минимальный поверхностный сток. Другими словами, в очень малоснежные гидрологические годы смыв почв и количество новообразованного почвенного профиля равнозначны. Весной в малоснежные зимы стекает примерно 30 мм талых вод, которые приводят к смыву около 2 т/га почвенной массы. В нормальные гидрологические годы сток талых вод достигает 40 мм, а смыв ими твердой фазы почвы - более 3 т/га. Существенный поверхностный сток наблюдается в многоснежные и очень многоснежные гидрологические годы - около 100 мм; при этом смывается почти 10 т/га наиболее ценной, обогащенной гумусом, обменными основаниями и элементами питания растений почвенной массы.

Необходимо отметить также, и это является одной из специфических особенностей снеготаяния в Сибири, очень высокую водоотдачу из снега. Экстремумы стока достигают 730 - 760 л/(мин-га), а в отдельные, очень теплые дни - 1000 л/(мин-га) (Хмелев, Танасиенко, 1983; Орлов и др., 1988). В такие дни общий сток составляет 16 - 26 мм и за 2 - 3 дня почти половина всего стока скатывается по поверхности склона, вызывая громадный смыв твердой фазы почвы. Следует подчеркнуть, что такой интенсивности сток снеготалых вод в европейской части России не отмечается.

Таким образом, размеры эрозии почвы и выноса из нее минеральных и органических веществ в период снеготаяния определяются многими взаимосвязанными причинами: объемом и интенсивностью поверхностного стока талых вод, обуславливаемыми особенностями распределения снега, запасами холода в почвенном профиле, запасами в нем воды и характером его таяния в зависимости от строения поверхности, уровня поступления солнечной радиации, а также способностью почв поглощать снеготалую воду. Важное значение имеет и оценка содержащихся в стоке снеготалых вод растворенных соединений как необходимый прием контроля за изменениями качественного состояния почв и выяснения перераспределения веществ в пределах водосборной территории.

Т а б л и ц а 2.4

Характеристика стока талых вод по отвалной зяби на слабосмытых почвах Западной Сибири в различные гидрологические годы

Годы	Запас воды в снеге, мм	Объем стока, мм	$K_{ст}$	Масса смытой почвы, т/га
<b>Чернозем оподзоленный. Присалаирье</b>				
Очень малоснежные	66	0	0	0
Малоснежные	85	26	0,3	1,8
Нормальные	101	60	0,6	5,3
Многоснежные	114	74	0,65	12,4
Очень многоснежные	142	113	0,91	15,8
<b>Чернозем выщелоченный. Кузнецкая котловина</b>				
Очень малоснежные	68	0	0	0
Малоснежные	81	44	0,54	1,4
Нормальные	99	59	0,59	3,9
Многоснежные	113	79	0,70	4,8
Очень многоснежные	234	152	0,65	9,0
<b>Чернозем обыкновенный. Приобье</b>				
Очень малоснежные	67	24	0,36	0,6
Малоснежные	82	40	0,49	1,9
Нормальные	100	50	0,50	4,9
Многоснежные	115	69	0,60	10,2
Очень многоснежные	136	73	0,54	12,8
<b>Темно-серая лесная. Присалаирье</b>				
Очень малоснежные	66	8	0,12	0,6
Малоснежные	85	22	0,26	2,2
Нормальные	101	72	0,71	3,7
Многоснежные	114	82	0,72	4,6
Очень многоснежные	142	99	0,70	5,5

## 2.2. Ливневые воды

Среди эрозиоведов нет единого мнения в том, какие из осадков - твердые или жидкие - являются ведущими в разрушении почвенного покрова склонов страны. Большинство исследователей едины во мнении, что приоритет следует отдать твердым осадкам. Ведь холодный период в Сибири приближается почти к полугодовому сроку, в течение которого накапливается около 1/3 годового количества осадков. Немаловажна и высокая интенсивность весенних процессов. Однако в лесостепной зоне Сибири довольно часты дожди ливневого характера, преимущественно во влажные годы, повторяющиеся через 5 - 6 лет. Сумма жидких осадков в очень влажные годы превышает 500 мм для черноземов лесостепи и 450 мм - северной степи, а в очень засушливые годы она снижается соответственно до 250 и 200 мм (табл. 2.5).

Процесс смыва почвы, вызываемый ливневыми осадками, существенно отличается от смыва талыми водами. В теплый период года поверхностный сток "работает" не по разжиженной, как во время снеготаяния, а лишь по увлажненной поверхности склона; малую роль играет экспозиция, но очень большое значение приобретают крутизна склона и почвозащитная способность растений.

Эрозия почв, как известно, зависит прежде всего от количества осадков, которое позволяет судить лишь о потенциальной способности почв к смыву, поскольку увеличение объема осадков не всегда сопровождается ростом стока и эрозионных процессов. Как полагает М.И. Львович (1974), происхождение и размер стока жидких осадков связаны двумя основными факторами: интенсивностью дождей и инфильтрационной способностью почвы, их взаимосвязью. Когда первая меньше второй, вся вода впитывается в почву и поверхностного стока не образуется, если же наоборот - формируется поверхностный сток. А.Д. Орловым и А.Ф. Путилиным (1980) показано, что примерно 50% всех жидких осадков, проливающих над территорией Западной Сибири, носят ливневый характер. Необходимо отметить, что объем поверхностного стока при единичных ливнях значительно меньший, чем при стоке талых вод (ср. табл. 2.5 и 2.6). Но, как известно, редко когда при влажном или очень влажном теплом периоде года ливни носят единичный характер. Обычно в такие годы выпадает 3 - 4 ливня, как это наблюдалось, например, в 1969 г. (табл. 2.6), когда за 5 ливней выпало около 136 мм или 1/3 всех жидких осадков.

Т а б л и ц а 2.5

Осадки теплого (IV - X) периода в различные по увлажнению гидрологические годы (Справочник..., 1969; Гидрологический..., 1968-1990 гг.)

Годы	Статистические параметры				
	n	lim, мм	M ± m, мм	б	V, %
<b>Присалаирье, м/с Тогучин</b>					
Очень засушливые	13	233 - 296	262 ± 6	20,0	8
Засушливые	11	307 - 330	319 ± 3	8,3	3
Нормальные	2	339 - 345	342	-	-
Влажные	5	361 - 390	369 ± 5	11,0	3
Очень влажные	7	394 - 463	428 ± 11	30,1	12
<b>Кузнецкая котловина, м/с Кемерово, агро</b>					
Очень засушливые	7	267 - 300	287 ± 5	12,2	4
Засушливые	8	307 - 330	318 ± 3	8,7	3
Нормальные	6	338 - 360	350 ± 4	9,7	3
Влажные	5	361 - 381	370 ± 5	10,0	3
Очень влажные	9	393 - 511	436 ± 14	41,3	9
<b>Бие-Чумышская возвышенность, м/с Бийск-Зональная</b>					
Очень засушливые	11	186 - 298	255 ± 10	32,5	13
Засушливые	8	304 - 326	318 ± 3	7,1	2
Нормальные	6	331 - 353	341 ± 4	9,9	3
Влажные	6	367 - 390	380 ± 4	9,7	3
Очень влажные	23	394 - 566	456 ± 13	64,0	14



## Характеристика стока ливневых вод и смыва ими почвы

Год	Дата	Осадки, мм	Интенсивность стока, мм/мин	Объем стока, мм	K <sub>ст</sub>	Масса смытой почвы, т/га
<b>Черноземы выщелоченные слабосмытые. Кузнецкая котловина</b>						
1968	19.07	25,6	1,5	15,3	0,60	1,95
	29.08	30,0	1,0	18,5	0,61	2,15
	<i>Всего за год</i>	55,6	-	33,8	-	4,10
1969	25.05	25,0	1,2	Не опр.	Не опр.	5,30
	8.06	36,0	1,0	19,5	0,54	1,50
	22.07	17,0	1,3	9,0	0,53	1,20
	25.07	38,5	1,1	16,0	0,41	2,90
	22.08	19,0	1,2	10,0	0,52	1,70
	<i>Всего за год</i>	135,5	-	54,5	-	12,60
1970	24.07	41,0	1,3	21,1	0,54	23,50
1971	27.06	36,0	1,5	18,7	0,52	6,20
<b>Черноземы оподзоленные слабосмытые. Присалаирье</b>						
1980	10.06	40,0	2,0	32,0	0,80	50,00

Существует мнение, что объем и скорость поверхностного стока ливневых вод зависят от длины и крутизны склона. Однако чем продолжительнее ливень, тем меньше объем стока зависит от длины и уклона. В этой связи некоторые исследователи (Беннет, 1958; Львович, 1963) вообще не усматривают зависимости между величиной ливневого стока и крутизной склона. Вместе с тем есть данные (Санталов, 1970), свидетельствующие, что при увеличении скорости стекания ливневого стока по склону в 2 раза размывающая и несущая сила потока увеличивается в 64 раза. Здесь очень большое значение имеет агрофон. Многие авторы (Коновалов, Пыжов, 1969; Spomer et al., 1973) отмечают, что склоновый сток от интенсивных дождей с распаханых массивов, особенно с большими уклонами, может быть значительно большим, чем со склонов, занятых залежью или целиной. Одновременно на распаханых склонах наблюдается повышенный сток наносов, обусловленный эрозийными процессами. Известно, что сильный ливень, особенно выпавший на незащищенную растительностью и свежеспаханную почву, может за считанные минуты унести со склонов такое количество почвенной массы, какое за счет стока снеготалых вод выносится за несколько лет.

Материалы табл. 2.6 свидетельствуют, что на склонах крутизной 6 - 9° в 1969 г. за два ливня было отчуждено 28,9 т/га почвенной массы. Такое ее количество может быть потеряно в результате стока талых вод даже в многоснежные гидрологические годы лишь в течение трех лет (см. табл. 2.5).

Характерная особенность ливней состоит еще и в том, что в единицу времени на поверхность почвы поступает на 1 - 2 порядка больше воды, чем при самом сильном снеготаянии (Маккавеев, 1975). При этом также резко возрастает величина отчуждаемой твердой фазы почвы. По данным И.Ф. Горбунова, Е.И. Рябова (1972), М.Н. Заславского (1979), А. Luca (1963), R. Lal (1976), R.F. Piest, S. Zemnicki (1979), U. Schwertman (1981) стоком дождевых вод может быть смыто от 100 - 160 до 500 т/га почвенной массы.

Надо сказать, что объем поверхностного стока ливневых вод и их эрозионную деятельность можно значительно уменьшить, прежде всего, улучшением водопроницаемости почв. В повышении фильтрационной способности почв склонов большое значение имеют, как известно, приемы улучшения почвенной структуры. Хорошо оструктуренные почвы не только сохраняют высокую водопроницаемость, но и вообще более эрозионно устойчивы. Эрозионная стойкость почв особенно повышается, когда в составе их структурных отдельностей преобладают агрегаты размером 1 мм и более.

### **2.3. Ирригационные воды**

Известно, что около половины всех сборов зерна обеспечивает богарное земледелие. Одним из сдерживающих факторов повышения потенциала богары, как полагает В.В. Егоров (1983), служит проявление эрозионных процессов, широко развитых в расчлененной части лесостепи. Фактором, способным повышать продуктивность богарного земледелия, является орошение. Оно традиционно применялось в тех климатических зонах страны, где природные условия увлажнения не гарантируют стабильного урожая сельскохозяйственных культур. Это, в основном, пустынно-степная зона. Однако в последнее время орошением охвачены на только сухостепная, но и лесостепная зоны страны, в частности Сибирь.

Из-за суровых климатических условий, неравномерного выпадения атмосферных осадков в течение вегетации сельскохозяйственных культур данную территорию относят к зоне рискованного земледелия. Здесь ежегодно выпадает около 400 мм осадков (Справочник..., 1969). Несмотря на очень незначительную расчлененность степной зоны Сибири, здесь вследствие довольно длинных склонов (более 1 км) формируется существенный поверхностный сток. Последний уменьшает и без того незначительное количество влаги на склоновых землях. Если учесть, что 35 - 50% атмосферных осадков (примерно 140 - 200 мм) в засушливой зоне расходуется на физическое испарение и поверхностный сток (Носко и др.

1986), то на формирование урожая возделываемых культур остается только 200 - 260 мм влаги. Именно столько атмосферных осадков требуется для образования первых 10 ц/га (Хорошилов, 1967), а для получения каждого следующего центнера прибавки нужно дополнительно 10 мм влаги. Поэтому для степных районов Сибири, где в основном распространены черноземы, особое значение имеет орошение.

Считается (Ковда и др., 1986), что орошение черноземов должно быть только дополнительным по отношению к фактическим атмосферным осадкам сезона и года. Поэтому орошение черноземов обыкновенных, распространенных в зоне недостаточного увлажнения, является в определенной мере обоснованным. Поскольку для орошения черноземов трудно выбрать большие ровные массивы, полив производят и на склоновых землях. Применение больших поливных норм дождевальными машинами с высокой интенсивностью полива способствует формированию поверхностного стока ирригационных вод и смыву почвы. В.В. Егоров (1984) отмечает, что, кроме малых норм полива, важен и способ подачи этой нормы. В настоящее время в нашей стране широкое применение нашли два способа орошения: полив напуском и дождеванием. Ни один из них не является универсальным. Черноземам не желательно орошение затоплением, тем более, что потери воды на фильтрацию при поверхностном способе полива составляют 20 - 30% и 3 - 5% - на испарение. При дождевании также наблюдаются значительные потери воды на испарение, особенно в жаркие дни, при ветрах - до 20 - 25% (Шумаков, Прокофьев, 1986). Отрицательно реагирует чернозем и на крупнокапельное дождевание, поскольку оно ведет к формированию поверхностного стока, разрушению водопроходной структуры, диспергированию пахотного слоя. Поэтому орошение черноземов лесостепи и степи возможно лишь с помощью мелкодисперсного дождевания, свойственного дождевальным машинам типа "Фрегат", "Волжанка" либо "Днепр".

К недостаткам дождевания следует отнести небольшую глубину промачивания орошаемого массива и влияние ветра на равномерность распределения дождя. И хотя орошение черноземов засушливой зоны проводят на сравнительно выровненной территории, здесь довольно часто проявляется совокупное влияние эрозионных процессов, обусловленное стоком талых и ливневых вод, к которым еще добавляются и ирригационные.

Орошаемые массивы, как правило, расположены на относительно выровненной территории. Несмотря на это, водоразделы и склоны испещрены микрозападинами, соединенными между собой густой сетью ложбин стока. Эрозионные процессы на такой территории начинаются с образования луж, из которых вода перераспределяется по полю в соответствии с микрорельефом. Такое перераспределение воды приводит к образованию зон недополива. Учитывая высокую просадочность лессовидных пород, на которых сформировано большинство орошаемых черноземов, подобный характер водоподачи, как полагают Т.И. Евдокимова и др. (1986), может привести к достаточно активному развитию ирригационного просадочного нано- и микрорельефа.

Склоновый сток каждой категории напочвенных вод (снеготалых, дождевых, поливных) специфичен, что и определяет особенности выноса твердых веществ. В отличие от снеготалых и дождевых вод склоновый сток оросительных вод формируется за ограниченное время, равное работе дождевального агрегата на одной позиции или прохождения его через конкретную площадку. Вся орошаемая площадь под дождем "Фрегата" находится около часа, а поверхность почв микрозападин и микроложбин стока испытывает влияние слоя воды все время, пока продолжается поверхностный сток, т. е. в 3 раза дольше. С увеличением нормы полива возрастает и объем поверхностного стока ирригационных вод. Наши исследования показали, что при норме полива  $300 \text{ м}^3/\text{га}$  и минимальной интенсивности дождевания ( $0,25 \text{ мм/мин}$ ) величина жидкого стока составляет  $31 \text{ м}^3/\text{га}$ . С ростом поливной нормы до  $700 \text{ м}^3/\text{га}$  объем стока увеличился до  $95 \text{ м}^3/\text{га}$  при примерно одинаковом коэффициенте стока. Аналогичное возрастание поверхностного стока оросительных вод происходит при увеличении крутизны склона. При этом наблюдается значительный смыв твердой фазы обыкновенных черноземов, размер которого зависит как от крутизны склона, так и от интенсивности дождевания и колеблется от 35 до  $3200 \text{ кг/га}$  за полив.

Современная дождевальная техника даже щадящего режима продолжает полив после выдачи эрозионно допустимой нормы (ЭДПН). В Сибири вопросы ЭДПН слабо освещены в литературе в связи с малым опытом орошаемого земледелия. Однако даже единичные данные свидетельствуют, что ЭДПН "Фрегата" на черноземах Западной и Восточной Сибири составляет очень небольшую величину - 30 - 25 мм (Абрамов и др., 1984; Карпенко, Савостьянов, 1985).

Исследованиями величины поверхностного стока ирригационных вод и смыва ими черноземов (Панин, Танасиенко, 1989) установлено, что в начале стока смывается сравнительно небольшое количество почвы. Данная фаза длится примерно 10 мин. Затем резко увеличивается поверхностный сток (на 35 - 40-й минуте полива) ирригационных вод и смыв почв. Последний иногда достигает  $1000 \text{ кг/га}$  (табл. 2.7). В конце стока, когда осуществляется лишь сброс избыточных поливных вод без подпитки из дождевателей, поверхностный сток ирригационных вод резко снижается, что влечет за собой и уменьшение смыва твердой фазы черноземов обыкновенных.

В результате эрозионных процессов, вызываемых поливными водами на склоновых черноземах, прежде всего выносятся мелкие фракции - ил и частицы физической глины. Здесь сохраняются те же тенденции селективного выноса, которые присущи смыву почвы талыми и ливневыми водами (Dangler, El-Swaity, 1976): в начальную и конечную фазы стока вод, когда кинетическая энергия потока еще недостаточно высока, чтобы перемещать отдельные почвенные макроагрегаты, осуществляется отрыв и транспортировка лишь тонкодисперсных частиц. В середине стока, когда кинетическая энергия потока максимальна, происходит вынос всей почвенной массы. Если в первую фазу формирования поверхностного стока

разных по генезису вод намечается лишь образование струйчатых размывов и ручейков, то в период интенсивного стока (середина) заканчивается их формирование. Во время интенсивного стока вод выносятся не только тонкие, но и крупные частицы почвы.

Т а б л и ц а 2.7

Смыв твердой фазы черноземов обыкновенных Приобья за полив  
(450 м<sup>3</sup>/га) на посевах кукурузы

Фаза поверхностного стока	Статистические параметры				
	n	lim, мм	M ± m, мм	б	V, %
Начало стока	9	2 - 122	48 ± 3	10	21
Середина -"-	9	341 - 1263	74 ± 119	357	48
Конец -"-	7	45 - 258	136 ± 34	89	66
<i>Суммарно</i>	9	461 - 1538	898 ± 117	351	39

Таким образом, основным фактором разрушения пахотных почв склонов является неурегулированный поверхностный сток талых, ливневых и ирригационных вод. К началу снеготаяния запасы воды в снеге составляют значительную величину - 100 - 120 мм или 1/4 годового количества атмосферных осадков. Сток талых вод осуществляется в условиях глубокого и сильного промерзания сибирских почв при сформированном в зимнее время водонепроницаемом мерзлом экране, что исключает впитывание мерзлыми почвами талых вод.

Интенсивность выпадения ливневых осадков на порядок выше, чем водоотдача из снега в период снеготаяния. Однако часть ливневых осадков впитывается относительно сухим пахотным слоем, а невпитавшиеся осадки формируют поверхностный сток. Наличие возделываемых культур и фаза их развития существенно влияют на величину отчуждения почвенного материала. Но интенсивность, слой жидких осадков и, следовательно, кинетическая энергия потоков стекающих ливневых вод настолько велики, что смыв почвенного покрова во влажные гидрологические годы превышает таковой в период снеготаяния.

Превышение скорости подачи воды дождевальными машинами над впитывающей способностью обыкновенных черноземов, больше всего испытывающих на себе влияние орошения, приводит к формированию существенного поверхностного стока поливных вод и смыва ими твердой фазы почвы.

Изменение общего количества атмосферных осадков в широтном направлении определяет соотношение между величинами смыва почвы талыми и ливневыми водами. В период снеготаяния доля смывтой твердой фазы черноземов выщелоченных варьирует от 35% величины ежегодного смыва в малоснежные годы до 48% - в многоснежные. В черноземах

оподзоленных эта доля возрастает до 56%, а на контакте лесостепи со степью, где развиты в основном черноземы обыкновенные, - до 90%.

Величина отчуждения почвенного материала определяется эрозионной стойкостью почвы, увлажненностью года и видом осадков.

### Глава 3. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

Ограниченные климатические ресурсы оказываются первопричиной ослабленности многих почвенно-биохимических процессов, замедленности самовосстановления утраченных почвой при нерациональном земле- и природопользовании изначально присущих ей экологических функций. Отсюда известная уязвимость экосистем Сибири к антропогенным нарушениям, сложность и длительность естественного и искусственного восстановления.

Принято считать, что эрозия – смыв и размыв почвы поверхностным стоком временных водных потоков (Заславский, 1979). При подобном толковании понятия эрозии почв воды поверхностного стока выступают лишь в качестве источника кинетической энергии потока, а процессы смыва и аккумуляции искусственно расчленены.

С точки зрения генезиса почвы любая местность с определенным рельефом состоит из зон выноса, переноса и аккумуляции, границы которых меняются для каждого переносимого компонента или для каждой группы компонентов в зависимости от их подвижности. Связь между эрозией и отложением на отдельных участках склона может быть очень сложной, хотя обычно верхние части склона теряют материал, а нижние его получают.

Балансовыми исследованиями, проведенными на ландшафтной основе, установлено, что немногим более 15% твердого стока поступает в речную сеть (Старостина, 1972). Основная масса его переотлагается в пределах обрабатываемых массивов, образуя новые формы рельефа и новый почвенный покров существенно худшего качества, чем разрушаемые почвы.

Особо важно подчеркнуть экспериментально установленный факт выноса значительного количества водно-растворимых органических веществ, обменного кальция и магния даже из ненарушенных почв умеренных склонов дождевыми осадками, усиливающегося при орошении и в условиях кислотных дождей.

Это явление, названное авторами (Танасиенко, Путилин, 1994) геохимической миграцией, приводит к ослаблению связей между почвенными агрегатами и последующему выносу их водами с высокой кинетической энергией потока, что ведет впоследствии к эрозионному разрушению почв.

Новый подход к пониманию процесса эрозии дает возможность разработать современные противозерозионные технологии обработки и использования земельного фонда.

При определении же экологических последствий эрозии в агроландшафтах возникает проблема оценки влияния эрозионных процессов на окружающую среду. Что брать в качестве диагностических

признаков этих последствий - величину отчуждаемой твердой фазы почвы, концентрацию биогенных элементов в поверхностном стоке вод различного генезиса, количество химических элементов, отчуждаемых жидким и твердым стоками вод, массу почвы, поступающую в гидрографическую сеть того или иного порядка, величину снижения количества и качества урожая возделываемых культур на эродированных землях? Предпочтительнее, скорее всего, комплексная оценка экологических последствий эрозионных процессов. Для Сибири пока что подобной оценки не существует.

### **3.1. Вынос химических элементов талыми водами**

Наибольшему техногенному воздействию на современную окружающую среду в Западной Сибири подвержена Кемеровская область с ее значительными людскими и природными ресурсами. Ведущее значение в антропогенной нагрузке на окружающую среду принадлежит Кузбассу - крупному району черной металлургии страны. Быстрому и устойчивому росту производства черных металлов во многом способствовало значительно выгодное экономико-географическое положение и удачное сочетание природных условий и ресурсов: близость богатейших запасов малосернистых коксующихся углей, месторождения железной руды, известняка, доломита и другого сырья, необходимого для производства черных металлов.

Металлургическая промышленность Кузбасса представлена такими крупнейшими предприятиями, как Кузнецкий металлургический комбинат (КМК), Западно-Сибирский металлургический комбинат (Запсиб), Кемеровский коксохимический, Кузнецкий ферросплавный, Новокузнецкий алюминиевый и Беловский цинковый заводы.

Добыча угля в Кузбассе, достигшая в 1989 г. 159 млн тонн, ведется всеми технологическими способами. Важнейшими потребителями кузбасского угля, кроме вышеперечисленных, являются также многочисленные теплоэлектростанции (ТЭС) Новосибирска.

Интенсивный рост черной металлургии Кузбасса и сжигание угля на ТЭС привели к немалым осложнениям экологической обстановки. Металлургические предприятия и ТЭС заметно влияют на загрязнение окружающей среды. Суммарные выбросы в атмосферу Кузбасса составляют 775 тыс. тонн или 244 кг/год на одного жителя области. Особую тревогу вызывает повышенная концентрация в этих выбросах свинца.

При сжигании угля в атмосферу выбрасываются в основном оксид серы и оксиды азота (Mackenzie, El-Ashry, 1989). Эти соединения захватываются атмосферными осадками и возвращаются на поверхность почвы. Значительное очищение воздушного бассейна происходит при выпадении снега. Снежные хлопья абсорбируют из атмосферы большое количество загрязняющих веществ, в том числе кислотообразующих газов и аэрозолей. Снежный покров в Западной Сибири, как известно, лежит в течение 165 дней в году, достигает максимальной мощности к третьей



декаде марта и в течение нескольких месяцев служит аккумулятором загрязняющих веществ. Р. Addison (1989) полагает, что со снегом выпадает до 20 кг/га сульфатов и 15 кг/га нитратов. В период снеготаяния всего за несколько дней эти вещества поступают в почву, способствуя выщелачиванию многих химических элементов из оттаявшего почвенного слоя, нанося существенный вред окружающей среде.

До недавнего времени химические процессы, происходящие в снежном покрове, практически не исследовались. В основном определяли, какие вещества поступают в снег и сбрасываются в водоемы с тальми водами. Даже при этих исследованиях возникали трудности, связанные с отбором представительных проб падающего снега. В одном и том же пункте отбора проб химический состав снега, выпадающий в разное время, заметно отличается.

Снежный покров, содержащий мало воды в жидкой фазе, принимает с сухими выпадениями небольшие объемы диоксида серы. За несколько дней до начала снеготаяния снег уплотняется, под воздействием положительных температур снежные кристаллы начинают таять и содержание воды в снежном покрове возрастает. В результате этих процессов происходит резкое увеличение накопления в талых водах высоко растворимого сернистого ангидрида, поступающего с сухими выделениями из атмосферы. В начальной фазе стока концентрация растворимых солей довольно большая. Данное явление называется эффектом концентрирования (Addison, 1989). Уровень концентрирования растворимых примесей в начальную фазу стока нередко в 10 раз выше, чем в снеге.

Подобная ситуация создается при воздействии двух факторов: физических процессов, происходящих при уплотнении снежного покрова и вызывающих в нем перераспределение загрязняющих примесей, а также в результате присутствия в снежном покрове слоев, имеющих различную степень загрязнения.

В процессе таяния снега химические вещества переходят в талые воды с различной скоростью. В первую очередь освобождаются ионы сульфатов и нитратов. Это явление редко отражается в химическом составе речных вод, которые принимают талые воды со склонов различной экспозиции, где мощность снежного покрова также бывает различной. Дело в том, что в реки поступают талые воды из разных зон и слоев снежного покрова, которые тают с неодинаковой скоростью. Зачерненный угольной пылью снежный покров тает быстрее, чем совершенно чистый снег. Кроме того, происходит взаимодействие между снеготальми водами, содержащими растворенные серную, соляную или азотную кислоты, и почвой. В результате этого контакта слабокислые талые воды выщелачивают из оттаявшего слоя почвы значительное количество химических элементов кальция, магния, калия, фосфора, углерода.

Одним из относительно хорошо распространенных продуктов техногенных выбросов является цементная пыль. Влияние ее на почву неоднозначно. Вследствие несущественного количества диоксида серы, а также высокого содержания щелочных и щелочноземельных катионов, доля которых в составе пыли достигает 70%, происходит значительное подщелачивание талых вод, заметно влияющих на вынос органического

вещества почвы (Колчаков, Файтонджиев, 1982; Ворон, 1984). Кроме того, известно (Ивонин, Уваров, 1982), что специальное внесение цемента в пахотный слой способствует его оструктуриванию при условии достаточного увлажнения.

В условиях Западной Сибири при глубоком промерзании почв снеготаяние идет, главным образом, по замерзшей почве. При этом большая часть оснований цементной пыли, накопленной снегом за зимний период, с тальми водами попадает в гидрографическую сеть, но некоторое количество этих оснований задерживается на поверхности почвы и нисходящим током после оттаивания черноземов перемещается вглубь профиля. Летом аккумулярованная на поверхности почвы цементная пыль частично смывается ливневыми водами. Таким образом, в целом цементная пыль на почву оказывает двоякое действие: прямое, когда перемешивается с пахотным слоем, и опосредованное - через подщелачивание стоковых вод, также влияющих на интенсивность выноса химических элементов из обрабатываемого слоя склоновых земель.

Наблюдения за химическим составом талых вод проведено на водосборах двух рек - Иня и Бердь - характеризующихся различным уровнем антропогенной нагрузки на ландшафт, химическим составом техногенных выбросов, а также почвенным покровом и степенью расчленения территории.

Водосбору Иня характерны кислые выбросы в атмосферу металлургическими предприятиями Кузбасса. Длительность техногенных воздействий на окружающую среду здесь превышает 50 лет. Почвенный покров представлен эталоном эрозионной стойкости - черноземами выщелоченными тучными тяжелосуглинистыми.

Водосбор Берди испытывает влияние щелочных техногенных выбросов - цементной пыли Чернореченского цементного завода. Длительность очагового техногенного воздействия составляет более 40 лет; в последние годы цементный завод переоборудован на газообразное топливо и оборудован эффективными пылеуловителями. Поэтому техногенные выбросы заметно сократились. Почвенный покров данного водосбора представлен преимущественно черноземами оподзоленными среднегумусными среднесуглинистыми средней эрозионной стойкости.

В качестве экологического эталона служила территория Приобья, где широко распространены черноземы обыкновенные среднегумусные среднесуглинистые с интенсивно протекающими эрозионными процессами из-за их низкой эрозионной стойкости, но, вследствие значительной удаленности от центров урбанизации, они не испытывают техногенного давления.

Наблюдения за химическим составом речных вод (Гидрологический ..., 1967 - 1979) показали, что в третьей декаде марта реки Иня и Бердь, текущие в зоне распространения черноземов, выносят в различные по снежности гидрологические годы от 4 до 7 кг/га растворенных солей. Когда снеготаянием охвачены в основном склоны южной экспозиции (первая декада апреля), т. е. в начале снеготаяния, поверхностный сток идет преимущественно по замерзшей поверхности почвы и лишь иногда - по талой на 2 - 5 см, в засушливые годы вынос анионов и катионов в талых

водах заметно увеличивается (в 5 - 7 раз в сравнении с третьей декадой марта), резко (в 11 - 15 раз) - в нормальные и очень резко (в 25 - 30 раз) - во влажные годы. Среди катионов превалирует кальций, количество которого, в зависимости от снежности гидрологического года и, следовательно, величины поверхностного стока, варьирует от 4 до 18 кг/га. Суммарное количество водно-растворимого калия и натрия равно примерно кальцию. Среди анионов преобладает  $\text{HCO}_3^-$ , вынос которого варьирует в пределах 15 - 90 кг/га. В начальную фазу поверхностного стока талые воды выносят ничтожное количество хлора и нитратов.

Низкое содержание щелочных катионов в поверхностном стоке талых вод на фоне невысокого количества хлора и сульфатов в нормальные по запасам воды в снеге гидрологические годы обусловили заметное (с 7,5 до 6,8) снижение реакции среды в начале снеготаяния на Берди. Такого существенного снижения pH талых вод на водосборе Ини в начале снеготаяния не наблюдалось, хотя в Кузнецкой котловине металлургические предприятия при сжигании угля выбрасывают в атмосферу существенное количество оксидов серы и азота. Как отмечают А.И. Ильичев и Л.И. Соловьев (1989), на жителя Кузбасса в год приходится по 542 кг вредных выбросов. Причиной слабощелочной реакции среды талых вод в начале снеготаяния в Кузбассе служит, вероятно, таяние слоев снега с низкой концентрацией кислотных остатков и насыщение стекающих вод ионами щелочноземельных катионов при движении по оттаявшему слою почвы. Другими словами, в начале снеготаяния в Кузнецкой котловине слабокислые талые воды нейтрализуются, мигрируя по слегка оттаявшему слою черноземов выщелоченных, обогащенных гумусом и обменными основаниями.

В период интенсивного стока (вторая декада апреля), когда снег тает не только на хорошо инсолируемых склонах южной экспозиции, но и на холодных, северных, вынос химических элементов поверхностным стоком талых вод заметно увеличивается. В этот период на водосборе Ини талые воды выносят от 5 до 25 кг/га кальция, от 3 до 10 кг/га калия с натрием. В 1,5 раза, по сравнению с началом снеготаяния, возрастает вынос аниона угольной кислоты, стабилизируется вынос сульфатов и хлоридов.

В Присаларье, в силу специфики техногенных выбросов, заключающейся в преимущественном поступлении в атмосферу щелочных и щелочноземельных катионов и незначительном - анионов серной, соляной и азотной кислот, в фазу интенсивного стока талых вод вынос кислотных остатков стабилизируется, кроме аниона азотной кислоты. На его отчуждение очень сильно влияет количество запасенной в снеге воды: чем больше снегозапасы и, следовательно, величина поверхностного стока талых вод, тем больше азота нитратов выносится снеготальными водами. Максимальное количество азота нитратов наблюдается в фазу интенсивного стока во влажные годы и не превышает 0,13 кг/га в Присаларье и 0,2 кг/га - в Кузнецкой котловине.

Поверхностный сток разных по генезису вод многие эрозиоведы рассматривают лишь как источник кинетической энергии потока. Но, кроме разрушения почвенного покрова, талые, ливневые и ирригационные воды при движении по поверхности почвы еще и выщелачивают из нее многие

химические элементы. При сравнительно одинаковой кинетической энергии потока талые воды вымывают разное количество химических элементов из мерзлого и талого слоев, что сказывается прежде всего на реакции снеговых вод (табл. 3.1). Нашими исследованиями установлено, что снеготалые воды Приобья, района, наименее подверженного техногенному воздействию, имеют самую низкую реакцию среды в сравнении с тальми водами Кузнецкой котловины и Присалаирья, которая на 0,3 - 0,8 единицы рН ниже в начале и конце стока и на 0,3 - 0,5 единицы - в период интенсивного стока. При этом следует учесть, что талые воды, стекающие по поверхности черноземов обыкновенных, насыщаются прежде всего натрием и анионом угольной кислоты, способными образовывать соду. В результате содообразования реакция среды талых вод начальной и конечной фаз стока, когда продолжительность контакта воды с поверхностью чернозема значительно больше, чем в фазу интенсивного стока, приближается к нейтральной, а в середине стока она кислее. Не случайно при значительных снегозапасах во влажные годы и, следовательно, большом разбавлении соды, реакция талых вод мало зависит от фазы стока.

С реакцией среды талых вод тесно связано количество выщелачиваемых щелочных и щелочноземельных катионов. Чем кислее талые воды, стекающие по поверхности мерзлых почв в начальную фазу стока, тем меньше они содержат щелочноземельных катионов. Однако невысокая скорость движения потоков талых вод, большая протяженность склона приводят к существенной продолжительности контакта водного потока с поверхностью почвы и значительной насыщенности его поглощенными катионами. Поэтому на всех подтипах черноземов в эту фазу стока содержание кальция варьирует в пределах 4 - 11 мг/л.

Различия в реакции среды талых вод в много- и малоснежные гидрологические годы привели к неадекватному выщелачиванию кальция и магния из поверхности мерзлых темно-серых лесных почв Присалаирья. В малоснежные гидрологические годы вымывается 7 мг/л кальция и 1,0 мг/л магния, а в нормальные годы - соответственно 11,5 и 3,1 мг/л. Следовательно, состав талых вод, стекающих по поверхности темно-серых лесных почв, в малоснежные гидрологические годы ближе к водам приобских черноземов, а в нормальные годы - к водам кузнецких черноземов.

Щелочные техногенные выбросы Чернореченского цементного завода привели к тому, что в радиусе примерно 50 км снеготалые воды имеют слабощелочную реакцию и повышенное содержание кальция и магния, в 30 - 50 раз большее, чем талые воды экологического эталона - Приобья.

Близкая к нейтральной реакция среды талых вод (исключая Присалаирье) в начальную фазу стока, существенное насыщение этих вод кальцием и магнием способствуют отчуждению значительного количества гумуса, особенно водно-растворимой его фракции. Говоря о значении гумуса, нельзя не подчеркнуть его важнейшую экологическую роль в качестве источника экологически чистых и рационально сбалансированных природой питательных элементов для высших растений.

Т а б л и ц а 3.1

## Химический состав стока талых вод

Годы	Фаза поверхностного стока	n	рН	Содержание, мг/л				
				С	Ca	Mg	K	Na
1	2	3	4	5	6	7	8	9

**Чернозем оподзоленный слабосмытый. Присалаирье**

Малоснежные	Начало	8	9,01	130	316	21, 8	Не опред.	
	Середина	8	8,51	146	236	28, 8	"-	

**Чернозем выщелоченный слабосмытый. Кузнецкая котловина**

Нормальные	Начало	4	Не опр.	95	3,8	1,8	Не опред.	
	Середина	4	"-	63	4,6	2,0	"-	
	Конец	3	"-	99	4,6	2,1	"-	
Многоснежные	Начало	7	"-	91	8,0	2,2	"-	
	Середина	10	"-	55	9,0	2,6	"-	
	Конец	4	"-	82	8,1	2,8	"-	
Очень много- снежные	Начало	5	"-	115	11, 1	4,2	"-	
	Середина	7	"-	70	9,0	3,9	"-	
	Конец	3	"-	110	15, 6	4,9	"-	

**Чернозем обыкновенный слабосмытый. Приобье**

Очень мало- снежные	Начало	9	7,00	105	6,6	1,1	2,7	2,6
	Середина	15	6,92	66	4,6	0,8	1,6	1,6
	Конец	7	7,06	100	7,9	1,4	2,9	1,7
Малоснежные	Начало	5	7,27	102	8,0	1,1	1,5	2,8
	Середина	8	7,24	86	5,3	0,9	1,0	1,8
	Конец	4	7,55	62	7,0	1,2	1,9	2,2
Нормальные	Начало	6	6,40	89	4,2	0,7	4,7	Не опр.
	Середина	9	6,44	68	2,5	0,7	1,7	"-

	Конец	4	6,59	95	4,2	1,1	4,4	-"
Многоснежные	Начало	35	7,12	116	5,9	1,1	2,3	1,3
	Середина	45	6,92	64	4,7	0,9	2,0	1,2
	Конец	15	7,08	126	8,5	1,3	2,3	1,1
Очень много- снежные	Начало	8	6,89	92	9,4	1,6	3,0	4,0
	Середина	27	6,88	40	6,2	1,0	1,5	5,1
	Конец	5	6,77	61	11, 9	2,3	4,4	6,3

### Темно-серая лесная слабосмытая почва. Присалаирье

Нормальные	Начало	10	7,05	7	9,7	1,5	4,8	1,7
	Середина	3	7,20	7	14, 1	1,9	6,8	1,4
	Конец	2	7,10	7	10, 4	2,2	5,4	1,2
Очень много- снежные	Начало	4	7,07	12	11, 0	4,3	10,8	5,0
	Середина	4	7,25	14	8,7	1,7	7,9	4,2
	Конец	2	7,40	32	18, 6	3,2	14,0	10,3

С содержанием и качеством гумуса связано выполнение почвой и почвенным покровом таких экологических функций, как гидрологические, газово-атмосферные, а также роль универсального биологического поглотителя, разрушителя и нейтрализатора различных загрязнителей (Ковда, 1985; Добровольский, Никитин, 1986). Водно-растворимый гумус, отчуждаемый талыми водами в начальную фазу стока, представлен преимущественно подвижными гуминовыми кислотами. Последние, как полагают М.М. Кононова (1951) и Н.И. Богданов (1964), и кальций (Ремезов, 1957) играют важную роль в структурообразовании почв, выступая в качестве органических и минеральных клеев. Вымывание талыми водами растворимых кальция и гумуса ослабляет связь между агрегатами почвы и создает условия для последующего отрыва этих агрегатов поверхностными водами с большой кинетической энергией потока, свойственной интенсивной фазе стока.

Материалы табл. 3.1 свидетельствуют, что в начальную фазу стока талые воды, стекающие по поверхности тучных кузнецких и среднегумусных приобских черноземов, содержат примерно одинаковое количество (98 и 103 мг/л) углерода. Исключение составляют талые воды в Присалаирье. Но сток этих вод происходит в зоне факела цементного завода, что существенно его подщелачивает (рН 8,8 - 9,0). Поэтому

концентрация углерода здесь в 1,3 - 1,6 раза больше, чем в водах Кузнецкой котловины и Приобья.

Минимальный поверхностный сток талых вод в малоснежные гидрологические годы обуславливает очень низкое выщелачивание химических элементов из поверхности мерзлых или слегка оттаявших (на глубину 5 - 20 см) черноземов (табл. 3.2). Из химических элементов, вымываемых талыми водами, больше всего теряется углерода, что объясняется высокой его концентрацией в пахотном слое склоновых земель. Чем больше величина поверхностного стока и меньше эрозионная стойкость черноземов, тем больше потери углерода с каждого гектара распахаемых склонов. Поскольку черноземы обыкновенные характеризуются самой низкой стойкостью при высоком объеме стока, талые воды здесь выщелачивают в 7,5 раза больше углерода, чем из черноземов выщелоченных Кузнецкой котловины, где объем стока минимален.

Т а б л и ц а 3.2

Вынос водно-растворимых биогенных элементов талыми водами, кг/га

Годы	Углерод	Кальций	Магний	Калий	Натрий
<b>Чернозем оподзоленный слабосмытый. Присалаирье</b>					
Малоснежные	109	174	21	Не опр.	Не опр.
Нормальные	125	288	20	-"	-"
<b>Чернозем выщелоченный слабосмытый. Кузнецкая котловина</b>					
Нормальные	133	7	3	Не опр.	Не опр.
Многоснежные	149	11	4	-"	-"
Очень многоснежные	171	20	7	-"	-"
<b>Чернозем обыкновенный слабосмытый. Приобье</b>					
Очень малоснежные	26	2	0,3	0,6	0,6
Малоснежные	35	3	0,5	0,6	1,0
Нормальные	87	4	0,8	3,6	Не опр.
Многоснежные	129	7	1,0	3,0	2,0
Очень многоснежные	157	10	2,0	4,0	7,0
<b>Темно-серая лесная слабосмытая почва. Присалаирье</b>					
Нормальные	4	2	1,0	1,0	Не опр.
Очень многоснежные	19	11	2,0	11,0	-"

В нормальные по снежности гидрологические годы объем поверхностного стока талых вод на склоновых землях различных регионов Западной Сибири возрастает в 3 - 15 раз по сравнению с малоснежными

зимами, что приводит к адекватному увеличению потерь водно-растворимого углерода с тальми водами. Объем поверхностного стока в многоснежные гидрологические годы в отдельных регионах Западной Сибири не так сильно различается, как в нормальные по снежности годы, что приводит к сближению потерь углерода с поверхностным стоком талых вод в многоснежные годы.

Заметные экологические последствия влечет за собой применение на склоновых землях жидкого навоза, который, вследствие специфики содержания крупного рогатого скота в Сибири на летних пастбищах, вывозится на поля преимущественно зимой. В жидком навозе содержится  $0,413 \text{ кг/м}^3$  азота,  $0,01$  - фосфора и  $0,2 \text{ кг/м}^3$  калия, что превышает допустимую концентрацию по фосфору в 3 - 4 раза, азоту и калию - в 2 раза (Зубаиров, 1988). Жидкий навоз, как правило, не проходит стадии термического обеззараживания, свойственного классическому хранению твердого навоза. Поскольку до 80% снеготалых вод стекает по поверхности склона, основная часть жидкого навоза с растворенными химическими элементами и болезнетворными бактериями уходит с поверхностным стоком, загрязняя и заражая реки и водоемы. Не случайно население Сибири подвергается различным заболеваниям в несколько раз сильнее, чем в европейской части России.

Нашими исследованиями установлено, что вынос водно-растворимого углерода на массивах, где зимой на склоновые земли вывозится жидкий навоз, на порядок выше, чем на участках, где применяется твердый солоmistый навоз.

## **3.2. Потери химических элементов с ирригационными водами**

Основная часть осадков (65 - 70%) годовой суммы выпадает в теплый период. В условиях чистой атмосферы при среднем содержании  $\text{CO}_2$  0,030% и температуре  $10^\circ\text{C}$  Н.А. Шмидеберг (1990) приводит величину рН дождевых вод, равную 5,60. В загазованной атмосфере реакция среды дождевых вод становится довольно кислой (рН = 3,5 - 4,5). В работах И.С. Шатилова с соавторами (1979, 1990) и Н.А. Шмидеберг (1990) приведены данные о химическом составе кислотных дождей и их влиянии на почвенный покров европейской части России. Подобные данные для Сибири отсутствуют. В случае действия кислотных дождей на почвенную систему важнее общее количество выпадающих осадков, которое способствует закислению почвы, усиливает коррозию и выветривание минералов, определяет скорость ионообменных процессов.

В настоящее время во всех развитых странах функционируют разветвленные системы мониторинга мокрых осадков. В США и Канаде создана единая сеть наблюдений за осадками, в сферу постоянного наблюдения не входит только 6% территории (Зайков и др., 1991). В Сибири с ее спецификой в выпадении атмосферных осадков, с почти полугодовым холодным периодом, сопровождающимся усиленным



сжиганием угля, нефтепродуктов и газа в отопительных целях, практически нет подобной системы наблюдений.

Технические возможности человека столь значительны, что позволяют в какой-то мере дополнять природу. Это особенно заметно на примере орошения. Сельскохозяйственные районы Западной Сибири являются зоной неустойчивого земледелия. Здесь довольно часты засухи. Поэтому создание комфортных для растений условий увлажнения требует орошения. Наши данные освещают лишь влияние орошения на химический состав ирригационных вод. Поскольку в Западной Сибири орошением охвачено около 300 тыс. га пашни, значительная часть которой расположена на относительно выровненной местности, влияние поверхностного стока на химический состав речного стока в целом ничтожно, но очаговое влияние существенно.

Анализ отобранных проб ирригационного стока показал щелочную реакцию стекающих вод, величина рН которых в начале и конце стока примерно одинакова (8,82 - 8,72), а в период интенсивного стока достоверно уменьшалась на 0,3 единицы рН (табл. 3.3). Следует отметить, что поливная вода имела практически нейтральную реакцию среды, слабощелочной реакцией среды обладал пахотный слой среднесмытых черноземов. Даже снеготалые воды, имеющие обыкновенно слабокислую реакцию, только в период интенсивного стока были нейтральны, а в начале и конце стока - слабощелочные.

Содержание водно-растворимых катионов и анионов (табл. 3.4) в большей степени определяется фазой поверхностного стока. Максимальное количество катионов и анионов характерно для начальной фазы стока: оно достоверно снижается в период интенсивного стока, когда происходит разбавление исходного высококонцентрированного солевого раствора свежими порциями практически пресной воды, и имеет тенденцию к увеличению количества анионов и катионов к конечной фазе ирригационного стока.

Больше всего с поверхностным стоком поливные воды выносят анион  $\text{HCO}_3^-$ , количество которого превышает суммарное содержание катионов кальция и магния. Следовательно, оставшаяся часть аниона  $\text{HCO}_3^-$  связывается натрием, образуя соду.

Нашими исследованиями выявлено, что концентрация катионов в ирригационных водах убывает в следующем ряду:  $\text{Na}^+ \rightarrow \text{Ca}^{++} \rightarrow \text{Mg}^{++} \rightarrow \text{K}^+$ , а анионов:  $\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{SO}_4 \rightarrow \text{CO}_3 \rightarrow \text{Cl}^-$ . В составе солей бикарбонаты в 2 раза превышают сумму хлоридов и сульфатов (табл. 3.5). Во всех пробах ирригационных вод вне зависимости от фазы поверхностного стока присутствует сода, количество которой в среднем равно примерно 2 мг-экв/л. В составе гидрокарбонатов щелочных земель кальций превалирует над магнием.

Т а б л и ц а 3.3

Реакция среды ирригационных вод и пахотного слоя черноземов  
обыкновенных эродированных, Приобье

Фаза поверхностного стока, степень смытости	Статистические параметры				
	n	lim, мм	M ± m, мм	б	V, %
<b>Ирригационные воды, июль 1986 г.</b>					
Начало	8	8,65 - 9,08	8,82 ± 0,05	0,15	2
Середина	8	8,10 - 8,72	8,49 ± 0,07	0,19	2
Конец	8	8,64 - 8,80	8,72 ± 0,02	0,06	1
<b>Ирригационные воды, июль 1990 г.</b>					
Начало	5	8,45 - 8,65	8,60 ± 0,04	0,09	1
Середина	5	8,60 - 8,65	8,61 ± 0,01	0,02	1
Конец	5	8,50 - 8,65	8,62 ± 0,03	0,08	1
<b>Поливная вода, июль 1986 г.</b>					
	2	-	7,20	-	-
<b>Поливная вода, июль 1990 г.</b>					
	2	-	7,15	-	-
<b>Пахотный слой (0 - 20 см)</b>					
Несмытые	19	6,45 - 7,50	7,10 ± 0,05	0,21	3
Слабосмытые	17	6,80 - 7,70	7,25 ± 0,06	0,27	4
Среднесмытые	8	7,00 - 8,10	7,57 ± 0,12	0,35	5

Т а б л и ц а 3.4

Содержание водно-растворимых катионов и анионов в различные фазы  
иригационного стока с черноземов Приобья, мг-экв/л (n = 8)

Фаза поверхностного стока	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> +CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
Начало	4,00	2,49	4,74	0,14	7,27	8,61	0,74	3,27
Середина	3,03	1,90	4,20	0,08	6,37	7,13	0,64	2,80
Конец	3,31	2,33	4,65	0,11	6,85	8,61	0,66	2,93

Легкорастворимые соли в основном представлены сульфатом и хлоридом натрия, частично хлоридом калия. Важно подчеркнуть, что общее количество солей натрия и калия практически равно сумме катионов щелочных земель.

Наличие соды в поверхностном стоке ирригационных вод предполагает ее присутствие и в талых. В таком случае становится понятной низкая эрозионная стойкость чернозема обыкновенного в мерзлом и талом состоянии, образование почвенной корки после полива и обильных ливней, значительная потеря водно-растворимого гумуса со стекающими водами различного генезиса.

Т а б л и ц а 3.5

Гипотетический состав солей и их количество в различные фазы ирригационного стока с черноземов Приобья, мг-экв/л (n = 8)

Фаза поверхностного стока	Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Mg(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	NaHCO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	MgSO <sub>4</sub>	NaCl	KCl
Начало	4,00	2,49	2,11	3,19	Нет	0,63	0,13
Середина	3,08	1,88	2,16	3,01	-"	0,54	0,10
Конец	3,31	2,33	1,78	3,01	-"	0,55	0,10

Была обнаружена тесная зависимость между потерями водно-растворимого гумуса с черноземов обыкновенных и реакцией среды снеготалых и поливных вод: чем выше значение pH среды, тем выше концентрация гумуса в поверхностном стоке и больше потери гумуса. В начале стока талых вод pH > 7 (7,00 - 7,44). Концентрация углерода последних достигает 0,092 г/л. В период интенсивного стока реакция среды была близка к нейтральной и концентрация водно-растворимого углерода уменьшилась в 1,5 раза, а затем увеличилась примерно в 2 раза в конце стока, когда реакция среды талых вод изменилась до слабощелочной. Реакция среды в ирригационных водах, вне зависимости от фазы поверхностного стока, выше 8,0 (8,10 - 9,08), что отрицательно сказывается на количестве отчуждаемого углерода. Его концентрация в стекающих поливных водах почти в 2 раза выше, чем в талых.

### 3.3. Вынос химических элементов с твердой составляющей стока

Талые воды, мигрирующие по поверхности распаханных склонов, кроме выщелачивания химических элементов, еще и разрушают почвенный покров. В зависимости от формы склона происходит либо плоскостной смыв почв, либо линейный размыв почв и почвообразующих пород. И смыв, и размыв сопровождаются огромным выносом твердой фазы в гидрографическую сеть, что приводит как к выводу земель из

сельскохозяйственного производства, так и к обмелению рек и водоемов. Оба эти процесса крайне нежелательны и с экологических позиций.

Судить об экологических последствиях эрозионных процессов в том или ином регионе, опираясь лишь на данные модуля смыва, было бы затруднительно, поскольку этот модуль - величина весьма динамичная. Она зависит, при прочих равных условиях, от количества твердых атмосферных осадков, запаса холода в почве, типа снеготаяния и эрозионной стойкости черноземов.

Исследования показали (Танасиенко, 1992), что, начиная с капельного стока и до того момента, пока кинетическая энергия потока не будет достаточной для отрыва и транспортировки отдельных почвенных частиц, талые воды абсолютно чистые. Как только поток воды запасет достаточное количество энергии, в поверхностных водах обнаруживается то или иное количество почвенного материала, именуемого в эрозиоведении мутностью и измеряемого г/л или кг/м<sup>3</sup>. Чем выше кинетическая энергия потока талых вод и чем на большую глубину оттаяла почва, находящаяся в переувлажненном состоянии и поэтому характеризующаяся ничтожной эрозионной стойкостью, тем значительнее мутность талых вод. Представления о мутности потоков талой воды, стекающей по поверхности эродированных почв Западной Сибири, дают материалы табл. 3.6. Они свидетельствуют, что в начале стока мутность талых вод варьирует в пределах 0,1 - 3 г/л и лишь в отдельные годы возрастает до 7 г/л. В середине стока, когда кинетическая энергия потока максимальна, мутность талой воды достигает громадных величин - порядка 50 - 70 г/л - и в конце стока, когда происходит сброс накопившейся в оттаявшем слое избыточной воды, становится адекватным началу стока.

## Мутность талого стока на слабосмытых черноземах Западной Сибири

Фаза поверхностного стока, степень смытости	Статистические параметры				
	n	lim, мм	M ± m, мм	б	V, %
<b>Черноземы оподзоленные, многоснежный гидрологический год, Присалаирье</b>					
Начало	9	0,1 - 1,9	0,5 ± 0,1	0,5	112
Середина	15	0,8 - 23,8	6,2 ± 1,7	6,7	107
Конец	4	0,1 - 2,7	0,9 ± 0,6	1,2	133
<b>Черноземы выщелоченные, очень многоснежный гидрологический год, Кузнецкая котловина</b>					
Начало	3	1,2 - 2,0	1,7 ± 0,3	0,5	29
Середина	15	2,5 - 45,4	17,0 ± 3,9	14,9	87
Конец	6	1,3 - 11,2	3,3 ± 1,6	3,9	118
<b>Черноземы выщелоченные, многоснежный гидрологический год, Присалаирье</b>					
Начало	8	0,4 - 7,9	2,5 ± 0,9	2,7	108
Середина	31	1,9 - 65,8	15,9 ± 3,4	19,0	119
Конец	13	0,2 - 3,1	0,9 ± 0,2	0,9	99
<b>Черноземы обыкновенные, нормальный гидрологический год, Приобье</b>					
Начало	6	0,4 - 1,1	0,7 ± 0,1	0,2	28
Середина	9	1,1 - 22,4	10,5 ± 2,6	7,7	73
Конец	6	0,4 - 2,0	0,7 ± 0,2	0,6	86

Важно подчеркнуть, что мутность потока талых вод определяется не только кинетической энергией потока, но и снежностью гидрологического года, глубиной промерзания почвенной толщи, запасами холода в профиле почв, а также интенсивностью весенних процессов. В нормальные по снежности гидрологические годы мутность водного потока относительно невелика даже в период интенсивного стока (табл. 3.6). С увеличением мощности снежного покрова и уменьшением глубины промерзания, но высокой активностью весенних процессов, когда происходит большая водоотдача из снега, мутность талых вод резко возрастает. Следовательно, исходя из мутности водных потоков, можно заключить, что экологически безопасны малоснежные и нормальные гидрологические годы, а многоснежные и очень многоснежные по этому показателю необходимо классифицировать как экологически опасные.

Характерная черта твердой составляющей стока - высокое содержание углерода и обменных оснований в сравнении с пахотным слоем эродированных почв, что объясняется избирательным выносом преимущественно тонкодисперсных частиц. В начальной фазе поверхностного стока талых вод, когда кинетическая энергия потока еще недостаточно высока, чтобы перемещать отдельные почвенные макроагрегаты, происходит отрыв и транспортировка лишь тонкодисперсных частиц. Почвенные частицы при этом сильно гидратируются, теряют связь, приобретают свойства текучести и легко переносятся талыми водами при незначительных скоростях склонового стока (Маккавеев, 1970). Мутность потока при этом варьирует в пределах 0,1 - 7,0 г/л. Те же фракции и по тем же причинам выносятся в конце стока. В фазу интенсивного поверхностного стока, когда кинетическая энергия максимальна, наблюдается вынос всей почвенной массы на глубину оттаявшего слоя. А.Д. Орлов (1983) отмечает, что в экстремумы стока выносятся даже крупная пыль и песок. Мутность потока в эту фазу варьирует от 15 до 70 г/л.

Нами установлено, что твердая составляющая стока аккумулирует тем больше углерода, чем более дисперсны почвенные частицы (Танасиенко, 1977). В начале и конце стока в гранулометрическом составе твердых продуктов на долю ила и мелкой пыли приходится около 60% от общего количества частиц, слагающих почву. Поэтому твердые продукты при низкой кинетической энергии потока вмещают максимальное количество углерода и на 12 - 17% превышают его содержание в пахотном слое черноземов выщелоченных слабосмытых (табл. 3.7). В продуктах твердого стока приобских черноземов вследствие среднесуглинистого гранулометрического состава избирательный вынос выражен сильнее чем в кузнецких, что привело к большей (на 45 и 38%) аккумуляции углерода в начальную и конечную фазы стока. Подобная избирательность в выносе твердой фазы почвы и аккумуляции ею углерода свойственна и темно-серым лесным почвам Присалаирья (Ковалева, 1992).

В период интенсивного стока в гранулометрическом составе твердых продуктов преобладают грубодисперсные частицы и на долю ила и мелкой пыли приходится лишь 40% от общего количества частиц, слагающих почву. Грубодисперсный гранулометрический состав твердых продуктов середины стока талых вод обусловливает пониженное, в сравнении с пахотным слоем слабосмытых черноземов, содержание углерода.

Количество поглощенных кальция и магния в твердых продуктах в различные фазы стока повторяет аккумуляцию углерода.

Потери углерода с твердой составляющей стока контролируются осенней увлажненностью почвы, снегозапасами и запасами холода в почвенном профиле, интенсивностью снеготаяния, величиной смытой почвенной массы и концентрацией в ней гумуса (табл. 3.8). В малоснежные годы черноземы выщелоченные тучные с твердой фазой стока теряют в 4 раза больше углерода, чем с жидкой. В нормальные и многоснежные годы потеря этого элемента с твердой составляющей стока колеблется в очень широком интервале и не подчиняется какой-либо закономерности.

Т а б л и ц а 3.7

Физико-химическая характеристика продуктов твердого стока талых вод  
и пахотного (0 - 20 см) слоя почв

Год	Фаза поверхностного стока, степень смытости	n	С, %	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>
				мг-экв./100 г почвы	
1	2	3	4	5	6

**Чернозем оподзоленный. Присалаирье**

Малоснежный	Начало	4	4,35	39,2	5,6
	Середина	8	3,65	27,8	4,1
	Конец	4	3,94	33,6	4,9
Нормальный	Начало	8	3,94	35,0	5,2
	Середина	8	3,53	24,1	3,9
	Конец	4	3,07	28,7	4,5
	Слабосмытый	40	3,82	28,4	4,2

**Чернозем выщелоченный. Кузнецкая котловина**

Нормальный	Начало	4	5,28	40,3	5,5
	Середина	4	5,04	36,8	5,2
	Конец	3	5,62	39,6	5,4
Многоснежный	Начало	7	5,97	43,5	6,2
	Середина	10	5,62	36,9	5,3
	Конец	4	6,31	42,0	6,1
Очень многоснежный	Начало	5	5,62	40,4	6,0
	Середина	7	5,28	39,9	5,9
	Конец	3	5,62	41,6	6,2
	Слабосмытый	13	5,22	43,0	8,4

**Чернозем обыкновенный. Приобье**

Очень малоснежный	Начало	9	4,38	27,4	4,0
	Середина	15	3,59	24,0	3,5
	Конец	7	4,70	29,4	4,2
Малоснежный	Начало	5	4,06	25,1	3,5
	Середина	9	2,96	23,5	3,4
	Конец	4	4,00	27,8	4,2
Нормальный	Начало	8	3,59	25,0	3,3

	Середина	8	3,36	23,4	3,0
	Конец	8	3,65	25,8	3,4
Многоснежный	Начало	12	6,35	28,9	3,8
	Середина	32	4,00	23,9	3,1
	Конец	8	5,88	29,0	3,9
Очень многоснежный	Начало	14	4,69	25,8	3,9
	Середина	21	3,36	21,6	3,4
	Конец	5	4,17	26,1	3,8
	Слабосмытый	18	3,42	26,2	4,0
<b>Темно-серая лесная почва. Присалаирье</b>					
Нормальный	Начало	2	2,90	26,9	2,3
	Середина	2	3,43	27,3	2,2
Очень многоснежный	Начало	2	4,27	33,2	2,6
	Середина	2	4,11	27,1	2,0
	Слабосмытый	6	2,71	19,3	2,4

Т а б л и ц а 3.8

Вынос химических элементов твердой составляющей стока талых вод

Годы	Углерод	Кальций	Магний
1	2	3	4

**Чернозем оподзоленный слабосмытый. Присалаирье**

Малоснежный	71	12	1
Нормальный	455	82	8

**Чернозем выщелоченный слабосмытый. Кузнецкая котловина**

Нормальный	207	30	2
Многоснежный	290	42	4
Очень многоснежный	498	73	6

**Чернозем обыкновенный слабосмытый. Приобье**

Очень малоснежный	42	5	1
Малоснежный	52	7	1
Нормальный	425	49	5



Многоснежный	657	68	5
Очень многоснежный	749	71	6

**Темно-серая лесная слабосмытая почва. Присалаирье**

Нормальный	115	16	1
Очень многоснежный	148	21	2

Представляют определенный интерес материалы, интерпретирующие долевое участие жидкого и твердого стока в выносе биогенных элементов с эродируемого склона (ср. табл. 3.2 и 3.8). В очень малоснежные и малоснежные годы при одной и той же массе смытой почвы, но разных объемах жидкого стока на долю последнего в Кузнецкой котловине приходится лишь 8% от суммарного выноса углерода, что в 4 раза меньше, чем в Приобье. Большой поверхностный сток вод при одинаковой массе смытой почвы в нормальные гидрологические годы привел к увеличению доли углерода, отчуждаемой тальми водами в этих двух регионах. В многоснежные гидрологические годы масса смытой почвы увеличивается в 2 - 4 раза по сравнению с нормальными годами, а объем стока - в 1,2 - 1,4 раза. Поэтому в многоснежные годы основная потеря углерода приходится на твердую составляющую стока.

Долевое участие в выносе щелочноземельных катионов аналогично отчуждению углерода, обособленно лишь отчуждение щелочных катионов. Вне зависимости от снежности года 60 - 95% их выноса приходится на жидкую фазу стока.

## Глава 4. ЛИНЕЙНАЯ ЭРОЗИЯ

Ежегодно значительные площади обрабатываемых земель разрушаются в результате линейной эрозии. Овраги угрожают жилым и промышленным зданиям, путепроводам, дорогам, линиям связи и электропередач.

Наиболее интенсивно современная эрозия проявляется в районах с определенным сочетанием климата и рельефа. Известно, что скорость денудационных процессов, в том числе и оврагообразования, определяется наклоном земной поверхности и массой стекающих с нее талых и ливневых вод. Последняя зависит от величины водосборного бассейна.

Естественная лесостепная растительность на территории Западной Сибири сильно изменена в результате антропогенной деятельности. Крупные лесные массивы почти не сохранились - преобладают березовые колки и куртины. В результате распашки большей части площади водосборов, сведения лесов и интенсивной нагрузки на сохранившуюся естественную растительность склонов долин рек и логов, лесостепная растительность уже не обладает былой водопоглотительной способностью. Культурные агроценозы характеризуются значительно меньшим водопоглощением, в результате чего увеличивается объем поверхностного стока талых и ливневых вод.

Прямое антропогенное влияние на зарождение оврагов происходит при прокладке дорог, устройстве карьеров, планировке площадок под застройку и т. п. В этих случаях уничтожается не только дерновый покров, но и все почвенные горизонты, обнажаются легкоразмываемые лессовидные суглинки, в которых концентрированный поверхностный сток быстро формирует овраги значительной протяженности.

Основоположником теории происхождения оврагов следует считать В.В. Докучаева (1949), открывшего и обосновавшего эволюционный ряд - овраг - балка - речная долина. Он рассматривал овраги как саморазвивающуюся эрозионную форму рельефа, существовавшую до человека. Этот тезис сыграл решающую роль в формировании мировоззрения последующих ученых-эрозиоведов. Важнейшей вехой в развитии учения о генезисе оврагов следует считать работу А.М. Панкова (1937), который подразделил эрозионные процессы на древнюю эрозию и формы рельефа, связанные с ней, и современную плоскостную и линейную. В последнюю включают все эрозионные формы, созданные концентрированными временными водными потоками.

Овраги подразделяются на две большие группы: склоновые (береговые) и донные. В Западной Сибири развиты оба типа оврагов. Склоновые, в

основном первичные, прорезают уступы и крутые приустьевые участки склонов долин рек, балок и суходолов. Донные овраги (вторичные), как правило, прорезают днища суходольно-балочной сети. Овраги, как специфическое эрозионное образование в рельефе, развиты практически на всех континентах Земного шара. Поскольку овраги являются продуктом взаимодействия временных водных потоков с почвами и почвообразующими породами, которые, в свою очередь, обусловлены сочетанием климатических, геоморфологических, геологических, биологических и антропогенных факторов, то двух совершенно одинаковых оврагов в природе найти нельзя. Этим еще раз доказывается многообразие и неповторимость природы.

Облик оврагов существенно зависит от физико-механических свойств рыхлых пород, в которых он развивается. Обычно поперечный профиль склонового оврага в фазе активного роста представляет собой треугольник, а угол наклона боковых стенок зависит от гранулометрического состава рыхлых пород. Чем легче породы, тем меньший угол естественного откоса имеют овраги. В зависимости от гранулометрического состава пород угол устойчивого естественного откоса колеблется в пределах 36 - 43°. Короткие (100 - 400 м) склоновые овраги, прорезающие, как правило, присетевые крутые выпуклые склоны имеют простые треугольные поперечные профили. В процессе роста происходит формирование как продольного, так и поперечного профиля оврага, причем эти процессы непосредственно связаны с фазовым состоянием оврагов (Соболев, 1948).

Первая стадия - промоины или рытвины, выражается в образовании на поверхности почвы линейной эрозионной формы, которую невозможно заровнять в процессе обычной вспашки или предпосевной обработки полей. Обычно глубина такой промоины составляет 35 - 45 см. В дальнейшем происходит ежегодное углубление ее и постепенная трансформация в настоящий овраг. Первая или начальная стадия оврага является наиболее благоприятным моментом для успешной борьбы с оврагообразованием, поскольку требует минимальных материальных затрат при большой окупаемости и высокой эффективности результатов рекультивации.

Вторая стадия - врезание оврага вершиной посредством водобойного колодца, представляющего собой вершину оврага с вертикальными боковыми и передней стенками глубиной 1,5 - 9 м. Под действием поверхностного стока талых и ливневых вод, падающих вниз, происходит своеобразное дробление водяной струи и образование многочисленных брызг, которые интенсивно увлажняют стенки оврага. Небольшая часть талой или ливневой воды в начальную фазу стока сбегает по стенкам вершины оврага. Переувлажненные почвообразующие рыхлые породы на боковых и передней стенках вершины начинают оплывать и обваливаться вниз, где их активно раздробляет, измельчает, а затем выносит водный поток. Постепенно в передней стенке образуется своеобразная ниша, которая со временем углубляется в переднюю стенку водобойного колодца, разрастаясь в ширину и высоту. Наконец наступает такой момент, когда под действием силы тяжести образовавшийся карниз, состоящий из

почвенных горизонтов, обрушивается вниз. Величина обвалившейся части зависит от множества факторов: физико-механических свойств рыхлых пород и почвенного покрова, наличия древесно-кустарниковой растительности и травяного покрова, степени антропогенного воздействия.

Необходимо отметить, что широко распространенное мнение о сдерживании и замедлении роста оврагов лугово-степной растительностью и лесом не отражает существующей действительности для оврагов, находящихся в стадии роста посредством водобойного колодца и последующей стадии (третьей) выработки профиля продольного равновесия. В первую очередь, это обусловлено тем, что глубина водобойного колодца, как правило, немного превышает глубину проникновения основной массы корней трав и деревьев. Во-вторых, подмыв стоящих на краю водобойного колодца деревьев вызывает их падение вниз с одновременным разрушением корнями упавшего дерева значительного участка почвенно-растительного покрова вокруг водобойного колодца, тем самым способствуя дальнейшему росту оврага.

В третьей стадии происходит активный и быстрый рост оврага в длину с одновременным углублением и расширением, причем эти два параметра оврага тесно связаны между собой посредством угла естественного откоса для рыхлых пород, прорезаемых оврагом. Для оврагов, находящихся в стадии выработки продольного профиля равновесия, характерны свежие, незадернованные склоны с широко развитыми процессами осыпания и обваливания, обусловленные, в первую очередь, углублением тальвега оврага. Пионерная растительность поселяется по днищу оврага и нижним наиболее увлажненным частям склонов, преимущественно северных экспозиций. Длинные (800 метров и более) овраги имеют большое задернение в приустьевых частях, здесь развиваются кустарники ивовых пород, иногда самосевом произрастают осина и береза. В устьях склоновых оврагов обычно формируются обширные конуса выноса, на поверхности которых ежегодно откладывается большая часть выносимых из оврага водным потоком разрушенных рыхлых пород. Поэтому приустьевая часть продольного профиля тальвега оврага ежегодно постепенно выполаживается и имеет наименьший уклон, тем самым косвенно помогая стабилизации склонов. Следует отметить, что эти склоны имеют наибольший возраст по отношению к вышележащим по тальвегу склонам.

Четвертая стадия развития оврагов (стадия затухания) наступает при достижении продольным профилем оврага параметров, близких к значению профиля предельного “равновесия”; в это время прекращается донная эрозия, происходит дальнейшее развитие склонов, направленное на уменьшение углов наклона и выполаживание бровок. Вынос рыхлых пород сокращается с увеличением площади задернения склонов и днищ оврагов. При полном задернении количественно и качественно изменяется рост оврагов. Количественное заключается в резком сокращении выноса мелкозема, а качественное - в переходе процессов линейной и плоскостной эрозии (ускоренной) в медленные процессы геологической денудации. Дальнейшее изменение всех параметров задерненных оврагов будет происходить на протяжении столетий и даже тысячелетий.

С момента образования до выработки профиля “равновесия” и задернения оврага зачастую проходит время, намного превышающее жизнь человека. В силу этого исследователь не имеет возможности проследить весь процесс в целом, а лишь наблюдает развитие оврагов в различных стадиях. Основной прирост оврагов в длину и глубину происходит в первые 5% времени и достигает 90% своего размера и 35% объема, если за 100% принять весь период развития оврагом до выработки профиля “равновесия” (Косов и др., 1973, 1978). За 60% времени все параметры роста оврага почти полностью прекращаются, наступает стадия переотложения материала в самом овраге и выполаживание последнего.

В целом из площади водосборных бассейнов овраги обычно прорезают наиболее крутые участки склонов долин рек, логов, уступов террас. Причем в каждом отдельном случае размыв склона обусловлен моментом наибольшей эродирующей способности водного потока.

Естественные склоны земной поверхности представлены в виде сочетания различных кривых с преобладанием выпуклой или вогнутой части. Движение тела по таким поверхностям различно. Для выпуклой поверхности характерна медленная скорость в начале движения из-за более пологого наклона и дальнейшее нарастание ее в средней и нижней частях за счет увеличения угла наклона. Тело движется с нарастанием скорости и кинетической энергии. Следовательно, тело, движущееся по выпуклому склону, приобретает наибольшую скорость и энергию в нижней части склона.

Вогнутый склон в верхней части, как правило, имеет наибольший уклон и поэтому сообщает телу большую скорость в первую треть времени. Далее уклон постепенно уменьшается, и скорость движения тела, естественно, замедляется. В силу этого, наибольшую скорость и энергию тело имеет в средней и меньшую - в нижней частях вогнутого склона.

Таким образом, водный поток при движении по прямому и выпуклому склону наибольшую эродирующую силу будет иметь в нижней части склона, а при движении по вогнутому склону - в средней. В природе прямые, выпуклые и вогнутые склоны в чистом виде встречаются редко, чаще мы наблюдаем более сложные (прямолинейно-выпуклые, выпукло-вогнутые) формы.

Геоморфологическое исследование определенной местности позволяет установить преобладание того или иного профиля склона. При прочих равных условиях скорость потока талых, ливневых вод и их эродирующая сила будут возрастать от вогнутых к выпуклым. Наибольшей энергией обладает поток, падающий с обрыва.

Если в рельефе преобладает тот или иной тип склонов, то можно говорить об относительном запасе энергии, которой рельеф обладает, и стадии, в которой он находится (Калесник, 1936; Пенк, 1961; Философов, 1967).

При достаточно больших размерах водосбора собирающего типа формируется водный поток, размывающий и выносящий огромную массу почвы и почвообразующих пород. В Западной Сибири с геоморфологических позиций предпосылки оврагообразования наиболее ярко выражены в расчлененном рельефе Бие-Чумышской возвышенности,

Присалаирья и Приобья. В оврагоопасных районах расчленение земной поверхности реками, логами и суходолами составляет 1,2 - 2,6 км/км<sup>2</sup>, а вертикальное - 30 - 70 м. При этом водосборная площадь оврагов варьирует от 15 до 70 га. На этих водосборах формируется поверхностный сток объемом от 1500 до 72000 м<sup>3</sup>. Объем поверхностного стока, проходящий через замыкающие створы, изменяется в больших пределах, что является одним из главных факторов интенсивности оврагообразования.

Одним из наиболее выразительных показателей интенсивности процессов линейной эрозии следует считать прирост оврагов в длину (Соболев, 1948, 1960; Косов, 1960; Рожков, 1968, 1971; Косов и др., 1976). Различают несколько показателей роста оврагов - за год, сезон, ливень, но наиболее широко распространенный - за год.

Наибольшая зависимость прироста оврагов в длину наблюдается прежде всего от гранулометрического состава прорезаемых оврагом почв и пород, а также от площади водосбора. На Бие-Чумышской возвышенности в период с 1945 по 1967 гг. суммарный прирост оврагов составил 135 км (Путилин, 1988). Среднегодовой прирост вершин оврагов в длину колебался от 3 до 13 м и был существенно выше по сравнению с европейской частью страны, где этот прирост варьировал от 0,5 до 2 м (Косов, 1981; Рожков, 1981). Следовательно, в районах древнего земледелия скорость роста оврагов в длину намного ниже таковой в Западной Сибири, в частности на Бие-Чумышской возвышенности, в Присалаирье и Приобье. Объясняется это прежде всего тем, что овраги на европейской территории страны уже прошли стадию активного роста, а в Западной Сибири большинство их находится в этой стадии и одновременно происходит зарождение новых.

Выход вершин склоновых оврагов на пологие поверхности древних террас и склонов Бие-Чумышской возвышенности, Присалаирья и Приобья вызывает интенсивное ветвление оврагов и формирование многочисленных отвершков. Это вызвано прежде всего выровненностью водосборного бассейна и отсутствием четко выраженной ложбины стока, а также продвижением вершины оврага в центральной части водосбора, что вызывает поступление поверхностных вод в вершину оврага с разных сторон. Глубокий водобойный колодец и легкоразмываемые лессовидные суглинки способствуют быстрому образованию отвершков. В этом случае прирост каждой вершины в отдельности становится значительно ниже, а фронт наступления оврага и отчуждения земель увеличивается. Отвершки оврага часто соединяются, образуя не разрушенные эрозией отдельные островки земной поверхности с отвесными стенками, которые благодаря лессам могут сохраняться годами. Общая картина подобного оврага производит удручающее впечатление, а земли на многие десятки лет выводятся из хозяйственного использования.

Располагая данными о длине, ширине и глубине оврага, можно рассчитать объем вынесенных пород, который определяет одну из отрицательных сторон деятельности оврагов по заносу и заилению нижележащих пониженных участков долин и русел рек. Расчеты показывают, что короткие береговые овраги при длине 400 м, глубине 20 и ширине 26 м имеют объем около 34000 м<sup>3</sup>, с увеличением длины оврага до

1000 - 1200 м объем вынесенных пород достигает 80000 - 100000 м<sup>3</sup>. Большая часть рыхлого материала отлагается непосредственно в устье оврага за счет уменьшения угла тальвега, растекания водного потока и резкого уменьшения его транспортной способности. Здесь формируются мощные конуса выноса, преимущественно грубого песчаного состава, более тонкие частицы уносятся водным потоком и отлагаются в реках на большом удалении от устьев оврагов.

Широкое распространение оврагов характерно также и для Новосибирской области. Только в двух геоморфологических районах - Присалаирье и Приобье - насчитывается около 800 оврагов, вершины которых ежегодно прирастают на 1,6 км. При этом разрушается примерно 2 га сельскохозяйственных угодий и выносятся свыше 128 тыс. м<sup>3</sup> почв и почвообразующих пород. Общая площадь разрушенных оврагами земель составляет 509 га, а объем вынесенных пород - 28,6 млн м<sup>3</sup>. Сельскохозяйственные угодья практически навсегда выведены из использования, так как их рекультивация для Западной Сибири нерентабельна, а окупаемость затрат на их восстановление при условии посева многолетних трав составит от 20 до 40 лет в зависимости от глубины оврага (Волощук, 1986).

На территории, примыкающей к Новосибирскому водохранилищу, по объему вынесенного материала и густоте овражной сети выделены четыре степени нарушения природной среды (Танасиенко, Путилин, 1994):

1. Экологического бедствия - из 19 оврагов протяженностью 22,5 км объем вынесенных рыхлых пород превышает 1 млн м<sup>3</sup>.

2. Критического состояния природных систем - 147 оврагов протяженностью более 98 км вынесли свыше 4,8 млн м<sup>3</sup> рыхлых пород.

3. Сильно нарушенных природных систем - 26 оврагов протяженностью 11,4 км поставили в водохранилище 0,6 млн м<sup>3</sup> материала.

4. Нормального состояния природных ландшафтов - эта территория занимает низкие бортовые террасы.

Таким образом, только 214 оврагами, распространенными в пределах водосборной площади Новосибирского водохранилища, разрушено 178 га сельскохозяйственных угодий и вынесено 6,5 млн м<sup>3</sup> рыхлого материала. Интенсивное развитие оврагов значительно ухудшает экологическое состояние природных систем, что безотлагательно требует применения комплекса агроомелиоративных приемов, направленных на снижение поверхностного стока вод и предохранение почв от плоскостного смыва и линейного размыва.

В целом на юге Западной Сибири выделяются несколько районов с различным проявлением плоскостной и линейной эрозии, а также развитием дефляционных процессов (Путилин, Танасиенко, 1998):

1. Прииртышский район слабого развития процессов эрозии.

2. Обширный равнинный бессточный район озер Чаны и Кулундинское, где развита дефляция, но отсутствует эрозия почв.

3. Приобское плато и Бие-Чумышская возвышенность с их средней интенсивностью плоскостной и овражной эрозии.

4. Черепановская равнина - район слабого развития плоскостной и сильной - очаговой овражной эрозии.

5. Сокурский, Буготакский, Кузнецкий, Притомский, Присалаирский - районы слабого развития овражной эрозии, но среднего - плоскостной.



## Глава 5. ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОЧВЕННОЙ БИОТЫ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭРОЗИИ

Высокая реактивность почвенных систем Сибири на агрогенные и техногенные нагрузки сопровождается проявлением в них негативных признаков, которые обуславливают нарушение важнейших биоценологических функций почв. Первопричиной ослабленности и замедленности самовосстановления многих биологических и геохимических механизмов к воздействию острых и хронических стрессов оказывается климатический фактор. Сжатые сроки действия активных положительных температур на фоне многолетней или вечной мерзлоты, как и длительного сезонного промораживания почв, предопределяют патологический характер развития почвенных процессов в антропогенно-измененном ландшафте Сибири. Почвы более теплых регионов России при том же наборе антропогенного вмешательства менее уязвимы. Даже такой распространенный фактор, как распахка, быстро приводит к появлению нежелательных последствий: усилению минерализации гумуса, трансформации физиологических, биохимических и структурных характеристик почвенной микробиоты.

Физическая суть эрозионных трансформаций исследована достаточно глубоко, нежели механизмы биологической деградации почв. В этой связи их расшифровка представляется своевременной, поскольку биогенные факторы прямо и косвенно участвуют в процессах эрозионной стойкости почв, влияя на оструктуривание, агрегирование и, в итоге, на плодородие. Для диагностики биологических последствий той или иной формы эрозии необходимо вскрыть особенности реагирования биотического окружения человека, в том числе репродуктивного населения растительных, животных и микробных сообществ, специфику ферментативной активности и пространственно-временной дифференциации органо-минерального вещества почв, ухудшения качества природных ресурсов в деградированных ландшафтах.

В этой связи для массивов, подверженных плоскостной и линейной эрозии, несомненный интерес представляет информация о качестве почв: их эрозионном потенциале, продуктивной способности, минерализационной активности, биогенной насыщенности, фито- и энтеропатогенной безопасности. Для оценки почвенного благополучия наиболее показательны микробиологические критерии. Расшифровка структурно-функциональных преобразований микробных сообществ актуальна как в отношении почв, фактически подвергшихся влиянию эрозионных процессов, так и почв с предпатологией, что важно при прогнозе деградации эрозионно опасных аналогов.

Сведения о биологическом воздействии эрозии, как факторе среды, по литературным сообщениям, фрагментарны, требуют обобщения и анализа. При оценке влияния степени эродированности на структурно-функциональные параметры почвенной микробиоты проанализированы популяции бактерий, грибов, актиномицетов и водорослей, численность отдельных физиологических групп, продукционная, ферментативная и минерализационная активность микробиоты, санитарно-микробиологическое благополучие почв. Особое внимание уделено биологическим признакам раннего проявления деградации, биологическому прогнозу тенденций ее развития и тестам для оперативного мониторинга. В той или иной степени представлены особенности развития микробиоты в сукцессионном ряду: целинные и фоновые почвы, эрозионно опасные земли, почвы с ранней патологией, эродированные почвы.

Биодеградационные процессы, обусловленные снеготаянием, практически не исследованы. В условиях Сибири познание механизмов влияния снега на эрозионное разрушение биологических сообществ и ухудшение биологических свойств почв требует комплексного подхода. Ведь снежный покров выступает не только в качестве существенной защиты почв от низких температур, но и мощного буфера, адсорбирующего вблизи промышленных центров широкий спектр агентов техногенного и биогенного происхождения. На фоне глубокого промерзания почв и сильной расчлененности территории талые воды стекают с огромной энергией, вызывая в транзитных и аккумулятивных позициях ландшафта ежегодную хроническую дестабилизацию функционирующих экосистем, разбалансирование многих почвенно-биохимических механизмов, в том числе почвообразования и самоочищения.

Микробиологическая экспертиза снежных масс свидетельствует о мощном биологическом загрязнении снежного покрова в любых проекциях осаждения аэрогенных загрязнителей (Артамонова и др., 1998). В многоснежный год содержание микроорганизмов в снеге по числу колониеобразующих единиц (КОЕ) превышает уровень микробного присутствия в почвах в летне-осенние сроки. Максимум КОЕ микроорганизмов принадлежит группам, утилизирующим "голодный" агар, а также минеральные источники азота (до 6 млн КОЕ/г снеготалой воды). Высокую долю в таксономической структуре бактериального комплекса снежных масс в пределах пригородной зоны Новосибирска составляют анаэробные аминоавтотрофные бактерии (табл. 5.1).

Можно предположить, что основным источником их поступления являются аэрогенные выбросы промышленных предприятий, ТЭЦ, воздушного и наземного транспорта. В городе доминантами микробного загрязнения выступают аэробные аминоавтотрофы, но в структуре олиготрофного звена нередко присутствуют анаэробные представители.

Т а б л и ц а 5.1

## Биологическое загрязнение снежного покрова, апрель 1997 г.

Место отбора проб	рН	МПА		КАА					Мишустина		МПА		
		всего	НС	СБ	всего	Б	АНБ	П+А	всего	АНБ	Bacillus		
											1	2	3
<b>Присалаирье, 70 км от Новосибирска</b>													
Лес	5,1	75	0	75	76	71	0	0	129	27	7	113	40
Пашня	6,0	132	0	132	160	149	0	2	227	31	0	273	73
Кювет <sup>1</sup>	5,7	22	0	22	62	33	27	0	44	2	0	53	7
<b>Приобье, 20 км от центра Новосибирска</b>													
Луг	6,3	215	0	183	1582	42	1489	4	90	69	13	89	13
Кювет <sup>1</sup>	6,7	17	3	13	3413	33	3300	60	73	60	0	0	0
Кювет <sup>2</sup>	6,4	0	0	0	5910	33	5803	53	237	197	0	0	0
<b>Жилая зона Новосибирска</b>													
Кювет <sup>1</sup>	8,6	627	0	627	653	633	0	0	613	0	40	140	433
Кювет <sup>2</sup>	8,0	880	140	740	2773	2700	0	73	1273	0	87	160	493

Примечание. Численность КОЕ, тыс./мл приводится по средним данным.

Условные обозначения: МПА - мясо-пептонный агар; КАА - крахмало-аммиачный агар; АНБ - анаэробные бактерии; НС - неспорообразующие бактерии; СБ - спорообразующие бактерии; Б - бактерии; П - проактиномицеты; А - актиномицеты;

1 - транслювиальная позиция ландшафта; 2 - трансаккумулятивная позиция ландшафта;

1 - B. cereus; 2 - B. agglomeratus; 3 - B. megaterium.

Максимальное присутствие микроорганизмов этой группы выявлено в местах проекции осаждения перемещаемых по розе ветров аэрогенных выбросов. Влияние наземного транспорта на развитие микробиоты в придорожных экосистемах, расположенных на элювиальных и трансэлювиальных позициях ландшафта, характеризуется стерилизующим действием по большинству микробиологических параметров. Однако в трансаккумулятивных позициях ландшафта велика опасность биологического загрязнения, в том числе по санитарно-гигиеническим тестам. Особую тревогу вызывает высокий уровень содержания в снежных массах придорожных городских экосистем бактериальной микрофлоры широкого эколого-трофического спектра.

Темпы гибели привнесенной микрофлоры, транспортируемой весной талыми водами в почвы, в пригородных и урбанизированных экосистемах различны. Остаточная зараженность почв аминоавтотрофными микроорганизмами в городе составила 80%, в то время как в пригородной зоне (20 км от города) снизилась до 48% и по мере удаленности (70 км от города, в Присалаирье) не превышала 30%.

Отношение микробного населения к эрозионным процессам неоднозначное. Интенсивность биохимических процессов и видовой состав микроорганизмов изменяются в зависимости от степени деградации того или иного типа почвы. Активизация минерализационных процессов, оцениваемая по скорости разложения целлюлозы, нитрификации, численности микроорганизмов, усваивающих минеральные формы азота или гумусовые вещества, меняется в зависимости от формы склона, его крутизны, длины, экспозиции. Интегральный показатель биологической активности почв - интенсивность выделения газообразного метаболита, диоксида углерода, характеризующего "дыхание" почв, на фоне смывости почв существенно снижается (табл. 5.2).

В сильносмывтых черноземах выделение углекислоты уменьшается более чем в 2 раза по сравнению с полнопрофильными почвами (Маринеску, 1989, Косинова и др. 1993), а в серых лесных сильносмывтых почвах - в 5 раз (Личко, 1998). В черноземах слабее (в 2,5 раза) протекал также процесс разложения клетчатки и в 3 раза снизилась нитрификационная способность почв. В черноземах выщелоченных активность процесса нитрификации снижается уже на первых этапах эрозии. В черноземе оподзоленном слабосмытом нитрификаторы функционируют на уровне контроля (полнопрофильные почвы), но уменьшают свой потенциал в 25 раз при сильной степени смывости в результате спада жизнедеятельности аммонификаторов и сокращении их численности в 10 раз.

Т а б л и ц а 5.2

Активность биологических процессов в пахотном слое (0 - 20 см)  
эродированных почв

Степень смытости почвы	Показатели биологической активности					
	1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6	7
<b>Молдавия, чернозем выщелоченный (Маринеску, 1989)</b>						
Среднесмытый	26,6	1,6	-	-	-	-
Сильносмытый	14,6	1,3	-	-	-	-
<b>Воронежская область, серая лесная почва (Личко, 1998)</b>						
Несмытая	25,3	-	-	-	-	-
Среднесмытая	14,3	-	-	-	-	-
Сильносмытая	4,6	-	-	-	-	-
<b>Приобье, чернозем выщелоченный (Косинова и др., 1993)</b>						
Несмытый	10,9	3,3	1,6	3,7	8,9	-
Слабосмытый	9,8	1,6	1,2	0,9	9,6	-
Среднесмытый	11,4	4,5	0,8	1,2	9,8	-
Сильносмытый	17,3	3,8	2,4	2,9	10,1	-
<b>Присалаирье, темно-серая лесная почва, весна</b>						
Несмытая	1,9	-	0,3	-	-	4,7
Среднесмытая	2,8	-	0,4	-	-	3,8
<b>То же, осень</b>						
Несмытая	10,5	-	0,5	-	-	35,2
Среднесмытая	14,9	-	1,1	-	-	18,6
<b>Присалаирье, чернозем выщелоченный, весна</b>						
Несмытый	4,1	-	0,4	-	-	11,0
Среднесмытый	1,6	-	0,3	-	-	3,7
<b>То же, осень</b>						
Несмытый	9,9	-	0,6	-	-	27,3
Среднесмытый	9,0	-	0,6	-	-	23,6

### Кузнецкая котловина, чернозем выщелоченный (Косинова и др., 1993)

Несмытый	9,1	0,6	2,7	3,3	11,7	5,4
Слабосмытый	5,4	0,4	1,1	2,7	3,4	-
Сильносмытый	1,8	2,9	4,4	5,6	9,2	0,2
Средненамытый	7,2	5,5	3,5	6,0	9,9	-

Примечание. 1 - CO<sub>2</sub>-выделение, мг/100 г в сутки; 2 - нитрификационная способность, мг NO<sub>3</sub> в месяц; 3 - аэробная азотфиксация, мкг/г в сутки; 4- анаэробная азотфиксация, мкг/г в сут; 5 - денитрифицирующая способность, мкг/г в сутки; 6 - продуцирование микробной биомассы, мг С/100г в час; - означает нет данных.

Дестабилизация процесса нитрификации нарушает поступление в биологический круговорот нитратов, количество которых предопределяет ответную реакцию на изменение среды обитания у комплекса денитрификаторов. Ферментные системы денитрификаторов уменьшают скорость полного восстановления, слабее вовлекая закись азота в конечный этап, осуществление которого требует значительных энергетических затрат. В результате этого содержание закиси азота в надпочвенной атмосфере эродированных экосистем достигало 79 - 83% (Косинова и др., 1993). Отчуждение части органических веществ из черноземов под воздействием эрозии отражается на пополнении азотного фонда в ходе фото- и гетеротрофной фиксации азота: аэробной и анаэробной. На первых этапах эрозии быстрыми темпами идет подавление именно анаэробной азотфиксации в силу параметров лабильной части органического вещества (Хазиев, Багаутдинов, 1987). Активность ферментов инвертазы и каталазы в сильносмытых черноземах по сравнению с несмытыми уменьшилась более чем на 50%. В серых лесных почвах по мере увеличения их смытости наиболее резко снижается инвертазная активность. Если в слабосмытых почвах отмечается постепенное затухание активности с глубиной, то в сильносмытых уже в подпахотном слое инвертазная активность очень мала или не обнаруживается. Последнее связано с выходом на дневную поверхность иллювиальных горизонтов с крайне низкой активностью фермента. По активности фосфатазы и, особенно, каталазы четко выраженной зависимости от степени смытости почв не наблюдалось (Личко, 1998).

Биомасса и количество видов почвенных водорослей (Дубовик и др., 1979) снижаются по мере увеличения степени эродированности серых лесных и черноземных почв.

Таксономическая структура комплекса гетеротрофных микроорганизмов эродированных почв может незначительно отличаться от микробного комплекса почв, не затронутых эрозией, но их активность трансформации азота, особенно на конечных этапах, изменяется существенно. Это связано с ферментами, синтез и индукция которых требует определенного элементного состава (Гантимурова, Танасиенко,

1981), а в смытых почвах азот (и фосфор в черноземах) чаще всего бывает в “минимуме”. Наибольшую устойчивость к деградационным процессам азотного цикла обнаруживают партнеры азотфиксирующего симбиоза, благодаря чему недобор урожая зернобобовых культур на смытых почвах не превышает 10%, а кукурузы - 60% (Кузнецов, Глазунов, 1996).

Наиболее ранимы при эрозии пахотных массивов свободноживущие diaзотрофы. Реакция этой группы микробиоты проявляется при формировании слабо- и среднесмытых почв (Косинова и др., 1993). На первых этапах деградации быстрыми темпами подавляются механизмы анаэробной азотфиксации в силу снижения количества лабильной части органического вещества (Хазиев, 1982; Хазиев, Багаутдинов, 1987). Пул diaзотрофов чрезвычайно чувствителен к углеродному субстрату. Облигатные анаэробы из рода *Clostridium*, в отличие от аэробных форм, функционирующих на широком спектре C-соединений, в том числе гуминовых и фульвокислот, используют узкий углеводный поток (Клевенская, 1974; Мишустин, Емцев, 1974). Разнообразный состав углеводного фонда почв черноземного ряда Западной Сибири (Клевенская, 1991) обеспечивает достаточный энергетический и трофический уровень клостридий, способствуя их некоторому преобладанию в почвах, незатронутых эрозией. Трансформация микробного сообщества усиливается при развитии эрозии на склоне южной экспозиции, где, как известно, по сравнению с северными аналогами меньше мощность гумусового горизонта, более интенсивны процессы минерализации органического вещества и азота (Чуян, Чуян, 1993).

Изменение состава и численности микрофлоры эродированных почв весьма контрастно в различных регионах. В Центральной Европе общее содержание основных групп микроорганизмов в эродированных почвах существенно ниже в сравнении с полнопрофильными. В сильносмытых черноземах преобладают формы, характерные для глубинных слоев. В Сибири длительное возделывание склоновых земель и внедрение интенсивных технологий также приводит к снижению пула микроорганизмов большинства трофических групп, разбалансированию функциональных механизмов: синтеза биомассы и аккумуляции азота (табл. 5.3). Это обусловлено высоким ежегодным смывом твердой фазы почвы, который, по данным А.А. Танасиенко (1992), достигает 9 т/га. Подобный смыв в итоге приводит к сокращению мощности гумусового горизонта, уменьшению содержания и запасов гумуса, обеднению почвы растворимыми органическими соединениями (Ковалева и др., 1998). Как отмечает Е.З. Теппер (1976), в черноземе выщелоченном среднесмытом диагностируется усиление минерализации гумусовых веществ, тестируемое по вспышкам роста проактиномицетов. Соотношение численности бактерий, предпочитающих минеральные формы азота, над числом бактерий, растущих на органическом субстрате, при развитии эрозионных процессов увеличивается в 1,5 - 2 раза, указывает на усиление олиготрофности в отношении доступных органических веществ, а незначительное преобладание олигонитрофилов над аммонификаторами в темно-серой лесной почве доказывает возрастающую олиготрофность и в отношении азота.

Изменение таксономической структуры микроценозов в пахотном слое  
(0 - 20 см) чернозема выщелоченного при эрозии

Микроорганизмы	Молдавия (Маринеску, 1989)		Западная Сибирь					
			Приобье		Присалаирье		Кузнецкая котловина (Косинова и др., 1993)	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Бактерии, млн, КАА	22,1	5,8	3,7	1,0	1,6	1,3	2,4	1,1
Олигонитрофилы, млн	17,2	6,6	1,3	0,9	5,8	1,4	9,0	1,6
Бациллы, млн, МПА	1,4	0,8	0,3	0,2	0,4	0,2	1,1	0,3
Актиномицеты, млн	1,4	0,5	1,0	0,8	0,4	0,1	0,8	0,3
Грибы, тыс.	68,0	19,0	5,0	4,0	2,3	0,6	6,2	0,8

Примечание. Количество микроорганизмов приводится в КОЕ/г почвы.

Почвы: 1 - полнопрофильные; 2 - сильносмывтые.

Деградация микробных сообществ по катене в процессе эрозии черноземов (в трансаккумулятивной позиции ландшафта) протекает менее активно, чем в темно-серых лесных среднесмытых почвах, где сокращение численности микроорганизмов отдельных групп доходит до уровня единичной встречаемости, а содержание активной биомассы снижается в 10 раз и более (табл. 5.4). Чрезвычайно слабое развитие микроорганизмов наблюдается в темно-серой лесной среднесмытой почве ранней весной: уровень численности всех таксономических групп на 1 - 2 порядка ниже в сравнении с осенним сроком, а активной биомассы - в 7 раз, в то время как в черноземе оподзоленном аналогичной степени смывтости весенние значения сопоставимы с осенними.

Биологическое состояние эродированных пахотных угодий в промышленно-загрязненных районах, в частности в Кузбассе, по сравнению с почвами прилегающего района, Присалаирья, и наиболее удаленного от него - Приобья, ослаблено сильнее. В почвах черноземного ряда даже в летние сроки биохимические параметры жизнедеятельности микробных сообществ крайне низки, а в черноземе оподзоленном сильносмывтом под посевами пшеницы не регистрируются ни процессы синтеза активной биомассы, ни процессы азотфиксации, что свидетельствует о глубоких нарушениях ферментативных систем микроорганизмов и существенном ослаблении потока легкодоступных для растений органических N- и C-содержащих компонентов микробной плазмы в биологический круговорот. Прогрессирование деградационных процессов в черноземах Кузбасса выражается и в более резком снижении их биогенности: содержание гумуса сокращается в сильносмывтых черноземах в сравнении с несмытыми и сильносмывтыми разновидностями более чем в 3 раза, а численность



бактерий - в 4 - 10 раз, грибов - в 6 - 37 раз, актиномицетов - до полного исчезновения (табл. 5.5).

Особенно подверженными к комбинированной нагрузке (загрязнению и эрозии) оказались черноземы. В них, в отличие от других типов почв, активизируется рост проактиномицетов, превалирует бактериальный олиготрофный комплекс, что свидетельствует о ситуации биогенного дефицита. Определенную компенсационную функцию в поддержании энергетических и трофических процессов гетеротрофных микроорганизмов выполняют фотосинтезирующие микроскопические водоросли и азотфиксирующие цианобактерии (см. табл. 5.4). Одновременно возрастает эрозионная стойкость почв через механизмы агрегирования: в черноземе оподзоленном сильносмытом суммарная длина нитчатых трихомов увеличилась в 2 раза, в черноземе выщелоченном сильносмытом - в 7 раз по сравнению с полнопрофильными почвами. Важно подчеркнуть, что суммарная протяженность трихомов и грибного мицелия при различной эродированности того или иного подтипа черноземов сохраняется на исходном уровне при различном соотношении длины фото- и гетеротрофной биоты, что означает проявление различных биологических механизмов формирования агрегатного состава в несмытых и смытых разновидностях черноземов. Агрегирующая эффективность фотосинтезирующих нитчатых форм выше, чем у грибных гиф вследствие слизистых, чаще всего многослойных, оболочек, чехлов, влагалищ, поскольку наряду с механическим опутыванием почвенных частиц происходит биохимическое (коагуляционное) сцепление. По мере декарбонизации профиля и смыва тонкодисперсных частиц снижается доля вклада в механизм "фототрофного" сцепления азотфиксирующих слизистых особей. На их смену приходят нитчатые осцилаториевые и формидумовые цианобактерии, участвующие в биогенном перехвате ионов натрия.

Следовательно, в водопрочности агрегатов почв различной категории смытости участвуют два биогенных механизма: в слабосмытых разновидностях черноземов преобладают агломераты, богатые коллоидными соединениями и обменным кальцием, а в сильносмытых - агломераты, обедненные коллоидами, но обогащенные обменным натрием. Безусловно, что эрозионная стойкость не исчерпывается только водопрочностью агрегатов, особенно в отношении уплотненных почв, тем не менее в почвах с незначительной связностью можно ожидать временную стабилизацию эродируемой поверхности.

Т а б л и ц а 5.5

Биологическое состояние пахотного слоя (0 - 20 см) эродированных почв  
Кузнецкой котловины, лето 1991 г.

Степень смытости, фон	Гумус, %	Биомасса, мгС в час	N-фиксация, мкг/г в сутки	Численность, тыс. КОЕ/г почвы				Длина, см/г	
				1	2	3	4	трихомов	гиф
<b>Чернозем оподзоленный, пшеница</b>									
Слабо-смытый	8,6	4,0	0,7	1100	200	3,7	2930 0	150	926
Сильно-смытый	2,3	Нет	Нет	100	Нет	0,1	3600 0	316	700
<b>Чернозем выщелоченный</b>									
Несмытый, пар	11,0	5,4	2,7	3800	800	6,2	1200 0	237	239 3
Сильно-смытый, кукуруза	4,0	0,2	4,0	1100	400	1,1	1600 0	1615	112 7
<b>Чернозем обыкновенный, клевер</b>									
Несмытый	11,0	4,0	0,4	1900	200	9,6	2000 0	432	200 8
Слабо-смытый	8,9	4,4	2,6	1600	200	2,2	3733 7	812	330 1

Примечание. Значения гумуса, биомассы, азотфиксации, численности бактерий, актиномицетов, грибов приводятся по данным Л.Ю. Косиновой и др. (1993).

Условные обозначения: 1 - бактерии, 2 - актиномицеты, 3 - грибы, 4 - водоросли.

В физиологическом аспекте слизь фототрофных микроорганизмов, в частности вида *Nostoc commune* обеспечивает сохранность его жизнеспособности при высокой инсоляции, ультрафиолетовом облучении, длительном обезвоживании. Не случайно слизеобразующие виды почвенной альгофлоры *Nostoc commune*, *Microcoleus vaginatum* в изобилии встречаются на поверхности эродированных черноземов, кротовин, тропинок (Штина, 1969), угольных отвалах Кузбасса и КАТЭКа (Шушуева, 1977; Артамонова, 1989; 1991). Воздушно-сухие слоевища ностока, содержащие 12% воды, при набухании способны увеличиваться в объеме в 13 раз (Келлер, 1952). 12-кратное увеличение ностока наблюдалось через 6 минут увлажнения (Durell, 1962). Такой же способностью к быстрому набуханию обладают влагилица микроклеусов, что в экологическом аспекте способствует биологическому удержанию влаги в почве.

Учитывая то обстоятельство, что разложение клетчатки в природе сопровождается образованием бактерий значительного количества полисахаридной слизи, которая подвергается медленной биодеградации, можно предполагать активное участие ее в процессе гумусообразования и формировании структуры эродированных почв.

Взаимоотношение почвенных цианобактерий с сапрофитными микромицетами носит характер метабиоза и реже - антагонизма. Выявлена приуроченность некоторых видов грибов к определенным видам цианобактерий. В присутствии эукариотных организмов цианобактерии имеют более высокую биохимическую активность, благодаря использованию продуктов фотосинтеза эукариотов, которые снижают концентрацию кислорода вокруг гетероцист азотфиксирующих форм. Уникальная способность цианобактерий осуществлять окислительный фотосинтез и фиксацию молекулярного азота является важным фактором формирования активных микробных комплексов. Гетеротрофные микроорганизмы могут образовывать с цианобактериями устойчивые сообщества, в которых последние занимают доминирующее положение. Они прижизненно и после отмирания оставляют органические соединения гетеротрофным бактериям кишечной группы, псевдомонасам, бациллам, коринеподобным формам и другим (Гусев и др., 1979; Андреюк и др., 1990), тем самым стимулируют рост азотобактера, клостридиума, олигонитрофилов (Штина, Юнг, 1963). Следовательно, цианобактерии служат дополнительным источником органического вещества как энергетического материала для гетеротрофных микроорганизмов и, в итоге, способствуют повышению плодородия обедненных от эрозии почв.

Влияние ирригационной эрозии на почвенную биоту практически не изучено. Использование для поливов речной и озерной воды обуславливает дополнительный привнос микроорганизмов и органического вещества, что способствует повышению численности некоторых групп микроорганизмов и увеличению микробиологического профиля почв (Клевенская, 1966; Наплекова, 1966; Андреюк и др., 1972). Изменение биологического состояния полнопрофильных черноземов выщелоченных при наложении на них орошения уже проявляется на начальных этапах воздействия: преимущественное развитие получают бактерии, потребляющие минеральный азот, тогда как численность деструкторов органических веществ (бактерии на МПА и актиномицеты) более стабильна. Процессы окисления и восстановления соединений азота активизируются, тогда как пополнение азотного фонда несколько снижается по сравнению с богарой. Более полное восстановление нитратов (до молекулярного азота) при орошении приводит к потерям азота из почвенных экосистем (Гантимурова и др., 1990).

На орошаемой эродированной пашне процессы синтеза микробной биомассы и дыхания усиливаются в периоды отсутствия основных структурообразователей - высших растений. Нашими исследованиями показано, что на эродированных черноземах весной, ранним летом и поздней осенью показатели микробной биомассы, дыхания и пул грибов достигают максимальных значений (табл. 5.6).

Т а б л и ц а 5.6

Влияние различных комбинаций антропогенных нагрузок на таксономическую структуру микробных сообществ пахотного слоя (0 - 20 см) чернозема выщелоченного, Приобье, 1991 г.

Комбинации нагрузок*	Численность микроорганизмов (МО), тыс. КОЕ/г						
	общее содержание МО, МПА	споровые бактерии, МПА	общее содержание МО, КАА	лучистые грибки, КАА	грибы, Чапек	олигонитрофилы, Мишустина	коэффициент минерализации слоя 0 - 20 см
ВЕСНА							
ИА	7329	1121	7876	819	5,0	Не опр.	2,6
ИАЭ	2421	784	3515	787	10,4	"-	3,4
ИП	2097	2038	3641	804	5,6	3617	1,2
ИПЭ	1483	1339	1992	727	1,3	2061	1,1
ЛЕТО							
ИА	1358	901	3734	567	5,4	3502	4,1
ИАЭ	504	486	4049	791	7,8	3975	9,2
ИП	1261	673	4580	588	3,8	908	1,2
ИПЭ	1411	1078	3136	333	2,4	2809	2,9
ОСЕНЬ							
ИА	2008	374	4081	1087	2,2	721	2,2
ИАЭ	1849	243	3555	685	7,8	505	2,9
ИП	1353	245	3284	956	2,2	1826	4,5
ИПЭ	536	181	1681	829	1,8	1343	2,5

\* Комбинации антропогенных нагрузок: И - ирригационная эрозия;

А - агроценотическая; Э - эрозионная тальми водами; П - пастбищная дигрессия.

Летом значительно активизируется рост лучистых грибков, олигонитрофильных бактерий и грибов. Однако содержание сапрофитной микрофлоры в эродированных почвах заметно снижается во все сроки наблюдений в сравнении с богарными полнопрофильными почвами. Наиболее бедными в отношении содержания спорообразующей микрофлоры, активно участвующей в процессах самоочищения почв, оказываются склоны южных экспозиций, где процесс смыва идет быстрее. С развитием эрозии на орошаемом фоне процессы минерализации органического вещества в пахотном слое (0 - 20 см) черноземов затухают, но существенно активизируются в подпахотном (20 - 40 см).

На орошаемых пастбищах (как незэродируемых, так и эродируемых) в течение всего вегетационного сезона возрастает численность микроорганизмов, предпочитающих органические и минеральные среды.

Поэтому в процессе деструкции свежего органического вещества активно участвуют спорообразующие бактерии. Роль грибной компоненты, за исключением летнего срока, незначительна. Доля проактиномицетов в процессах минерализации гумусовых веществ снижается, что является положительным моментом для орошаемых массивов. Активность минерализации гумуса на орошаемых пастбищах уменьшается (по сравнению с неорошаемым выпасом) не только в бывшем пахотном, но и во всем корнеобитаемом слое.

Биологические свойства почв промоинно-овражной сети существенно отличаются от почв ненарушенного ландшафта. Микробиологическому и альгологическому обследованию подвергнут овраг, одна из вершин которого через лесной массив достигала пашни, а вторая примыкала к городской свалке мусора. Результаты летней экспертизы бровки оврага, нижней пологой части склона и сухого русла временного водотока (тальвега) свидетельствуют о различиях микробного заселения овражной поверхности на фоне того или иного загрязнения, что проявляется в структуре микробных сообществ, их продукционной и минерализационной активности (Артамонова, Косинова, 1995). При загрязнении оврага стекающими с пашни тальми и ливневыми водами ведущее положение в составе микробных ассоциаций приобретают неспороносные формы бактерий, потребляющие легкогидролизуемые питательные вещества, и грибы (табл. 5.7). Актиномицеты и споровые бактерии уступают по своему содержанию неспороносным формам бактерий. Показатели соотношения микроорганизмов, использующих минеральные и органические формы азота (КАА/МПА), а также олигонитрофилов к типичным сапрофитам, нарастают по мере продвижения от бровки оврага к тальвегу, что свидетельствует об увеличении минерализации органических веществ на фоне неглубокой трансформации соединений азота. Синтез микробной биомассы протекает медленно и отражает дефицит органического материала для создания углеродной основы веществ клетки. Ежегодный вынос почвенно-грунтовой массы через овраг и прилегающую реку достигает 320 м<sup>3</sup> (Танасиенко, 1995).

Неблагоприятные условия обитания микроорганизмов в данной овражной системе обусловлены также и аэрогенным загрязнением окружающей среды. Преобладание юго-западных ветров и наличие 4-х тепловых станций с наветренной стороны приводят к ежемесячному выбросу в атмосферу значительного количества оксидов азота и серы. Снежные хлопья и капли дождя способствуют транзиту этих соединений в почву в виде соединений серной и азотной кислот, что также ведет к дополнительному выщелачиванию важнейших биогенных элементов: углерода, кальция, магния, калия, их отчуждению из экосистемы. В такой обстановке гетеротрофное звено микроорганизмов реализует упрощенные механизмы трансформации органических соединений. Высвобождение углерода из растительного опада частично обеспечивают грибы, содержание которых, хотя и невысокое, но достаточно стабильное в разных элементах оврага.

Альго-бактериальные пейзажи в различных элементах овражной катены характеризуются высоким содержанием как нитчатых

цианобактерий и водорослей, так и одноклеточных зеленых и диатомовых водорослей. Интенсивное развитие диатомово-хлорококкового комплекса свидетельствует о вовлечении в биологические механизмы синтеза органического вещества первичных продуцентов с высокой скоростью размножения, колонизацией субстрата и пищевой ценностью, что важно для поддержания биологической активности.

Развитие диатомовых и зеленых водорослей очень важно в нескольких аспектах. Их трофическая значимость очень высокая. Диатомеи богаты жирами с высоким содержанием углерода - 76 - 79% (Colleyer, Fogg, 1955). Фракция "сырого жира", включающая в себя собственно жиры, пигменты, эфирные масла и фосфолипиды, может достигать у диатомовых водорослей 20% сухой массы клеток и больше, например, у *Navicula pelliculosa* от 23 до 34%. Навикулоидные формы в почвах оврага выделялись большими и яркими хроматоформами, что подтверждает их активную жизнедеятельность. Известно, что подвижные формы, коими являются навикулы, характеризуются более интенсивным протеканием процесса фотосинтеза, нежели неподвижные формы (Talling, 1955). Если принять во внимание тот факт, что усиление фотосинтеза наблюдается лишь в клетках с недоформированным панцирем кремнезема, для построения которого необходимы соединения железа, алюминия, марганца и, особенно, кремния, составляющего более 60% сухой массы клетки (Metha et al., 1961), можно предположить, что вынос биогенных элементов с твердой и жидкой составляющей стока разных по генезису вод с обрабатываемых полей в овражную систему задерживается диатомовым перехватом.

Вегетация диатомовых и зеленых водорослей представляет большую пищевую ценность из-за высокой калорийности содержимого клеток. Для зеленых водорослей она составляет 472, диатомовых - 525 кал/100 г органического вещества водорослей (Некрасова, Александрова, 1982). Одноклеточные зеленые водоросли поглощаются амебами с интервалом в 15 минут при быстром полном лизисе клеток (Nekrasova et al., 1976). Значительная часть органической массы диатомовых и зеленых водорослей включается в трофические цепи выедания простейшими и беспозвоночными животными и гумифицируется (Некрасова, Александрова, 1982).

В эколого-генетическом аспекте развитие диатомовых водорослей не случайно. Мелкие формы диатомовых водорослей более устойчивы по сравнению с крупными видами к частым и резким колебаниям почвенной влажности, способны передвигаться за счет внеклеточной слизи (Boney, 1981), и, как отмечает J.W.G. Lund (1945), могут легко использовать тонкие водные пленки. По наблюдениям Н.И. Усова (1943), диатомеи приурочены, в основном, к пылеватой фракции, которая в большом количестве отщущается тальми и ливневыми водами. Пылеватая фракция обеспечивает необходимое для нормальной вегетации и репродукции диатомей присутствие кремния в среде обитания в количестве 30 мг/л. При снижении содержания кремния ниже 0,3 мг/л рост диатомей приостанавливается. У здоровых особей, например, у рода *Navicula pelliculosa*, морфогенез панциря занимает всего 2 - 3 часа (Sullivan, Volcani, 1981).

Рост нитчатых азотфиксирующих цианобактерий обусловлен подщелачиванием среды и привнесом обменного кальция с пашни: вынос кальция из пахотного слоя агроэкосистем достигает 1/10 потери углерода. Поступление с талыми водами магния и натрия обеспечивает в бровке и бортах оврага достаточно ровное и высокое присутствие осцилляториево-формидиумовой группы с суммарной протяженностью трихомов соответственно 19,9 и 14,7 см/г почвы.

В противозерозионном отношении развитие нитчатых форм цианобактерий в сочетании с нитчатыми формами зеленых водорослей, слагающими в бровке оврага протяженность нити длиной 68 см/г почвы, положительно. Многократное опутывание частиц почвы трихомами и талломами этих организмов частично сдерживает распад водопрочных агрегатов.

В вершине оврага, загрязненной сточными водами из мусоросвалки, сообщество гетеротрофных микроорганизмов - бактерий и актиномицетов - развито слабо (см. табл. 5.6), что объясняется присутствием в сточных водах токсичных элементов. При этом резко снижается заспоренность грибами: снижение числа КОЕ на питательных средах на фоне возросших показателей протяженности грибного мицелия, рассчитанное методом прямого счета, может быть вызвано только подавлением продукции спор или снижением их жизнеспособности. Подобная реакция репродуктивной функции отмечена ранее при техногенном загрязнении (Кобзев, 1980) и означает повышенную толерантность гиф по сравнению со спорами к высоким концентрациям тяжелых металлов, промышленным загрязнителям (Безель и др., 1994).

Слабое развитие гетеротрофного комплекса, подтверждаемое также низким уровнем активной биомассы, предопределило чрезвычайно низкие коэффициенты минерализации и олиготрофности. Однако почвенные водоросли в данной обстановке достигли максимального развития. Рост численности зеленых одноклеточных водорослей в бровке оврага увеличился в 7 раз, на склоне - в 4,8 раза. Усиление роста диатомовых и нитчатых зеленых водорослей приурочено к бровке оврага. Развитие нитчатых цианобактерий по сравнению с вершиной оврага, достигшей пашни, снизилось по всей проекции. Такой альгологический пейзаж диагностирует высокий уровень органического загрязнения.

Таким образом, агротехногенная деградация почв Западной Сибири отражается на среде жизнедеятельности и выживания микроорганизмов, участвующих в процессах почвообразования, самоочищения и патогенеза. Государственное, фермерское, дачное, городское землепользование должно быть сопряжено со строгим контролем почв во избежание выращивания нестандартной продукции и предупреждения появления транзита по геоморфологическим профилям эпидемиологически опасных форм.

## Глава 6. ПУТИ СНИЖЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

Задачи рационального использования земельных ресурсов приобретают не только производственную и общетеоретическую, но и существенную экологическую значимость, поскольку относятся к одной из самых сложных и наиболее важных проблем научного природопользования, главная цель которого заключается в том, чтобы вовлечение биологических, и прежде всего земельных, ресурсов в сферу хозяйственной деятельности обязательно сопровождалось бы выполнением работ по расширенному воспроизводству и улучшению.

Для улучшения качества земельных ресурсов как необходимой основы повышения производительности земледельческого труда уже имеется достаточно богатый, но не всегда еще в полной мере используемый арсенал приемов воздействия на почвы и в целом на экосистему почва-растение, включающих почвоохранную организацию распаханной территории и химизацию почв (Хмелев, Танасиенко, 1983).

Наиболее распространенные в Западной и Восточной Сибири почвы - оподзоленные, выщелоченные, обыкновенные и солонцеватые черноземы, а также темно-серые лесные почвы, представляющие собой пахотные почвы высокой пригодности, - характеризуются емким ресурсным потенциалом. По-хозяйски использовать такой природный бесценный дар природы - одна из самых главных задач сельскохозяйственного производства Сибири. Однако, как было показано выше, наблюдается тенденция к снижению уровня плодородия этих почв за счет развития эрозионных процессов. Поэтому при дальнейшем использовании сибирских почв в земледелии, особенно расположенных на склонах повышенной крутизны, первоочередной заботой практиков сельского, городского и лесного хозяйства должно явиться скорейшее внедрение противоэрозионных мероприятий.

Противоэрозионные меры, основанные нередко на неглубоких теоретических разработках, не только не приводят к ожидаемым результатам, но и дают обратный эффект. В литературе иногда встречаются упрощенные суждения о задержании и регулировании поверхностного стока талых и ливневых вод, что порождает неправильные подходы к решению проблемы борьбы с эрозией почв, стремлением решить проблему преимущественно путем применения одного класса мероприятий. Однако это практически и теоретически невозможно, поскольку в Западной Сибири активно проявляются процессы как



плоскостного смыва почвенного покрова, так и линейного его размыва. Хотя часть мероприятий по снижению темпов смыва и размыва почв носят общий характер, основные приемы борьбы с этими негативными процессами имеют свои специфические особенности. Для успешной борьбы с эрозионными процессами необходимо ясное представление о всех факторах, обуславливающих возникновение и развитие смыва и размыва почв и почвообразующих пород. Особое внимание при этом следует уделить почвенным свойствам, играющим важную роль в эрозионной стойкости склоновых почв. При этом всегда необходимо помнить, что "...на сельскохозяйственных землях ни одно противоэрозионное мероприятие, будь то организационно-хозяйственное, лесомелиоративное, гидротехническое или иное, не может дать полных результатов до тех пор, пока сопротивление самой почвы эрозии остается низким" (Гуссак, 1959, с. 5 - 6).

Существенным путем снижения экологических последствий эрозионных процессов является создание таких почвенно-физических условий, которые бы не приводили к возникновению поверхностного стока различных по генезису вод. Другими словами, перед эрозиоведами ставится задача перевода поверхностного стока талых, ливневых и ирригационных вод во внутрипочвенный. Реализация этой задачи сдерживается рядом факторов. Во-первых, на водосборном бассейне любого размера полностью ликвидировать поверхностный сток талых и ливневых вод практически невозможно. Особенно это относится к стоку талых вод, поскольку сибирские почвы глубоко и сильно промерзают и данные воды стекают по оттаявшей на небольшую глубину почве. Даже в нативных условиях, как показано выше, сток талых и ливневых вод составляет значительную величину, правда без смыва и размыва почвенного покрова склонов. Это обусловлено почвозащитной ролью естественной растительности, которая заключается в том, что стекающие воды, как правило, не достигают критических скоростей, при которых инициируется смыв и размыв почв, и нормальная (геологическая) эрозия в природных условиях протекает крайне медленно. Если и происходит вынос твердой фазы почвы, то он здесь настолько ничтожен, что компенсируется процессами почвообразования, находящимися в равновесии с окружающей средой. Не случайно А.М. Грин и др. (1974) отмечали, что в ходе многовековой приспособляемости в естественных экосистемах лесостепи сформировался такой характер растительного и почвенного покрова, который обеспечил максимально возможное в конкретной ландшафтной обстановке усвоение атмосферных осадков.

При освоении целинных и залежных земель "нормальная" денудация, по словам А.М. Панкова (1937), сменилась ускоренной или антропогенной эрозией. В результате антропогенной деятельности склоновые территории, обладающие в естественных условиях большим запасом эрозионной устойчивости, снижают эту стойкость значительно ниже критической, формируя в различной степени смытые почвы. В этой связи первоочередной задачей эрозиоведов должно быть частичное влияние на естественные агенты разрушения почвы, а именно: регулирование величины поверхностного стока разных по генезису вод до разумных пределов.

Естественно, в каждом конкретном случае эта величина будет различной, но с помощью комплекса противозерозионных мероприятий возможно частичное задержание стекающих вод, либо повышение эрозионной стойкости самой почвы, хотя поверхностный сток при этом может быть достаточно существенным.

Как было показано выше, с экологической точки зрения предпочтительнее такие противозерозионные мероприятия, которые хотя и частично, но снижают поверхностный сток талых вод. Это объясняется тем, что в различные по снежности гидрологические годы отчуждение химических элементов с талыми водами превалирует над их потерями с продуктами твердого стока. Если же предпочесть второй вариант решения проблемы - повышение эрозионной стойкости самой почвы, то экологические последствия эрозионных процессов здесь будут существенно большими, чем при варианте со снижением величины поверхностного стока талых вод. На современном этапе теоретических разработок решение противозерозионных мероприятий подобного первоочередного плана вполне возможно и тому есть положительные примеры (Сурмач, 1976; Моргун и др., 1988; Мусохранов, 1983).

Развитие эрозионных процессов в Сибири протекает ранней весной в период снеготаяния и в начале лета, когда еще низка почвозащитная способность растительного покрова, причем в первом случае ежегодно и в значительных объемах. При этом отчуждается не только твердая фаза почвы с заключенными в ней элементами питания растений, микроорганизмов, но и атмосферная влага, в большинстве случаев находящаяся в первом минимуме в районах с недостаточным или неустойчивым увлажнением. Это еще один из негативных моментов, представляющих экологическую опасность эрозионных процессов. Основная влагозарядка почв Сибири, как показано выше, приходится все-таки на весну. Поэтому важнейшая задача защиты почв от эрозии и, следовательно, снижения экологических последствий эрозионных процессов заключается не только в уменьшении отчуждения твердой фазы почвы до допустимого предела (2 т/га ежегодно), но и в максимально возможном задержании стекающих талых и ливневых вод.

Особую сложность защита почв от эрозии представляет в Сибири. Связано это, главным образом, со спецификой климатических условий сибирского земледелия и генетическими особенностями почв.

Специфика климатических условий определяется суровой и продолжительной зимой с устойчивым снежным покровом, высокой интенсивностью весенних процессов, обуславливающих формирование поверхностного стока талых вод по слегка оттаявшим почвам. В результате высокой водонасыщенности оттаявшего слоя и наличия на небольшой глубине (30 - 40 см) водонепроницаемого мерзлотного экрана, самая верхняя часть профиля приобретает большую "текучесть" и, в связи с этим, полностью теряет эрозионную стойкость.

Так называемое тиксотропное состояние пахотного слоя опасно не только тем, что оттаявшая масса приобретает большую "текучесть" и способствует значительному смыву твердой фазы почвы. Не менее опасна существенная растворимость органического вещества талых почв,

приводящая к большому отчуждению (30 - 110 кг/га) водно-растворимого гумуса и еще большему выносу подвижных гуминовых кислот с продуктами твердого стока (Танасиенко, 1983). Ежегодно на склоновых массивах, представленных черноземами оподзоленными, в Присалаирье с продуктами твердого стока теряется около 35 кг/га подвижных гуминовых кислот, в Кузнецкой котловине, где широко распространены черноземы выщелоченные, эти потери достигают 54 кг/га; в Приобье, преимущественно представленном черноземами обыкновенными, ежегодно теряется до 70 кг/га этих кислот (Ковалева и др., 1998). Водно-растворимый гумус и подвижные гуминовые кислоты, кроме источника наиболее доступных элементов питания растений, выступают в качестве органического клея, своеобразного структурора почвы. Безвозвездная потеря этих гумусовых веществ способствует интенсивному распылению структуры пахотного слоя склоновых почв, снижению и без того низкой в момент снеготаяния эрозионной стойкости черноземов.

Величина смыва почвы от обильных ливней и, следовательно, экологические последствия эрозионных процессов при этом, во много раз больше, чем от стока снеготалых вод. Однако выдающиеся ливни выпадают эпизодически на такую поверхность черноземов, которая способна "включить" свою эрозионную стойкость. Не отрицая в целом мероприятий по борьбе с ливневой эрозией и учитывая региональную структуру смыва почвы, считаем, что основные приемы по защите склоновых земель от эрозии должны быть ориентированы на весенний смыв черноземов.

Важно отметить, что в Сибири практически отсутствуют посевы озимых культур, сдерживающие смыв склоновых почв. В структуре посевных площадей около 70% занимают зерновые и только 10% - многолетние травы. Следовательно, более 80% пахотных угодий в период снеготаяния не защищены растительным покровом и легко эродированы.

Сибирские почвы характеризуются малой мощностью гумусового горизонта, поэтому здесь ограничен выбор противозэрозионных мероприятий, связанных с перемещением пахотного слоя из одного места в другое (валы-террасы, микролиманы, землевание склонов).

Отмеченная выше специфичность климата, почвенных условий и земледелия ограничивает широко применяемые в более мягких условиях европейской части России и стран СНГ противозэрозионные агроприемы. Самым распространенным противозэрозионным приемом агротехнического плана, не требующим дополнительных затрат, в Сибири служит зяблевая отвальная вспашка почвы поперек склона. Смыв почвы в зависимости от запасов воды в снеге и дружности половодья при этом агроприеме варьирует от 0,5 - 13 т/га (см. табл. 2.4, 2.6, 2.7) до 15 - 40 т/га (Мусохранов, 1983). Недостатком этого агроприема выступает низкая водопоглощительная способность пахотного слоя и формирование на некоторой глубине слабо проницаемой для воды плужной подошвы. Вследствие того, что пожнивные остатки при обороте пласта погребены на дне борозды, поверхность пашни остается довольно ровной и в период снеготаяния почвенная масса приобретает большую "текучесть", смыв твердой фазы почвы, согласно М.Н. Заславскому (1979), классифицируется

как сильный. Однако он в 3 - 4 раза меньше, чем при такой же вспашке, но вдоль склона.

Согласно исследованиям А.Д. Орлова и А.А. Танасиенко (1975), довольно эффективным агроприемом, способствующим снижению величины поверхностного стока талых вод и, следовательно, сокращению смыва, служит обвалование односкатных склонов крутизной до 5°. Этим приемом удается более чем в 2 раза снизить смыв твердой фазы черноземов выщелоченных слабосмытых до допустимого уровня (не более 2 т/га). Недостатком этого агроприема служит то, что он применим лишь на ровных односкатных склонах, а в Сибири подобные склоны - большая редкость. Достаточно земляного валику разместиться под углом к горизонтали, как смыв черноземов увеличится на порядок. Поэтому данный прием имеет крайне ограниченное распространение.

Некоторый положительный противозерозионный эффект дает такой агроприем, как безотвальная вспашка. Она широко применялась в Западной Сибири в 70-е годы, не забыта и в настоящее время. Производственные опыты в совхозе "Тарадановский" Кемеровской области в 1968 - 1972 гг. на черноземах выщелоченных слабо- и среднесмытых показали преимущество безотвальной вспашки перед отвальной поперек склона (Хмелев, Танасиенко, 1983; Танасиенко, 1992). Во-первых, безотвальную вспашку можно применять на многоскатных склонах, во-вторых, в разрыхленном с ее помощью слое формируются крупные пустоты, служащие дополнительными емкостями для талых вод. В итоге величина жидкого и твердого стока на безотвальной вспашке почти в 1,5 раза ниже, чем на отвальной. Существенным недостатком этого агроприема выступает формирование, как и при отвальной вспашке, уплотненной плужной подошвы, сдерживающей и без того минимальную фильтрацию талых вод вглубь профиля склоновых черноземов и темно-серых лесных почв.

В последнее время в Сибири широко применяется плоскорезная обработка почвы с сохранением стерни на поверхности (Танасиенко, 1992). Противозерозионным и экологическим достоинством этого агроприема является повышенное и равномерное накопление снега, более трещиноватое сложение пахотного слоя, способствующее дополнительному (в сравнении с отвальной вспашкой на 15 - 20 мм) аккумулярованию снеготалых вод, рассеивающему и тормозящему действию стерни на потоки талых вод. Важно подчеркнуть, что на смыв твердой фазы черноземов на варианте с плоскорезной обработкой существенно влияет экспозиция склона. На склоне южной ориентации даже на плоскорезе смыв варьировал в пределах 1 - 2 т/га (или в 8 - 10 раз ниже в сравнении с отвальной зябью), а на холодном склоне северной экспозиции смыв полностью отсутствовал.

Одним из недостатков глубокой (25 - 27 см) плоскорезной обработки склоновых черноземов Сибири является то, что полутораметровый слой почв осенними дождями и неустановившимся снежным покровом (который быстро стаивает и пополняет запасы почвенной влаги) увлажнен до величины наименьшей влагоемкости или даже превышающей ее. В холодное время года эта влага из жидкого состояния переходит в твердое,

увеличиваясь в объеме, закупоривая водопроницающие поры и трещины, формируя водонепроницаемый мерзлотный экран. Если на вариантах отвальной и безотвальной вспашки наблюдается в основном закупорка льдом водопроницающих пор и лишь изредка линзы льда, то при плоскорезной обработке в большинстве случаев мерзлотный экран имеет сплошное распространение. Поэтому на вариантах со вспашкой зяби можно ожидать хотя бы гипотетического проникновения талых вод в глубь профиля черноземов, что положительно влияло бы на баланс почвенной влаги, в то время как плоскорезная обработка исключает такую статью водного баланса.

Накопленная в период снеготаяния влага лучше сохраняется в профиле почвы при плоскорезной обработке, чем в условиях глубокой отвальной вспашки. Ведь в Сибири с момента окончания снеготаяния до посева зерновых культур проходит почти месяц. Открытая черная поверхность зяблевой вспашки в этот период за сутки теряет 3 - 4 мм влаги, в то время как мульчированная стерней поверхность обыкновенных черноземов Приобья испаряет лишь 1 - 1,5 мм/сут. Следовательно, как в противоэрозионном плане, так и в экологическом и влагонакопительном плоскорезная обработка гораздо эффективнее отвальной вспашки. Однако и при плоскорезной обработке не удастся полностью ликвидировать поверхностный сток талых вод. Последний при этом способе обработки сибирских почв сокращается до уровня, обеспечивающего смыв почвы в допустимых пределах (1 - 2 т/га).

Юг Сибири относится к зоне рискованного земледелия из-за неравномерности выпадения осадков и, как следствие, довольно частых атмосферных засух. Поэтому борьба за влагу является основной задачей земледелия. Считается, что все вышеперечисленные агроприемы способствуют существенному (40 - 80 мм) накоплению влаги, снижению смыва твердой фазы черноземов (и с ними биогенных элементов) в период снеготаяния. Минимальная аккумуляция влаги характерна для склоновых массивов в случае весновспашки. Однако при этом упускается из виду, что в Сибири практически нет посевов озимых культур и очень незначительно распространены многолетние травы (около 10%). Рассчитывать на повышение эрозионной стойкости черноземов, находящихся в период снеготаяния в так называемом тиксотропном состоянии, не приходится.

Для рационального использования склоновых земель, подвергающихся или уже подверженным эрозионному влиянию, целесообразно было бы использовать почвозащитные свойства растительности, ее корневой системы. Таким агроприемом выступает весенняя вспашка склоновых массивов (Vliet, Wall, 1979). Как противоэрозионный прием весновспашка эквивалентна плоскорезной обработке; по влагонакопительному эффекту проигрывает последней лишь в первый момент после окончания снеготаяния. Ко времени посева яровых культур запасы влаги в полуметровой толще черноземов, обрабатываемых плоскорезом и вспаханых весной, выравниваются. Причина этого - вероятно, большая испаряемость значительных запасов почвенной влаги, накопленных на варианте плоскорезной обработки, в сравнении с невысокими запасами впитавшихся вод по стерневому фону, но высоким мульчирующим

эффектом, предохраняющим почву от перегрева и непроизводительных потерь влаги.

Положительный эффект в европейской части России дает вспашка с почвоуглублением (Моргун и др., 1988). Этот прием позволяет сохранить верхний слой в разрыхленном состоянии и ликвидировать плужную подошву. Естественно, при этом улучшаются физические свойства подпахотного слоя, повышается проницаемость талой воды в глубь профиля почвы. Аналогичную цель преследует и щелевание, а также кротование черноземов и темно-серых лесных почв. Не отрицая в целом противозерозионного значения этих агроприемов, укажем лишь на их недостатки - осеннее заполнение влагой образовавшихся пустот и формирование зимой водонепроницаемого экрана во временных резервуарах влаги.

Высокая смываемость пахотного слоя склоновых черноземов характерна лишь очень короткому отрезку времени, когда пахотный слой переувлажнен и ему свойственна кратковременная "плывучесть". Затем под влиянием инфильтрации, бокового внутрипочвенного стока, испарения содержание влаги в гумусовом горизонте сибирских черноземов становится равной наименьшей влагоемкости или значительно меньше этой величины и "плывучесть" пахотного слоя прекращается. С ее исчезновением резко возрастает эрозионная стойкость черноземов, величина которой определяется преимущественно генетическими свойствами почв. В этом случае появляется возможность создания таких почвенно-физических условий, которые не допустили бы формирования на склоновых поверхностях стока ливневых вод. Но и в течение вегетационного периода не удастся достичь эрозионно-допустимого смыва (1 - 2 т/га).

Как правило, интенсивность выпадения ливневых осадков гораздо выше скорости фильтрации обрабатываемого слоя склоновых черноземов. Причины тут несколько. Во-первых, все та же плужная подошва, образующаяся от вспашки на одну и ту же глубину. Во-вторых, распространение на склоновых поверхностях эродированных черноземов тяжелого гранулометрического состава сопровождается вовлечением в пахотный слой обогащенного илом иллювиального горизонта, что также отрицательно сказывается на скорости фильтрации поверхностного слоя. Если плужная подошва все же уничтожается с помощью той же вспашки с почвоуглублением, то облегчить гранулометрический состав тяжело- и легкоголистных черноземов, широко распространенных в Кузнецкой котловине и предгорьях Алтая, практически невозможно. Повысить фильтрацию таких черноземов удастся лишь применением полимеров и внесением высоких доз органических удобрений. Однако широкое применение полимеров сдерживается отсутствием техники для их внесения, а в случае использования органических удобрений на эродированных склонах на первый план выдвигается удаленность животноводческих ферм от мест реализации навоза, незначительные запасы этих удобрений и существенное снижение поголовья крупного рогатого скота за последние 5 - 7 лет, отсутствие горюче-смазочных материалов для доставки удобрений на поля.

Приведенные выше аргументы не способствуют созданию таких почвенно-физических условий на склоновых землях, которые позволили бы полностью ликвидировать поверхностный сток ливневых вод на эрозионно опасных и эродированных массивах. Поэтому перед эрозиоведами ставится более узкая задача - частичное задержание стока ливневых вод с целью снижения смыва черноземов и пополнения запасов почвенной влаги.

Наиболее эрозионно опасным фоном в теплое время года выступает чистый пар. Смыв ливневыми водами твердой фазы черноземов на парующих участках Западной Сибири варьирует от 13 - 16 м<sup>3</sup>/га (Мусохранов, 1983) до 44 м<sup>3</sup>/га (Орлов, Танасиенко, 1975; Хмелев, Танасиенко, 1983). Столь значительный смыв парующих участков выделяет их в качестве объектов первоочередного сокращения поверхностного стока ливневых вод. Здесь весьма эффективными приемами оказались лункование и щелевание паров.

Культуры сплошного сева, в том числе яровые зерновые, довольно часто располагают вдоль склона. В междурядьях посевов зерновых культур происходит концентрация поверхностного стока, стимулирующая высокий смыв черноземов. На длинных пологих склонах в каждом междурядье формируются бороздки глубиной 3 - 5 и шириной 5 - 15 см. Смыв почвы при этом достигает 10 - 15 т/га. На посевах пропашных культур эти формы эрозии отсутствуют, либо смыв не превышает допустимого уровня в случае периодического рыхления междурядий. С целью снижения смыва черноземов ливневыми осадками посевы яровых зерновых целесообразно ориентировать поперек склона.

Переход к стратегии устойчивого экологически безопасного почво- и природопользования не может быть осуществлен без решения некоторых организационных, в том числе и научно-организационных, вопросов, направленных на сохранение потенциального плодородия наиболее хозяйственно-ценных почв - черноземов. Повышение их эффективного плодородия целесообразно путем выбора рациональной системы удобрений. Периодическое внесение минеральных и органических удобрений и их совместное внесение не приостанавливает деградации черноземов на плакоре, хотя урожай сельскохозяйственных культур на удобренных почвах значительно выше, чем на контроле - неудобренном фоне (Дружинин, 1958; Трофимов, 1958; 1975). Процесс восстановления плодородия разрушенных эрозией черноземов длителен. Внесение высоких доз органических и минеральных удобрений сказывается на снижении смыва почв, поскольку культивируемые растения в значительном количестве обеспечивают подвижными элементами питания, развиваются быстрее неудобренных и способны в более ранние сроки проявлять свои почвозащитные свойства. Коэффициент использования удобрений на эродированных черноземах заметно больший, чем на незэродированных (Орлов, Танасиенко, 1975).

Ни многократное внесение минеральных и органических удобрений, ни совместное их внесение не приостанавливают постепенного разрушения макроструктуры верхнего, ежегодно обрабатываемого слоя почвы. Количество макроагрегатов крупнее 1 мм в пахотном слое почв неудобренных делянок (контроля) и удобренных только минеральными

веществами за 18 лет сократились почти вдвое по сравнению с почвами 18-летней залежи (Трофимов, 1958). В почвах этих же делянок опыта особенно заметно снизились сорбционные силы почвенно-поглощающего комплекса и уменьшилась влагоемкость.

Как установлено В.В. Метельским (1959), действие органо-минеральных удобрений на черноземах Кузбасса не ограничивается годом применения, а прослеживается в течение 2 - 3 лет. Причиной общей высокой эффективности таких смесей В.В. Метельский считает активизирующее их влияние на функционирование микробоценозов, в частности на интенсификацию нитрификационных процессов.

В литературе нередко упоминается о способности противоэрозионных мероприятий повышать эффективное плодородие эродированных почв (Сурмач, 1976; Заславский, 1979; Мусохранов, 1983; Шабаев, 1983; Яшутин, Мусохранов, 1983). При этом отмечается, что в результате реализации этого комплекса урожайность зерновых культур возрастает от 1 - 2 до 5 - 10 ц/га. Важно подчеркнуть, что основная задача комплекса противоэрозионных мероприятий - снижение поверхностного стока разных по генезису вод и смыва ими почв до допустимого уровня. В процессе реализации этого комплекса происходит лишь стабилизация эффективного плодородия эродированных почв, но отнюдь не его повышение.

В борьбе с эрозией почв вообще и эрозией сибирских черноземов в частности самыми эффективными являются фито- и лесомелиоративные противоэрозионные мероприятия. Среди фитомелиоративных средств защиты черноземов Сибири наиболее приемлемы почвозащитные севообороты; долговременное залужение сильносмывтых почв; полосный сев трав на склонах; улучшение травостоя пастбищных угодий, размещенных, как правило, на крутых склонах и испытывающих высокие пастбищные нагрузки.

Лесомелиоративные противоэрозионные мероприятия наибольшее распространение должны получить в тех геоморфологических районах Сибири, где проявляется совместное действие процессов смыва и дефляции почв. Здесь могут применяться такие виды лесных насаждений, как полезащитные и водорегулирующие, а также прибалочные и приовражные лесные полосы. Последние должны быть реализованы в районах широкого распространения линейной эрозии.

Создание полезащитных лесных полос - одно из обязательных звеньев в комплексе борьбы с эрозией почв равнинных территорий. Лесные полосы улучшают микроклимат межполосных полей, способствуют более равномерному распределению снега и тем самым уменьшают глубину промерзания и увеличивают влажность почв и приземного слоя воздуха, а в конечном итоге заметно повышают урожай возделываемых культур. Велико влияние полезащитных лесных полос и на окружающую среду.

Основные продольные лесополосы следует обязательно располагать поперек склонов. А.И. Федорова (1967) в лесных полосах Западной Сибири рекомендует основные полезащитные лесополосы закладывать на расстоянии от 400 до 450 м, а вспомогательные (поперечные) - не более 2 км. Считается, что наиболее хозяйственно эффективны сильно продуваемые лесополосы.



Создание водорегулирующих лесных полос особенно полезно на склонах с углом наклона свыше  $3^\circ$ . Их главная функция - "распыление" поверхностного стока снеготалых и ливневых вод, увеличение поглощения стоковых вод почвами. Они также улучшают микроклимат и задерживают снег на полях. Однако есть сведения (Федорова, 1967), что в Западной Сибири при глубоком и сильном промерзании почв и их позднем оттаивании водорегулирующие лесные полосы на склонах не оказывают должного положительного влияния на водопоглощение почв и наиболее полезны при задержании снеготалых вод, а это также немаловажно.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные выше материалы свидетельствуют о том, что в Сибири наиболее хозяйственно ценными почвами, доминирующими в структуре почвенного покрова, служат черноземы, занимающие более 25 млн га. Следовательно, эти почвы представляют собой “золотой” фонд земель региона, поскольку служили и служат прочной основой сельскохозяйственного производства наиболее промышленно развитого региона на востоке страны.

Ограниченные, а во многих регионах Сибири и очень ограниченные, климатические ресурсы оказываются первопричиной ослабленности многих почвенно-биологических, почвенно-геохимических процессов, замедленности самовосстановления утраченных почвой при нерациональном земле- и природопользовании изначально присущих ей экологических функций. Отсюда известная уязвимость экосистем Сибири к антропогенным нарушениям, сложность и длительность естественного и искусственного восстановления. Поэтому основной задачей почво- и природопользователей выступает бережное отношение к черноземам - этой житницы Сибири.

Учитывая практически повсеместную в той или иной степени деградированность почвенного покрова сельскохозяйственной зоны Сибири, постоянное расширение площадей разрушенных земель вследствие прогрессирования плоскостной и линейной эрозии почв, широкое распространение антропогенно деградированных экосистем естественных угодий в зоне хозяйственного производства, наиболее актуальным направлением эрозиоведов становится разработка технологий восстановления смытых почв и пораженных оврагами территорий.

Широкое распространение склоновых земель, на которых интенсивно протекают эрозионные процессы с ежегодным выносом от 1 - 3 до 9 - 15 т/га, обусловило формирование здесь более 7 млн га эродированных почв. Смыв твердой фазы черноземов в малоснежные зимы, повторяющиеся через 4 - 5 лет, во всех расчлененных районах Сибири следует считать экологически безопасным; в нормальные по увлажнению годы - слабоопасным; потери твердой фазы почвы во влажные годы, повторяющиеся, как и малоснежные, через 4 - 5 лет, необходимо оценивать как среднеопасные.

Трансформация полнопрофильных черноземов в эродированные сопровождается, кроме снижения мощности гумусового горизонта и

профиля в целом, потерей 25% гумуса слабосмытыми почвами, около 40% - среднесмытыми и более 50% - сильносмытыми. Гумус (углерод) теряется как с твердой фазой почвы, так и в растворенном виде. Кроме углерода с жидкой фазой стока тальми и ливневыми водами отчуждается значительное количество кальция, магния, калия, азота, фосфора. В расчлененных районах лесостепи Сибири экологически безопасным представляется суммарный вынос поверхностным стоком талых вод растворенных химических элементов, не превышающий 10 кг/га, в том числе углерода - 4 кг/га. Отчуждение углерода, щелочных и щелочноземельных катионов в пределах 11 - 40 кг/га, в том числе до 30 кг/га углерода, следует классифицировать как экологически слабоопасное; 41 - 100 кг/га, в том числе до 90 кг/га углерода, - как среднеопасное, а в пределах 101 - 130 кг/га - как сильноопасное.

Существенные потери углерода с жидким и твердым стоком отрицательно сказываются на почвенной микробиоте. Эрозионные процессы затрагивают весь комплекс структурно-функциональных взаимодействий в микробном сообществе: уменьшается численность микроорганизмов, изменяется их качественный состав, снижается активность гидролитических ферментов. Все это ведет к замедлению интенсивности микробиологических процессов, составляющих основу почвообразования.

Эрозионные процессы сопровождаются не только ухудшением окружающей среды, но и частичным ее улучшением. Отторгаемый в процессе эрозии биокосный материал при интенсивном поверхностном стоке талых, ливневых и ирригационных вод вблизи водоемов может полностью выноситься за пределы эрозионных катен, а при наличии замкнутых микропонижений скапливаться, формируя мощные, богатые гумусом, обменными основаниями и элементами питания растений лугово-черноземные намывные почвы, в которых резко интенсифицируется функционирование микробных популяций и усиливаются все процессы трансформации соединений азота.

Полнопрофильные пахотные почвы Сибири характеризуются высоким потенциальным плодородием. По мере "выпаханности", а также эрозионного разрушения склоновых почв их потенциальное плодородие резко снижается. Для его восстановления необходимо скорейшее внедрение в практику земле- и природопользования комплекса противоэрозионных мероприятий. В целях сглаживания хозяйственной деятельности человека, приводящей к ускоренной денудации пахотных почв склона, необходимо создание эрозионно устойчивых ландшафтов.

## ЛИТЕРАТУРА

*Абрамов А.И., Ильин Н.И., Тарасов Л.И.* Опыт определения параметров впитывания воды в почву при дождевании // Мелиоративные и гидролого-климатические расчеты и характеристики. - Омск: СХИ, 1984. - С. 30 - 35.

*Ангархаев Б.Д.* Состояние и меры борьбы с эрозией почв в Бурятской АССР // Эрозия почв бассейна оз. Байкал и меры борьбы с ней / Бурят. ин-т естеств. наук. - Улан-Удэ, 1977. - С. 3 - 10.

*Андреюк Е.И., Дульгеров А.Н., Иутинская Г.А.* Экология и физиолого-биохимические основы микробиологического превращения азота: Материалы конф. - Тарту, 1972. - С. 232 - 236.

*Андреюк Е.И., Коптева Ж.П., Занина В.В.* Цианобактерии. - Киев: Наукова думка, 1990. - 200 с.

*Артамонова В.С.* О развитии почвенных цианобактерий в черноземах Западной Сибири // Микробиологические исследования в Западной Сибири. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1989. - С. 133 - 137.

*Артамонова В.С.* Фототрофные азотфиксаторы // Биологическая фиксация азота. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. - С. 241 - 251.

*Артамонова В.С., Косинова Л.Ю.* Структурно-функциональная организация микробных сообществ в условиях антропогенеза почв // Окружающая среда и экологическая обстановка в Новосибирском научном центре СО РАН. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1995. - С. 213 - 217.

*Артамонова В.С., Танасиенко А.А., Гаджиев И.М.* Дegrадационные процессы в почвах Западной Сибири при снеготаянии // Тез. и докл. Всерос. конф. - М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева РАСХН, 1998. - Т. 2. - С. 106 - 109.

*Безель В.С., Большаков В.Н., Воробейчик Е.Л.* Техногенная деградация природной среды и пространственная гетерогенность популяций // Популяционная экотоксикология. - М.: Наука, 1994. - С.37 - 44.

*Бекетов А.Д., Ильин В.Л.* Ветроустойчивость обыкновенных черноземов Хакасии и урожай яровой пшеницы при различных сроках и способах основной обработки // Противозерозионная мелиорация почв Средней Сибири. - Красноярск, 1977. - С. 10 - 18.

*Бельгибаев М.Е., Долгилевич М.И.* О предельно допустимой величине эрозии почв // Труды ВНИАЛМИ. - Волгоград, 1970. - Вып. 1 (161). - С. 239 - 258.

*Беннет Х.Х.* Основы охраны почв: Пер. с англ. - М.: ИЛ, 1958. - 411 с.

*Богданов Н.И.* Состав гумуса в черноземах Западной Сибири // Тр. конф. почвоведов Сибири и Дальнего Востока / Тр. Биол. ин-та. - Новосибирск: Изд-во АН СССР. Сиб. отд-ние, 1964. - С. 312 - 322.

*Брауде И.Д.* Запасы воды в снеге на склонах разной экспозиции и их влияние на эрозию почв // Водная эрозия почв и меры борьбы с ней в районах лесостепи / Науч. тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. - М., 1976. - С. 44 - 72.

*Волощук М.Д.* Реконструкция склоновых земель, пораженных оврагами. - Кишинев: Карта Молдовеняскэ, 1986. - 264 с.

- Ворон В.П.* Загрязнение серых лесных почв щелочными и щелочноземельными металлами в зоне загрязнения атмосферы выбросами цементной пыли // Лесоводство и лесомелиорация. - 1984. - № 8. - С. 21 - 31.
- Гантимурова Н.И., Танасиенко А.А.* Микробоценозы эродированных черноземов Западной Сибири // Микробоценозы почв при антропогенном воздействии. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1981. - С. 94 - 103.
- Гантимурова Н.И., Косинова Л.Ю., Артамонова В.С.* Микробные сообщества черноземов при антропогенном воздействии // Проблемы почвоведения в Сибири. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. - С. 129 - 135.
- Гидрологический ежегодник.* - Новосибирск, 1967. - Т. 6. - Вып. 0 - 3. - 475 с.; 1968. - Т. 6. - Вып. 0 - 3. - 458 с.; 1969. - Т. 6. - Вып. 0 - 3. - 424 с.; 1970. - Т. 6. - Вып. 0 - 3. - 439 с.; 1971. - Т. 6. - Вып. 0 - 3. - 459 с.; 1972. - Т. 6. - Вып. 0 - 3. - 505 с.; 1974. - Т. 6. - Вып. 0 - 3. - 509 с.; 1975. - Т. 6. - Вып. 0 - 3. - 514 с.; 1976. - Т. 6. - Вып. 0 - 3. - 500 с.; 1978. - Т. 6. - Вып. 0 - 3. - 289 с.; 1979. - Т. 6. - Вып. 0 - 3. - 313 с.
- Горбунов И.Ф., Рябов Е.И.* Задачи охраны почв в Ставропольском крае // Ставропол. НИИСХ. - 1972. - Вып. 13. - С. 34 - 39.
- Градобоев Н.Д.* Итоги трехлетних почвенно-эрозийных исследований в Омской области // Водная и ветровая эрозия почв и меры борьбы с ней в Сибири. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1974. - С. 23 - 28.
- Грин А.М., Кук Ю.В., Чернышев Е.П.* Приходная часть водного баланса элементарных природных и природно-технических комплексов // Водный баланс основных экосистем Центральной лесостепи. - М.: Изд-во АН СССР, 1974. - Ч. 1. - С. 32 - 52.
- Гудзон Н.* Охрана почв и борьба с эрозией: Пер. с англ. - М.: Колос, 1974. - 303 с.
- Гусев М.В., Никитина К.А.* Цианобактерии (физиология и метаболизм). - М.: Наука, 1979. - 282 с.
- Гуссак В.Б.* Эродированность почв, пути исследования и некоторые связанные с ней проблемы: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. - Ташкент, 1959. - С. 5 - 6.
- Добровольский Г.В., Никитин Е.Д.* Экологические функции почв. - М.: Изд-во МГУ, 1986. - 136 с.
- Докучаев В.В.* Русский чернозем: Отчет ВЭО. - СПб.: Изд-во Вольн. эконом. о-ва, 1883. - 376 с.
- Докучаев В.В.* Овраги и их значение // Избр. соч. - М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1949. - Т. 1. - С. 103 - 111.
- Дружинин Д.В.* Влияние длительного применения удобрений на химические и физические свойства почв // Удобрение и урожай. - 1958. - № 4. - С. 12 - 37.
- Дубовик И.Е. и др.* Влияние эрозии почвы на структуру и динамику синузий почвенных водорослей // Биол. науки. - 1979. - № 9. - С. 91 - 94.
- Евдокимова Т.И., Давыдов А.И., Зборищук Н.Г.* Оценка эффективности полива агрегатом "Днепр" на влажность почв и продуктивность люцерны на черноземе южном // Вестн. Моск. ун-та. - 1986. - № 1. - Сер. 17. - С. 50 - 53.
- Егоров В.В.* Оценка почвенно-мелиоративных условий для целей орошения сухостепных земель Восточно-Европейской равнины // Почвоведение. - 1983. - № 2. - С. 73 - 84.
- Егоров В.В.* Об орошении черноземов // Почвоведение. - 1984. - № 12. - С. 39 - 47.
- Заиков Г.Е., Маслов С.А., Рубайло В.Л.* Кислотные дожди и окружающая среда. - М.: Химия, 1991. - 144 с.
- Заславский М.Н.* Эрозия почв. - М.: Мысль, 1979. - 255 с.
- Зубаиров О.З.* Режим орошения сельскохозяйственных культур при поливе животноводческими стоками // Вестн. с.-х. науки Казахстана. - 1988. - № 4. - С. 30 - 38.

- Иванов А.Д.* Эрозия почв в Бурятской АССР // Эрозия почв в Сибири. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1975. - С. 152 - 159.
- Иванов В.Д.* Оценка влияния экспозиции склона на сток талых вод и смыв почв // Почвоведение. - 1979. - № 10. - С. 78 - 82.
- Ивонин В.М., Уваров В.М.* Повышение противозерозионной стойкости почв на склонах // Сиб. вестн. с.-х. науки. - 1982. - № 4. - С. 17 - 26.
- Ильичев А.И., Соловьев Л.И.* Экономическая география Кузбасса. - Кемерово: Кн. изд-во, 1989. - 208 с.
- Калесник С.В.* О графическом изображении энергии рельефа // Изв. геогр. о-ва. - 1936. - № 6. - С. 894 - 898.
- Карпенко В.Д., Савостьянов В.К.* Опыт применения методики изучения впитывающей способности при поливе дождеванием в условиях Средней Сибири // Эродированные почвы и повышение их плодородия. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1985. - С. 168 - 173.
- Каштанов А.Н.* Защита почв от ветровой и водной эрозии. - М.: Россельхозиздат, 1974. - 206 с.
- Келлер Б.А.* Происхождение растений и приспособления у растений простейшего типа // Тр. Лабор. эволюц. экологии растений. - М.: Изд-во АН СССР. - 1952. - Т. 3. - С. 5 - 30.
- Кирушин В.И., Лебедева И.Н.* Изменение содержания гумуса черноземов Сибири и Казахстана под влиянием сельскохозяйственного использования // Докл. ВАСХНИЛ. - 1984. - № 5. - С. 4 - 7.
- Клебенская И.Л.* Микрофлора черноземов Сибири // Микрофлора почв северной и средней части СССР. - М.: Наука, 1966. - С. 250 - 274.
- Клебенская И.Л.* Олигонитрофильные микроорганизмы почв Западной Сибири. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1974. - 250 с.
- Клебенская И.Л.* Влияние экологических факторов на активность азотфиксации // Биологическая фиксация азота. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. - С. 251 - 263.
- Клейнерман Я.З.* Водная эрозия почв Запорожской области и борьба с ней // Повышение плодородия эродированных почв / Науч. тр. УкрНИИ почвоведения им. Соколовского. - Киев: Госсельхозиздат, 1963. - Т. 6. - С. 125 - 135.
- Кобзев В.А.* Взаимодействие загрязняющих почву тяжелых металлов и почвенных микроорганизмов: Обзор // Тр. Ин-та эксперим. метеорологии. - 1980. - Вып. 10 (86). - С. 51 - 66.
- Ковалев В.Н.* Введение // Вопросы освоения целинных и залежных земель Западной Сибири / Тр. Биол. ин-та. - Новосибирск: Кн. изд-во, 1957. - Вып. 3. - С. 3 - 10.
- Ковалев Р.В., Волковинцер В.И., Гаджиев И.М.* Основные черты почвенного покрова и качественный состав земельного фонда Сибири // Земельные ресурсы Сибири. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1977. - С. 4 - 13.
- Ковалева С.Р.* Эрозионная деформация почвенного покрова. - Новосибирск: ВО "Наука". Сиб. издат. фирма, 1992. - 160 с.
- Ковалева С.Р., Танасиенко А.А., Путилин А.Ф.* Склонный сток талых вод на пахотных почвах лесостепи Западной Сибири // Почвоведение. - 1998. - № 6. - С. 719 - 726.
- Ковда В.А.* Биогеохимические циклы в природе и их нарушение человеком. - М.: Наука, 1975. - С. 73.
- Ковда В.А.* Почвенный покров, его улучшение, использование и охрана. - М.: Наука, 1981. - 184 с.
- Ковда В.А.* Роль и функции почвенного покрова в биосфере Земли: Препринт. - Пушино, 1985. - 10 с.

*Ковда В.А., Розанов Б.Г., Евдокимова Т.И. и др.* Принципы организации орошаемого земледелия на черноземах // Почвоведение. - 1986. - № 3. - С. 22 - 30.

*Конке Г., Бертран А.* Охрана почв: Пер. с англ. - М.: Сельхозиздат, 1962. - 344 с.

*Коновалов И.И., Пыжов В.Г.* Об изменении стока и смыва на склоновых землях // Метеорология, климатология и гидрология: Межведомств. науч. сб. - Киев: Изд-во Киев. ун-та. - 1969. - Вып. 4. - С. 180 - 184.

*Кононова М.М.* Проблемы почвенного гумуса и современные задачи его изучения. - М.: Изд-во АН СССР, 1951. - 390 с.

*Корсунов В.М., Цыбжитов Ц.Х.* Почвенный покров бассейна оз. Байкал // Почвенные ресурсы Забайкалья: Сб. науч. тр. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1989. - С. 4 - 12.

*Косинова Л.Ю., Гантимурова Н.И., Танасиенко А.А.* Влияние эрозии на микробные сообщества черноземов Западной Сибири // Почвоведение. - 1993. - № 8. - С. 72 - 80.

*Косов Б.Ф.* Овражная эрозия в Сибири // Вестн. МГУ. Сер. геогр. - 1960. - № 3. - С. 17 - 23.

*Косов Б.Ф.* Тенденции развития овражной сети в земледельческой зоне европейской территории СССР // Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях. - М.: Изд-во МГУ, 1981. - С. 197 - 198.

*Косов Б.Ф. и др.* Овражная опасность территории Среднего региона СССР в связи с ее хозяйственным освоением // Геоморфология. - 1976. - № 2. - С. 36 - 42.

*Косов Б.Ф., Любимов Б.П., Никольская И.И.* О методике составления карт противоэрозионной устойчивости горных пород для целей учета потенциальной опасности развития линейной эрозии // Эрозия почв и русловые процессы. - М.: Изд-во МГУ. - 1973. - Вып. 3. - С. 116 - 125.

*Косов Б.Ф., Никольская И.И., Зорина Е.Ф.* Экспериментальное исследование оврагообразования // Экспериментальная геоморфология. - М.: Изд-во МГУ, 1978. - Вып. 3. - С. 113 - 140.

*Критерии* оценки экологической обстановки территории для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. - М., 1992. - 58 с.

*Кузнецов М.С., Глазунов Г.П.* Эрозия и охрана почв. - М.: Изд-во МГУ, 1996. - 100 с.

*Личко В.И.* Ферментативная активность как индикатор экологического состояния почв: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. - Воронеж, 1998. - 18 с.

*Лысак Г.Н.* Противоэрозионная агротехника в Черемсано-Демской степи Башкирии // Эрозия почв и борьба с нею. - М.: Гос. изд-во с.-х. лит., 1957. - С. 56 - 63.

*Львович М.И.* Человек и воды. - М.: Географгиз, 1963. - 566 с.

*Львович М.И.* Мировые водные ресурсы и их будущее. - М.: Мысль, 1974. - 448 с.

*Маккавеев Н.И.* О научных основах методики борьбы с эрозией // Эрозия почв и русловые процессы. - М.: Изд-во МГУ, 1970. - Вып. 1. - С. 52 - 60.

*Маккавеев Н.И.* Основные закономерности плоскостной эрозии // Основные проблемы охраны почв. - М.: Изд-во МГУ, 1975. - С. 11 - 13.

*Маринеску К.М.* Биологические основы повышения плодородия малопродуктивных почв Молдавии: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. - Л., 1989. - 19 с.

*Метельский В.В.* Удобрения и их применение. - Кемерово: Кн. изд-во, 1959. - 89 с.

*Метеорологический ежегодник / Зап.-Сиб. террит. упр. по гидрометеорологии и контролю природной среды.* - Новосибирск, 1976 - 1990. - Вып. 20.

*Мишустин Е.Н., Емцев В.Т.* Почвенные азотфиксирующие бактерии рода *Clostridium*. - М.: Наука, 1974. - 250 с.

*Моргун Ф.Т., Шидула Н.К., Тарарико А.Г.* Почвозащитное земледелие. - Киев: Урожай, 1988. - 256 с.

*Мусохранов В.Е.* Использование эродированных земель в Западной Сибири. - М.: Россельхозиздат, 1983. - 191 с.

*Назын-Оол В.Д., Григорьев В.Ф., Назын-Оол О.А.* Фитомелиорация и повышение плодородия переветренных почв Тувинской АССР // Противозерозийная мелиорация почв Средней Сибири. - Красноярск, 1977. - С. 36 - 41.

*Назын-Оол В.Д., Поморцева В.Т., Афонин А.И.* Распространение эрозии почв и основные почвенно-эрозионные зоны на территории Тувинской АССР // Тез. докл. "Научно-производственная конференция по эрозии почв бассейна оз. Байкал (9 - 11 октября 1974 г.)" / АН СССР. Сиб. отд-ние. Ин-т естеств. наук. - Улан-Удэ, 1974. - С. 49 - 50.

*Намжилов Н.Б.* Эрозия почв в земледельческой зоне Западного Забайкалья и основные меры борьбы с ней // Водная и ветровая эрозия почв и меры борьбы с ней в Сибири. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1974. - С. 17 - 23.

*Намжилов Н.Б.* Актуальные вопросы защиты почв от эрозии и о некоторых путях их рационального использования в Бурятской АССР // Генезис и плодородие почв Западного Забайкалья. - Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1983. - С. 179 - 190.

*Намжилов Н.Б.* Земельные ресурсы Забайкалья, их охрана и рациональное использование // Проблемы использования и охраны почв Сибири и Дальнего Востока. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984. - С. 171 - 174.

*Намжилов Н.Б., Кокорин Ю.Н., Андрианова Л.В.* Защита почв от эрозии // Почвенные ресурсы Забайкалья. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1989. - С. 166 - 174.

*Наплекова Н.Н.* Влияние соломы и торфа на баланс азота и углерода в почве Кулунды // Генетические особенности почв Обь-Иртышского междуречья и Горного Алтая. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1966. - С. 143 - 151.

*Некрасова К.А., Александрова И.В.* Участие коллембол и дождевых червей в превращении органического вещества водорослей // Почвоведение. - 1982. - № 10. - С. 65 - 71.

*Носко Б.С., Чесняк Г.Я., Кукоба П.И.* Оптимизация режимов и свойств черноземов Украины // Вестн. с.-х. науки. - 1986. - № 7. - С. 53 - 58.

*Орлов А.Д.* Водная эрозия почв Новосибирского Приобья. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1971. - 176 с.

*Орлов А.Д.* Поверхностный сток талых вод и смыв почв в лесостепной зоне Западной Сибири // Эродированные почвы Сибири и пути повышения их производительности. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1977. - С. 23 - 49.

*Орлов А.Д.* Эрозия и эрозионно опасные земли Западной Сибири. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1983. - 207 с.

*Орлов А.Д., Путилин А.Ф.* Формирование, прогноз и эрозионная оценка поверхностного стока на водосборах Бие-Чумышской возвышенности // Эрозионные процессы в Сибири. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1978. - С. 32 - 44.

*Орлов А.Д., Путилин А.Ф.* Эрозионная оценка атмосферных осадков на юго-востоке Западной Сибири // Современные аспекты изучения эрозионных процессов. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980. - С. 75 - 86.

*Орлов А.Д. и др.* Особенности поверхностного стока талых вод и смыва почв в Западной Сибири при затяжной весне // Там же. - С. 66 - 78.



*Орлов А.Д., Реймхе В.В., Ковалева С.Р. и др.* Эрозия и диагностика эродированных почв Сибири. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988. - 119 с.

*Орлов А.Д., Танасиенко А.А.* Эродированные черноземы Кузнецкой котловины и пути рационального их использования // Водная эрозия почв в Сибири. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1975. - С. 4 - 104.

*Орлов А.Д., Танасиенко А.А., Реймхе В.В.* Диагностика и структура почвенного покрова эродированных почв // Эрозия и диагностика эродированных почв Сибири. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988. - С. 37 - 61.

*Панин П.С., Танасиенко А.А.* Ирригационная эрозия черноземов и гидрохимия стока // Почвоведение. - 1989. - № 3. - С. 113 - 122.

*Панков А.М.* Эрозия почв в южной части обыкновенного чернозема Центрально-черноземной области // Эрозия почв. - М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1937. - С. 303 - 314.

*Пенк В.* Морфологический анализ. - М.: Гос. изд-во геогр. лит., 1961. - 359 с.

*Преснякова Г.А.* Агротехнические приемы борьбы с водной эрозией в Алтайском крае // Борьба с эрозией почв и ее предупреждение в районах освоения целинных и залежных земель. - М., 1957. - С. 5 - 24.

*Путилин А.Ф.* Оврагообразование на юго-востоке Западной Сибири. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988. - 81 с.

*Путилин А.Ф., Танасиенко А.А.* География эрозионных процессов юга Западной Сибири // Актуальные вопросы геологии и географии Сибири. Т. 4: Материалы науч. конф., посвященной 120-летию основания Томского государственного университета, 1 - 4 апр. 1998 г., г. Томск. - Томск: Том. гос. ун-т, 1998. - С. 78 - 90.

*Реймхе В.В.* Эрозионные процессы в лесостепных ландшафтах Забайкалья. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986. - 121 с.

*Рейнгард Я.Р.* Влияние физико-географических условий на развитие эрозионных процессов и почвенно-эрозионное районирование территории Омской области: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. - Омск, 1975. - 27 с.

*Ремезов Н.П.* Почвенные коллоиды и поглощательная способность. - М.: Сельхозгиз, 1957. - 223 с.

*Роде А.А.* Многолетняя изменчивость атмосферных осадков и элементов водного баланса почв // Вопросы водного режима почв. - Л.: Гидрометеиздат, 1978. - С. 3 - 129.

*Рожков А.Г.* Некоторые вопросы изучения овражной эрозии и борьба с ней // Вопросы эрозии и повышения продуктивности склоновых земель Молдавии. - Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1968. - Т. 5. - С. 180 - 188.

*Рожков А.Г.* Некоторые данные по морфометрии оврагов Молдавии // Там же. - 1971. - Т. 7. - С. 122 - 137.

*Рожков А.Г.* Борьба с оврагами. - М.: Колос, 1981. - 199 с.

*Российский статистический ежегодник.* 1994: Стат. сб. / Госкомстат России. - М., 1996. - 799 с.

*Санталов И.А.* Эрозия почв в ЦЧО и борьба с нею // Тр. Воронеж. ун-та. - Воронеж, 1970. - Т. 80. - С. 36 - 51.

*Сельское хозяйство СССР:* Стат. сб. - М.: Статистика, 1971. - 711 с.

*Сельское хозяйство СССР:* Стат. сб. / Госкомстат. - М.: Финансы и статистика, 1988. - 535 с.

*Сильвестров С.И.* Роль рельефа в развитии современной эрозии и борьба с нею // Современные экзогенные процессы рельефообразования. - М.: Наука, 1970. - С. 75 - 82.

*Соболев С.С.* Развитие эрозионных процессов на территории европейской части СССР и борьба с ними. - М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1948. - Т. 1. - 305 с.

*Соболев С.С.* Развитие эрозионных процессов на территории европейской части СССР и борьба с ними. - М.: Изд-во АН СССР, 1960. - Т. 2. - 248 с.

*Соболев С.С., Садовников И.Б.* Распространение эрозии почв и предупреждение ее в районах освоения целинных и залежных земель // Почвоведение. - 1955. - № 1. - С. 16 - 24.

*Справочник по климату.* - Л.: Гидрометеиздат, 1969. - Ч. 4. - Вып. 20. - 331 с.

*Старостина И.В.* Формирование стока наносов и возможность его прогноза во время весеннего половодья (на примере рек бассейна Оки): Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. - М., 1972. - 22 с.

*Сурмач Г.П.* Классификация смытых почв и ее применение при составлении крупномасштабных почвенно-эрозионных карт // Почвоведение. - 1954. - № 1. - С. 71 - 80.

*Сурмач Г.П.* Рельефообразование и современные процессы почвенной эрозии в степном Поволжье // Тр. ин-та / ВНИАЛМИ. - 1970. - Вып. 1 (61). - С. 18 - 138.

*Сурмач Г.П.* Водная эрозия и борьба с ней. - Л.: Гидрометеиздат, 1976. - 254 с.

*Танасиенко А.А.* Некоторые физико-химические свойства гранулометрических фракций эродированных выщелоченных черноземов Кузнецкой котловины // Эродированные почвы и пути повышения их производительности. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1977. - С. 104 - 115.

*Танасиенко А.А.* Гумус выщелоченных черноземов и его изменение под воздействием смыва // Почвоведение. - 1983. - № 4. - С. 116 - 125.

*Танасиенко А.А.* Эродированные черноземы юга Западной Сибири. - Новосибирск: ВО "Наука". Сиб. издат. фирма, 1992. - 152 с.

*Танасиенко А.А.* Экологические аспекты проявления эрозионных процессов и обоснование путей их стабилизации // Окружающая среда и экологическая обстановка в Новосибирском научном центре СО РАН. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1995. - С. 207 - 213.

*Танасиенко А.А., Путилин А.Ф.* Экологические аспекты проблемы эрозии почв // Сиб. экол. журн. - 1994. - № 3. - С. 185 - 194.

*Танзыбаев М.Г.* Современное состояние земельных ресурсов Хакасии // Земельные ресурсы Сибири. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1974. - С. 52 - 57.

*Теллер Э.Э.* Микроорганизмы рода *Nocardia* и разложение гумуса. - М.: Наука, 1976. - 193 с.

*Трофимов С.С.* Влияние длительного применения удобрений на плодородие почв северной лесостепи Сибири // Бюл. науч.-техн. информ. СибНИИСХоза. - 1958. - № 2. - С. 19 - 24.

*Трофимов С.С.* Экология почв и почвенные ресурсы Кемеровской области. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1975. - 300 с.

*Усов Н.И.* О биологическом накоплении кремниевой кислоты в почвах // Почвоведение. - 1943. - № 9/10. - С. 30 - 36.

*Федорова А.И.* Полезацинное лесоразведение в лесостепных районах Западной Сибири. - М.: Наука, 1967. - 152 с.

*Философов В.П.* Методика вычисления и геолого-геоморфологическая интерпретация коэффициента расчленения рельефа // Вопросы морфометрии. - 1967. - Вып. 2. - С. 112 - 146.

*Хазиев Ф.Х.* Системно-экологический анализ ферментативной активности почв. - М.: Наука, 1982. - 202 с.

*Хазиев Ф.Х., Багаутдинов Ф.Я.* Углеводные компоненты органического вещества почвы. - Уфа: БФ АН СССР, 1987. - 145 с.

*Хмелев В.А., Танасиенко А.А.* Черноземы Кузнецкой котловины. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1983. - 256 с.

*Хорошлов И.И.* О зарубежном опыте производства зерна и продуктов животноводства в районах, сходных в природном отношении с районами целинных

земель // Проблемы сельского хозяйства Северного Казахстана и степных районов Западной Сибири. - М., 1967. - С. 50 - 66.

*Чуян Г.А., Бойченко З.А., Пружин М.К.* Потери биогенных веществ и смыв почвы при снеготаянии в зависимости от длины и крутизны склона // Агрехимия. - 1984. - № 7. - С. 53 - 58.

*Чуян Г.А., Чуян С.И.* Трансформация агрохимических показателей почвы под влиянием рельефа, эрозии и удобрений // Агрэкологические принципы земледелия. - М.: Колос, 1993. - С. 175 - 184.

*Шаббаев А.И.* Почвозащитные мероприятия на склоновых землях Поволжья // Почвозащитное земледелие на склонах. - М.: Колос, 1983. - С. 119 - 130.

*Шатилов И.С., Замараев А.С., Чаповская Г.В.* Химический состав атмосферных осадков и поверхностно стекаемых вод // Вестн. с.-х. науки. - 1979. - № 6. - С. 11 - 17.

*Шатилов И.С. и др.* Химический состав атмосферных осадков // Вестн. с.-х. науки. - 1990. - № 5. - С. 40 - 42.

*Шмидеберг Н.А.* Кислотные дожди и возможное их влияние на химический состав природных вод в бассейне р. Протвы // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. - 1990. - № 6. - С. 36 - 45.

*Штина Э.А.* Особенности сообществ водорослей в мощных черноземах Центрально-Черноземного заповедника // Тр. Центрально-Черноземного заповедника. - М.: Изд-во Гл. упр. заповедников, 1965. - Т. 9. - С. 146 - 155.

*Штина Э.А.* Некоторые закономерности распространения синезеленых водорослей в почвах // Биология синезеленых водорослей. - М.: Изд-во МГУ, 1969. - Вып. 2. - С. 21 - 45.

*Штина Э.А., Юнг Л.А.* Опыт применения почвенных водорослей для бактериальных удобрений // Агробиология. - 1963. - № 3. - С. 424 - 429.

*Шумаков В.Б., Прокофьев В.П.* Интенсификация исследования водных ресурсов в промышленности и орошаемом земледелии СССР // Водные ресурсы. - 1986. - № 3. - С. 3 - 14.

*Шурикова В.И.* Плодородие почв, подверженных водной эрозии, и пути его повышения: Обзор. информ. - М.: ВАСХНИЛ, 1981. - 42 с.

*Шушужева М.Г.* Распространение азотфиксирующих синезеленых водорослей на отвалах угольных разработок в Кузбассе // Восстановление техногенных ландшафтов Сибири. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1977. - С. 56 - 64.

*Яшутин Н.В., Мусохранов В.Е.* Повышение продуктивности склоновых земель в Алтайском крае // Почвозащитное земледелие на склонах. - М.: Колос, 1983. - С. 137 - 148.

*Колчаков И., Файтонджиев Л.* Промени на някои химични и морфологични свойства на светлосива (псевдоподзолиста) горска почва, глеевидна, под въздействието на цементов прах // 3 нац. конф. почвозн. - София, 1982. - Ч. 1. - С. 63 - 66.

*Addison P.* Airborne pollutants and their potential impact on the forest // Can. Forest Ind. - 1989. - Juli. - P. 93 - 98.

*Boney A.D.* Mucilage: the ubiquitous algal attribute // Brit. Phycol. J. - 1981. - Vol. 16, № 2. - P. 115 - 132.

*Colleyer D.M., Fogg G.E.* Studies on fat accumulation by algae // J. Exhtl. Bot. - 1955. - № 6. - P. 256 - 275.

*Dangler E.W., El-Swaity S.A.* Erosion of selected hawaii soils by simulated rainfall // Soil Sci. Amer. J. - 1976. - Vol. 40, № 5. - P. 769 - 773.

*Durell L.* Algae of Death Valley // Trans. Amer. Microscop. Soc. - 1962. - Vol. 81, № 3.

*Lal R.* Soil erosion on Altisol in Western Nigeria, 1. Effects of slope, crop rotation and residue management // Geoderma. - 1976. - № 5. - P. 363 - 376.

*Larson W.E., Pierce F.J., Dowby R.H.* The threat erosion longterm crop production // Science. - 1983. - Vol. 219. - P. 458 - 465.

*Luca A.* Combateral eroziunii si refecarea fertilitatii solucili in podisol central Moldovenesc // Probleme agricole. - Bucuresti, 1963. - № 8.

*Lund J.W.G.* Observation on soil algae. Hart 1. The ecology, size and taxonomy of British soil diatoms // New Phytologist. - 1945. - Vol. 44, № 2. - P. 146 - 219.

*Mackenzie G., El-Ashry M.* Ill Winds: air pollutions toll on tree and crops // Technol. Rev. - 1989. - Vol. 92, № 3. - P. 64 - 71.

*Metha S.C., Venkataraman G.S., Das S.C.* The fine structure and the cell wall nature of *Diatoma hiemale* var. *mesodon* (Ehr.) // Grun. Rev. algol. - 1961. - N.s. Vol. 6, № 1. - P. 49 - 52.

*Nekrasova K.A. et al.* The influence of invertebrates on the development of algae // Pedobiologia. - 1976. - Bd 16, H. 4. - S. 286 - 297.

*Piest R.F., Ziemnicki S.* Compatative erosion rates of loess soil in Poland and Yova // Trans, ASAE. - 1979. - Vol. 22, № 3.

*Schwertman U.* Bodenerosion durch Wasser-Ursachen, Ausbad, Vorhersage // Landwirt. Forsch. - Sondern, 1981. - Bd 37. - S. 117 - 121.

*Spomer R.G., Saxton R.E., Heineman H.G.* Water yield and erosion response to land management // J. Soil and Water Conserv. - 1973. - Vol. 28, № 4. - P. 168 - 171.

*Sullivan M.J., Volcani B.E.* Silicon in the cellular metabolism of diatoms // Silicon and Siliceous Structure. - Biol. Syst. New York e.a., 1981. - P. 15 - 42.

*Talling J.E.* The relative growth rates of tree plankton diatoms in relation to underwater radiation and temperature // Ann. Bot. - 1955. - Vol. 19, № 3. - P. 284 - 307.

*Vliet L.J.P., von Wall G.J.* Comparison of predicted and measured sheet and rill erosion losses in southern Ontario // Can. J. Soil. Sci. - 1979. - Vol. 53, № 2. - P. 211 - 213.

*Zuzel J.F., Almaras R.R., Grenwalt R.* Runoff and soil erosion on frozen soils in northeastern Oregon // Soil and Water Conserv. - 1982. - Vol. 32, № 6. - P. 351 - 354.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- Танасиенко Анатолий Алексеевич - зам. директора Института почвоведения и агрохимии СО РАН по научной работе, д.б.н., тел. 22-29-77
- Путилин Александр Федорович - ст. науч. сотрудник лаборатории почвенно-физических процессов ИПА СО РАН, к.г.н., тел. 22-55-21
- Артамонова Валентина Сергеевна - вед. науч. сотрудник лаборатории почвенно-физических процессов ИПА СО РАН, к.б.н., тел. 22-28-09

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
Глава 1. ХОЗЯЙСТВЕННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА, ИНТЕНСИФИЦИРУЮЩАЯ ЭРОЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ.....	6
Глава 2. СПЕЦИФИКА ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В СИБИРИ .....	13
2.1. Снеготалые воды.....	14
2.2. Ливневые воды.....	23
2.3. Ирригационные воды .....	26
Глава 3. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ....	30
3.1. Вынос химических элементов талыми водами.....	31
3.2. Потери химических элементов с ирригационными водами .....	39
3.3. Вынос химических элементов с твердой составляющей стока.....	42
Глава 4. ЛИНЕЙНАЯ ЭРОЗИЯ .....	49
Глава 5. ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОЧВЕННОЙ БИОТЫ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭРОЗИИ.....	56
Глава 6. ПУТИ СНИЖЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ .....	72
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	82
ЛИТЕРАТУРА .....	84
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ .....	93

Танасиенко Анатолий Алексеевич  
Путилин Александр Федорович  
Артамонова Валентина Сергеевна

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

Аналитический обзор

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы Word 7.0 for Windows 95.  
Компьютерная верстка выполнена Т.А. Калюжной.

Сдано в набор 5.05.99

Подписано в печать 25.08.99.      Формат 60x84/16.

Бумага писчая.      Гарнитура TextBook      Ротапринт.

Усл. печ. л. 5,3.      Уч.-изд. л. 8,0.      Тираж 300 экз.

Заказ N 69.

Цена договорная

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

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