

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Географический факультет

Научно-исследовательская лаборатория эрозии почв и русловых процессов
им. Н.И. Маккавеева

ЭКОЛОГИЯ
ЭРОЗИОННО-РУСЛОВЫХ СИСТЕМ
РОССИИ

Под редакцией профессора Р.С. Чалова

Москва
2002

УДК 6.31.4:55.3

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 00-05-64690, 01-05-64284), Программы поддержки ведущих научных школ России (проект № 00-15-98512) и программы «Университеты России. Фундаментальные исследования».

Экология эрозионно-русловых систем России / М.Ю. Белоцерковский
К.М. Беркович, О.В. Виноградова, Н.Г. Добровольская, Л.В. Злотина, Е.Ф. Зорина, Н.Н. Иванова, З.П. Кирюхина, С.Н. Ковалев, Л.Ф. Литвин, А.Ю. Сидорчук, Р.С. Чалов, А.В. Чернов; Под ред. Р.С. Чалова. – М.: Географический ф-т МГУ, 2002. – 163 с.

В монографии подводятся итоги многолетних исследований, проведенных в научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева по программам «Экология России», «Экологическая безопасность России» и, главным образом, «Университеты России. Фундаментальные исследования». Изложены основы теории эрозионно-русловых систем и даны оценки их экологического состояния в пределах России.

Рассчитана на геоэкологов, гидроэкологов, специалистов по эрозии почв и русловым процессам. Может быть полезна работникам федеральных и региональных органов охраны природных и водных ресурсов.

Рецензенты:

проф., д-р геогр. наук Н.И. Алексеевский
доц., канд. геогр. наук А.Н. Кичигин

ISBN 5-89575-053-2

© Географический ф-т МГУ, 2002
© Коллектив авторов, 2002

*Посвящается 250-летию основания
Московского государственного
университета им. М.В. Ломоносова
и
10-летию программы
"Университеты России.
Фундаментальные исследования"*

ВВЕДЕНИЕ

В 1955 г издательство АН СССР выпустило книгу профессора Н.И. Маккавеева «Русло реки и эрозия в ее бассейне», которая открыла новую страницу в изучении процессов и явлений, связанных с взаимодействием водных потоков с земной поверхностью. Впервые все они были рассмотрены во взаимосвязи и взаимозависимости – от эрозии почв на склонах, вызванной потоками воды, образующимися при выпадении дождей и таянии снега, до русловых процессов на крупнейших реках и в устьях рек. Вся совокупность процессов, нашедшая отражение уже в названии книги, впоследствии стала называться эрозионно-аккумулятивными процессами. И хотя продолжали развиваться независимо друг от друга исследования каждого вида составляющих их процессов – эрозии почв, овражной эрозии, русловых процессов, что вполне естественно, изучение их в комплексе как единого целого привело к решению ряда важнейших фундаментальных и прикладных задач: были сформулированы общие законы эрозионно-аккумулятивных процессов; установлены внутрибассейновые соотношения, прямые и обратные связи между процессами в разных звеньях сети водных потоков; определены механизмы переноса вещества и их роль в эволюции склонов и создаваемых потоками форм рельефа (оврагов, речных русел); созданы основы бассейнового подхода к разработке противоэрозионных мероприятий и проектов регулирования русел рек (в последнем случае, по существу – управления русловыми процессами).

Это новое междисциплинарное (гидрология – почвоведение – геоморфология) направление в изучении флювиальных, т.е. связанных с работой водных потоков, процессов явилось методологической базой создания в 1969 г на географическом факультете Московского государственного университета научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов, которая с 1998 г носит имя ее основателя и организатора – Н.И. Маккавеева. Именно здесь изучение эрозионно-аккумулятивных процессов привело к разработке концепции эрозионно-русловых систем (ЭРС) как совокупности взаимосвязанных форм рельефа и процессов, обусловленных воздействием водных потоков на земную поверхность. При этом было показано, что постоянно происходящие пространственно-временные изменения эрозионно-русловых систем вследствие глобальных и региональных изменений природной среды и в результате использования водных и земельных ресурсов являются причиной возникновения экологически неблагоприятных условий для жизни и деятельности людей.

Экологическая напряженность в ЭРС обуславливается ускоренной эрозией почв на сельскохозяйственных землях, развитием оврагов, вызывающих разрушение земель, инженерных сооружений, коммуникаций, заилением, пересыханием и деградацией малых рек, ухудшением качества речных вод вследствие перемещения со склонов биогенных элементов, в том числе внесенных в почву с удобрениями, опасными проявлениями русловых

процессов, приводящими к размывам берегов и дна рек, занесению наносами водозаборов, ликвидации рекреационных зон, понижению уровней воды или подтоплению приречных территорий и т.д. Сопряженность развития эрозии почв, овражной эрозии и русловых процессов, как составных частей единого эрозионно-аккумулятивного процесса, определяет эволюцию и антропогенную трансформацию ЭРС.

Выявление взаимосвязей и механизмов взаимодействия и взаимозависимости структурных составляющих ЭРС, соотношений положительных эффектов использования водных и земельных ресурсов с негативными его последствиями, оценка экологической напряженности в каждом звене ЭРС с учетом их взаимодействия позволили дать интегральную характеристику экологического состояния речных бассейнов России, что является одной из основ рационального использования водных и земельных ресурсов в их пределах, управления эрозионно-аккумулятивными процессами и разработки концепции обеспечения экологической безопасности ЭРС.

Такой подход впервые был реализован в конце 80-х – начале 90-х годов в рамках федеральных программ «Экология России» и «Экологическая безопасность России» как составная часть решения более общей проблемы. В 90-е годы во вновь созданную программу «Университеты России. Фундаментальные исследования» был включен на конкурсной основе проект «Современное состояние эрозионно-русловых систем: оценка и разработка научных основ обеспечения их экологической безопасности при использовании водных и земельных ресурсов России», работы по которому были завершены в 2001 г. В 2002 г. в эту программу вошел новый проект «Эрозионные и русловые процессы: использование механизмов развития, взаимосвязей, опасных форм проявления в различных природно-антропогенных условиях и разработка методов оценки риска нарушения экологической безопасности эрозионно-русловых систем». Будучи, с одной стороны, логическим продолжением и развитием предыдущего проекта, он в то же время призван в ходе выполнения подвести итоги многолетней работы коллектива лаборатории по созданию теории эрозионно-русловых систем и оценки их экологического состояния на территории России.

Настоящая монография, написанная научными сотрудниками научно-исследовательской лабораторией эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева, выполняет эту последнюю задачу. Если не считать серии публикаций в виде статей, в том числе в сборниках, посвященных результатам научно-исследовательских работ ученых российских университетов по программе «Университеты России. Фундаментальные исследования» (УР. География. 1993; География и окружающая среда. 2000), и докладов, в ней впервые в полном объеме (на данном этапе) излагается концепция эрозионно-русловых систем, обосновывается бассейновый принцип их выделения и дается на основе специально разработанной методики интегральная экологическая оценка ЭРС России высшего ранга (соответствующих бассейнам рек, самостоятельно впадающих в моря). При этом экологическое состояние

ЭРС оценивается в зависимости от того, насколько эрозионно-аккумулятивные процессы и формы их проявления оказываются благоприятными или неблагоприятными, а в последнем случае – и в какой степени, для жизнедеятельности и жизнеобеспечения человека. С этих позиций дается характеристика как природных предпосылок создания экологической напряженности, так и антропогенных факторов, трансформирующих естественные ЭРС в природно-техногенные. Новым при таком подходе является рассмотрение экологической неоднозначности хозяйственной деятельности, которая сама осуществляется для обеспечения условий жизни людей или призвана снизить (нейтрализовать или ликвидировать) опасные проявления эрозионно-аккумулятивных процессов (эрозию почв, образование оврагов, размывы берегов и т.д.). Также новым представляется привлечение ряда факторов экологической напряженности, которые ранее при рассмотрении эрозионно-условных аспектов ее возникновения не принимались во внимание. К таковым относятся: выносы при почвенно-эрозионной миграции радионуклидов, приводящие к распространению загрязнений вплоть до малых рек; первый опыт учета микробиального стока рек; оценка почвенно-эрозионного загрязнения биогенными элементами рек. И если разработки последней позволили включить ее в комплексную интегральную оценку экологического состояния ЭРС, то в отношении первых лишь показана их значимость и важность дальнейшего изучения для соответствующего учета по мере накопления знаний.

Авторами отдельных разделов монографии являются: Р.С. Чалов (введение, 1.1, 1.2, 1.3, 2, 3.1, 3.2, 3.3, 5.1, 5.3), Л.Ф. Литвин (1.2, 1.3, 2, 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 5.2, 5.3), Е.Ф. Зорина (1.3, 2, 3.1, 3.2, 5.3), С.Н. Ковалев (2, 3.2), К.М. Беркович (2, 3.1, 3.2, 4.3, 4.4, 5.2), А.В. Чернов (3.1, 3.3, 3.4, 4.2, 4.3), О.В. Виноградова (3.2), М.Ю. Белоцерковский (3.3, 4.1), З.П. Кирюхина (3.4), Н.Н. Иванова (3.4), Н.Г. Добровольская (3.4), Л.В. Злотина (4.2, 4.3), А.Ю. Сидорчук (4.4, 5.2). Научное руководство работами и редактирование осуществлено Р.С. Чаловым. Функции ученого секретаря проекта и организатора работы над книгой выполняла Л.В. Злотина. Оформление иллюстративного материала – Н.В. Анисимова.

ГЛАВА 1

РАБОТА ВОДНЫХ ПОТОКОВ И ЭРОЗИОННО-РУСЛОВЫЕ СИСТЕМЫ

1.1. Эрозионно-аккумулятивные процессы и эрозионно-русловые системы (ЭРС): основные понятия, структура и механизмы функционирования

Водные потоки, воздействуя на поверхность суши, разрушают ее, и продукты этого разрушения переносятся ими в конечном счете с материков в океаны. По объемам разрушения и переноса они относятся к самым мощным агентам денудации, определяют формирование на Земле флювиального рельефа. В процессе переноса происходят отложение, неоднократное перетолжение транспортируемого материала, а при определенных условиях – его накопление. Таким образом, воздействие стока на земную поверхность проявляется в развитии эрозионно-аккумулятивных процессов (ЭАП), представляющих собой совокупность эрозии, транспорта (перемещения) и аккумуляции водными потоками твердого вещества, рассматриваемых «в пространстве и времени, а также во взаимодействии с определяющими факторами» (Маккавеев, 1955). Сток воды при этом выступает в качестве активного фактора ЭАП, а поверхность суши, включая ее литогенную основу, рельеф, почвенный и растительный покров, представляет арену деятельности водных потоков. В итоге ЭАП отражают взаимодействие двух сред – гидросферы в виде водных потоков и подстилающей их поверхности, из которых первая находится в состоянии движения. Это означает, по заключению Н.И. Маккавеева, что ЭАП «нельзя рассматривать как цепи явлений, развитие которых происходит изолированно от географической среды, без учета конкретных особенностей, характеризующих ландшафт водосбора. Потоки и их водосборы необходимо рассматривать в тесной взаимосвязи и взаимообусловленности» (Маккавеев, 1955).

Источниками материала, перемещаемого водными потоками, служат: 1) продукты размыва (эрозии) как результат непосредственного воздействия потоков на подстилающую поверхность (для рек – в том числе, на берега); 2) поступление твердых частиц со склонов вследствие гравитационных процессов (оползни, осыпи, обвалы), эолового переноса, медленного смещения почвы на склонах, солифлюкции и т.д. При определенных условиях последние могут играть решающую роль в формировании стока наносов (например, на горных реках, особенно в районах повышенной селевой активности); в основном же их доля в общем стоке наносов невелика. Например, на среднем Днестре со склонов долины в русло в результате осыпей и других склоновых процессов поступает 3750 тыс. т материала в год (Калинин, 1987) при годовом стоке наносов на реке более 6 млн. т (Беркович, Злотина и др., 1992). Чем больше водный поток, тем больше абсолютная

величина и меньше относительная доля наносов неэрозионного происхождения. В местах зарождения склоновых нерусловых водных потоков при дождевом их генезисе эрозия почв и грунтов является практически единственным источником поступления в них наносов, при талом генезисе ее роль трудно отделить от солифлюкции и других явлений, связанных с оттаиванием размороженного грунта.

Вся совокупность эрозионно-аккумулятивных процессов ЭАП, по Н.И. Маккавееву (1955), состоит из трех основных взаимосвязанных частей, соответствующих определенным типам водных потоков. Каждая часть является источником наносов для последующей, имеет свое геоморфологическое проявление (рис. 1.1) и характеризуется присущими только ей закономерностями развития, механизмами функционирования и пространственно-временными соотношениями эрозии, транспорта и аккумуляции наносов.

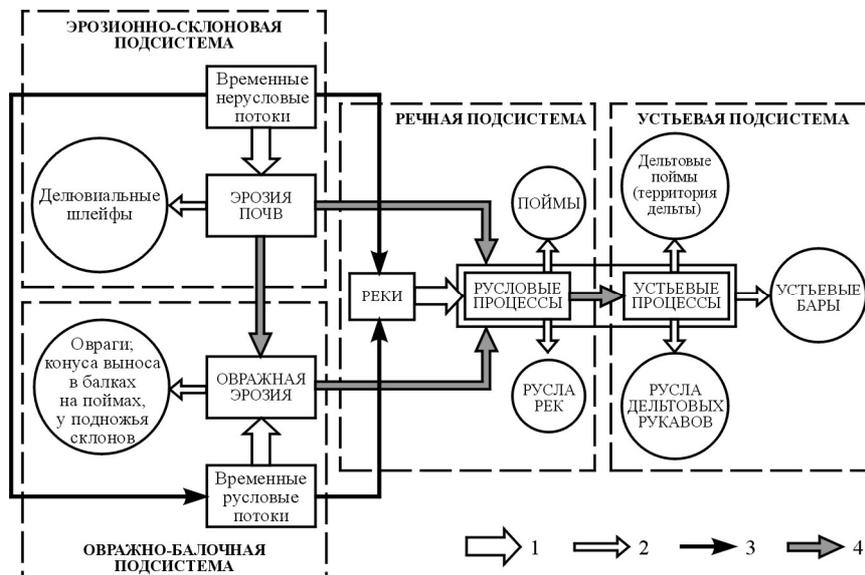


Рис. 1.1. Структура эрозионно-русловой системы и эрозионно-аккумулятивных процессов; связь типов водных потоков (1), создаваемых ими форм рельефа (2) и направленного перемещения воды (3) и твердого вещества – наносов (4).

Этими тремя частями единой системы ЭАП являются: эрозия почв, производимая временными нерусловыми потоками, формирующимися при выпадении дождей и таянии снега; овражная (линейная) эрозия, связанная с деятельностью временных русловых потоков; русловые процессы как совокупность явлений, обусловленных эрозионно-аккумулятивной деятельностью рек. Приведенный перечень можно дополнить четвертой частью –

устьевыми процессами – завершающим звеном единой системы ЭАП, развитие которого происходит на фоне направленной аккумуляции наносов при втекании потока в приемный водоем и воздействии на него прибрежно-морских явлений (Михайлов, 1997). Четких разграничений между типами водных потоков и составными частями ЭАП нет: склоновый поток расчленяется на сеть ручейков, приводящих к образованию на склоне первичных, хотя и эфемерных линейных эрозионных форм – борозд и промоин; овраг, врезаюсь в толщу горных пород, достигает водоносного горизонта и имеет в этом случае постоянный водоток; малые реки пересыхают в безводные периоды и т.д. Тем не менее водные потоки каждого типа отличаются специфическим механизмом взаимодействия с подстилающими грунтами, формой и дальностью перемещения наносов, своеобразием аккумулятивных накоплений. Это обуславливает правомерность и практическую целесообразность рассмотрения отдельных частей ЭАП автономно по отношению друг к другу, хотя каждая из них является частью целого.

Эволюция географической среды, приводящая к трансформации стока и смене почвенно-растительного покрова, обуславливает изменения характеристик водного потока, определяющих их воздействия на поверхность, свойств самой поверхности и соответственно ее реакции на это воздействие. Вместе с тем от свойств поверхности (состав почв и грунтов, растительность, уклоны) зависят интенсивность ЭАП в верхних звеньях сети водных потоков и объемы смытого ими материала, что является важным фактором формирования стока наносов в реках. При прочих равных условиях, тем больше смыв почв и интенсивнее эрозия на водосборах, тем больше сток наносов рек, его бассейновая составляющая (Дедков, Можжерин, 1984) и доля стока взвешенных наносов в общем стоке наносов. В степной зоне последняя составляет 80-90%, а на такой реке, как Хуанхэ (в нижнем течении), достигает 99,9%. Основной сток наносов здесь формируется в пределах степного Лессового плато при глубине его эрозионного расчленения 200-300 м и интенсивности эрозии почв в 3700 т/км² в год (Лю Шугуан, Чалов, 1998). На Оби в степной зоне, где река врезана в сложенное лессовидными суглинками Приобское плато на глубину около 100 м и подмывает его уступы, доля стока взвешенных наносов составляет почти 95%; на юге таежной зоны она уменьшается до 55%, а на других реках лесной зоны – до 30-40% (Дарбутас, 1992; Чалов, 1997).

Временные нерусловые потоки осуществляют перенос смытого материала на короткие расстояния, равные длине склона – от первых метров до сотен метров. При этом имеет место достаточно четкое пространственное разграничение зон преимущественной эрозии, транспорта материала, поступающего сверху, и аккумуляции наносов (рис. 1.2, А) от верхней части склона к его подножию, где формируется делювиальный шлейф. Нерусловые потоки производят рассредоточенную (плоскостную) эрозию и рассредоточенную аккумуляцию. Та часть перемещаемого вещества, которая не вошла в состав аккумулятивных образований в пределах склонов, поступает

в следующие звенья системы (овраги, балки) или непосредственно в реки. Постоянные водотоки низких порядков (первого, второго) находятся в прямом контакте со своими водосборами, принимая значительную часть смываемого с их площади материала. По мере увеличения порядка реки эта связь становится все более опосредованной. Например, в русле и на пойме малых рек бассейна Дона годовой слой аккумуляции наносов – продуктов смыва с распаханых земель составляет при длине рек до 10-25 км от 3 до 20-50 мм, более 100 км меньше 1 мм. Овражная эрозия поставляет твердый материал непосредственно в реки там, где они подмывают расчлененные оврагами берега и склоны долин. В русло Дона из оврагов ежегодно поступает около 2 млн.м³ наносов, что сопоставимо со стоком взвешенных наносов реки – 6 млн.м³ (Зорина и др., 1975).

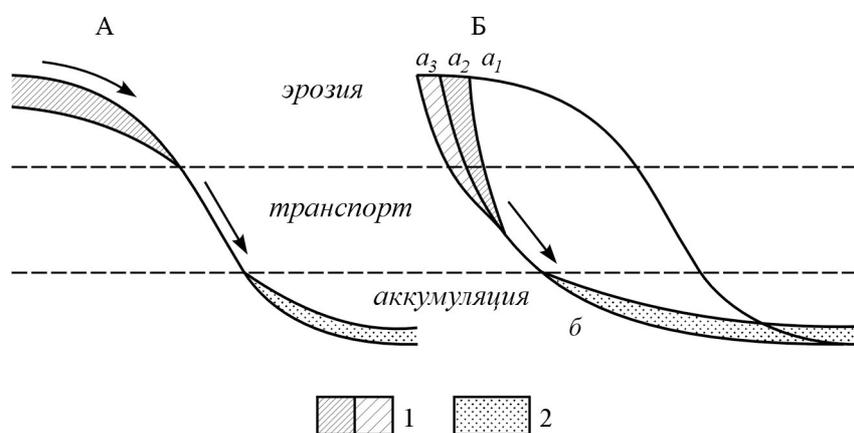


Рис. 1.2. Расположение зон эрозии, транспорта и аккумуляции наносов временными потоками: склоновыми нерусловыми (А), овражными (Б; $a_1б$, $a_2б$, $a_3б$ – последовательные положения продольного профиля оврага): 1 – зона размыва; 2 – зона аккумуляции.

Эти взаимосвязи особенно отчетливо проявляются при развитии антропогенной (ускоренной) эрозии почв, поставляющей с водосборов в малые реки избыточное (по отношению к установившемуся в течение исторических и геологических отрезков времени) количество наносов. Возникающий в естественных условиях баланс наносов оказывается нарушенным под влиянием ускоренной эрозии почв, что приводит к необратимым изменениям в жизни малых рек, их заилению и деградации. Этому в значительной мере способствует поступление в реки вместе с наносами химически растворенного, в том числе биогенного, вещества. В результате повышается минерализация речной воды, усиливаются процессы евтрофирования и, как следствие, активно развивается водная растительность, зарастают приру-

словые отмели и береговые склоны. Это способствует заилению русел даже в том случае, если сохраняется естественный фон поступления наносов с водосборов.

Сходная картина наблюдается в оврагах (рис. 1.2, Б), у которых эрозия в верхней части выражена еще более отчетливо вследствие роста вершины оврага и водопадного эффекта. В устье оврага (если оно не выходит в реку) формируется конус выноса. В центральной части временный водный поток осуществляет транзит материала, поступающего из верховьев, со склонов оврага и с площади его водосбора. Дальность переноса вещества временными русловыми потоками достигает первых километров при развитии донных форм оврагов (по днищам балок). Длина оврагов может несколько превышать длину склонов (сотни метров, более 1 км) вследствие регрессивного роста их вершины. Таким образом, временные русловые потоки осуществляют линейную эрозию и сосредоточенную аккумуляцию (вынос в реки). При этом поток в овраге при его периодическом появлении должен иметь такую транспортирующую способность (определяемую его водоносностью и скоростью), которая обеспечивает не только транспорт наносов, формирующихся в период его существования, и материала поступившего на дно при отсутствии потока, но и уничтожение появляющейся здесь растительности. В противном случае овраг заполняется наносами и превращается в балку.

Смыв почв при развитии антропогенной (ускоренной) эрозии, обуславливающей снижение почвенного плодородия и урожайности сельскохозяйственных культур, овражная эрозия, создающая опасность полного разрушения земель и создающая серьезные трудности при любом их освоении, и связанные с ними заиление, пересыхание и деградация малых рек составляют одну из самых острых экологических проблем, решение которых определяется уровнем знаний о закономерностях функционирования всей совокупности эрозионно-аккумулятивных процессов.

В отличие от временных реки (постоянные водные потоки) осуществляют перенос вещества на расстояния, соизмеримые с шириной поперечника (Амазонка) или половины поперечника материков (крупнейшие реки Европы, Азии и Африки). При этом благодаря образованию и развитию форм русла, аллювиальных форм руслового рельефа и поймы дифференциация по длине реки зон эрозии, транспорта и аккумуляции обычно не проявляется, и на всем ее протяжении происходит многократное переотложение перемещаемого материала. Часть наносов аккумулируется в русле и на пойме, образуя аллювиальные отложения. Систематическое накопление наносов свойственно нижнему течению рек, где регрессивная аккумуляция является следствием их устьевого удлинения, колебаний уровня моря (базиса эрозии) или тектонических прогибов земной коры. Такая аккумуляция наносов реками прослеживается в течение вековых и геологических отрезков времени и на ее фоне осуществляются периодические русловые деформации, обуславливающие размывы и намывы берегов и дна рек в многолет-

нем, сезонном и текущем временных масштабах (Алексеевский, Чалов, 1997).

Такие соотношения между водными потоками, подстилающей поверхностью, на которую они воздействуют и эрозионно-аккумулятивные процессы, являющиеся следствием взаимодействия двух сред, определяют в совокупности формирование эрозионно-русловых систем (ЭРС), функционирующих в пределах водосборных площадей (бассейнов). Последние, соответственно, состоят из ЭРС разных рангов – от элементарного водосбора на склоне до бассейна крупнейшей реки. В целом ЭРС состоят из частных подсистем (рис.1.3): 1) эрозионно-склоновой, в которой действуют нерусловые временные потоки на склонах, взаимодействие которых с поверхностью проявляется в эрозии почв; 2) овражно-балочной, соответствующей деятельности временных потоков, концентрирующейся в линейных эрозионных и других формах (руслах) на склонах (овражная эрозия), в результате чего развиваются овраги; 3) речной, в которой действуют постоянные водные потоки, осуществляющие транспорт наносов, поступивших со склонов и из овражно-балочной сети, происходят русловые деформации; 4) устьевой, рассмотрение которой выходит за рамки настоящей работы.

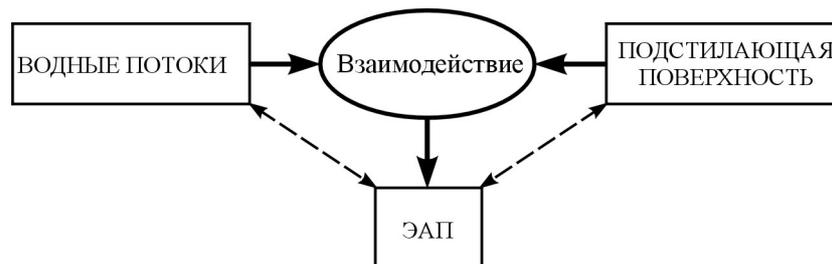


Рис. 1.3. Компонентная структура эрозионно-русловых систем.

Благодаря водным потокам и эрозионно-аккумулятивным процессам (эрозии – транспорту – аккумуляции наносов) осуществляется размыв горных пород и почв, перенос материала на различные расстояния, отложение и переотложение внутри ЭРС и вынос за ее пределы. Благодаря эрозионно-аккумулятивным процессам водные потоки переносят с материков в океаны, замкнутые моря и крупные озера, по подсчетам Н.И. Маккавеева (1982), около 17 млрд. т/год твердого вещества; вместе с растворенными веществами объем денудации, осуществляемой текущей водой на земной поверхности составляет 20,5 млрд. т/год из общей величины ежегодной денудации 23,5 млрд. т. Если учесть, что в среднем лишь 20 % склонового материала поступает в реки и учтено в приведенных расчетах, основанных на данных о стоке наносов в замыкающих створах рек, а также переход части речных наносов в аллювиальные отложения, то величина эрозионной денудации оказывается на порядок больше.

Водные потоки, подстилающая поверхность и ЭАП представляют собой системообразующие компоненты эрозионно-русловых систем (ЭРС), из которых первые (водные потоки) являются динамической, вторые (подстилающая поверхность: склоны, русло) – статической и третья (собственно ЭАП) – производной от их взаимодействия (рис. 1.3). В то же время ЭАП изменяют характеристики водных потоков вследствие изменения физических свойств воды при насыщении ее твердым материалом и гидравлических сопротивлений, например благодаря образованию и постоянной трансформации грядового движения донных наносов как формы их транспорта (переноса). Это, в свою очередь, отражается на механизме воздействия потоков на подстилающую поверхность. С другой стороны, изменение характеристик водных потоков (их водности, скорости) в пространственно-временном отношении изменяет характеристики эрозионно-аккумулятивных процессов, их интенсивность, формы проявления и т.д. Аналогичные взаимоотношения существуют между ЭАП и подстилающей поверхностью: первые ее изменяют, она трансформируется и, в обратной связи, воздействует на сам ход эрозионно-аккумулятивных процессов.

Пространственная дифференциация эрозии, транспорта, аккумуляции наносов или их одновременное проявление в ЭРС объясняют применение различных терминов, определяющих результаты работы водных потоков в разных звеньях русловой сети: у временных нерусловых и русловых потоков эрозия выступает в роли источника наносов для следующего звена и деструктивного процесса, обуславливающего понижение отметок поверхности суши и ее расчленение. Отсюда термины – эрозия почв и овражная эрозия. Применительно к рекам понятие «речная эрозия» ограничивает содержание эрозионно-аккумулятивного процесса одной его составляющей и не отражает его сути. Поэтому работа речных потоков по эрозии, перемещению и аккумуляции наносов получила название «русловые процессы».

Это же относится и к экологическим, и к социально-экономическим последствиям проявления ЭАП в различных звеньях сети водных потоков, или, что то же самое, в ЭРС разных рангов. На сельскохозяйственных землях эрозия почв и оврагообразование играют исключительно негативную роль в комплексе условий жизни, деятельности и жизнеобеспечения людей и для их сохранения требуется выполнение различного рода противоэрозионных мероприятий. Применение правильных агротехнических и других приемов может полностью предотвратить развитие этих процессов либо свести их к допустимым (с точки зрения сохранения почв – экологический фактор, снижения затрат на противоэрозионные мероприятия – экономический фактор) проявлениям (Белоцерковский, 1996). На первый план выдвигаются вопросы учета русловых процессов при проектировании, строительстве и проведении регуляционных работ, включающие в себя и предотвращение неблагоприятных проявлений как эрозии (размыв дна и берегов), так и аккумуляции наносов, и использовании в желательном направлении (например, для увеличения глубины на перекатах судоходных рек) самой эро-

зионно-аккумулятивной работы речного потока. Вместе с тем хозяйственная деятельность приводит нередко к таким преобразованиям речных русел, которые отрицательно сказываются на экологическом состоянии и самих рек, и прибрежных территорий.

1.2. Взаимосвязи в эрозионно-русловых системах

Взаимосвязь ЭАП, развивающихся в разных звеньях сети водных потоков, обуславливает существование и функционирование в природе эрозионно-русловых систем (ЭРС), представляющих собой совокупность взаимосвязанных форм рельефа и процессов, обусловленных воздействием водных потоков на земную поверхность. Н.Б. Барышников и Е.А. Самусева (1995) называют ЭРС саморегулирующейся системой «бассейн – речной поток – русло». В свою очередь процессы, функционирующие в ЭРС и их образующие, представляют собой единую цепь явлений, объединяющих эрозию (отрыв частиц от поверхности водным потоком), перемещение (транспорт) потоком формирующихся наносов и их аккумуляцию. В разных звеньях ЭРС (склоны – эрозия почв; овраги и балки – овражная эрозия; русла рек – русловые процессы; устья рек – аккумуляция наносов) составляющие ЭАП развиваются во времени неразрывно (без одного не может быть другого), но пространственно, как было показано выше, либо разделены друг от друга (на склонах, в оврагах и балках), либо проявляются только вместе (русла рек). Вблизи границ всей ЭРС, которую можно идентифицировать с бассейном реки, также выделяются зоны абсолютного преобладания эрозии (верхняя часть приводораздельного склона) и аккумуляция наносов (устьевой бар реки); остальная часть системы (бассейна) есть область преимущественного транспорта наносов, в пределах которой в разных звеньях, на разных структурных уровнях и в разных пространственных соотношениях наблюдаются все составляющие ЭАП явления.

ЭАП, с одной стороны, имея геоморфологическое проявление в виде флювиальных форм рельефа, с другой – завершают цепь гидрологических явлений, представляя собой, по существу, результат воздействия стока воды на земную поверхность и формирования стока наносов как его следствия. Это определяет то, что ЭРС и ЭАП являются объектами исследований и геоморфологии, и гидрологии суши. Отличие в подходах при их изучении заключается в том, что в геоморфологии акцент делается на конечный результат процесса, а в гидрологии – на его механизмы. В этом заключается подчеркнутый еще Ф. Энгельсом (с. 218) «переход одной из наук в другую», как существующая «между ними связь, непрерывность, так и различие, дискретность обеих».

Единство эрозии, транспорта и аккумуляции наносов как составных частей ЭАП и взаимосвязь и взаимообусловленность ЭАП в различных звеньях ЭРС составляют два наиболее общих закона учения о едином эрозионно-аккумулятивном процессе, его методологическую основу. Сущность

этих законов была впервые раскрыта Н.И. Маккавеевым в его монографии «Русло реки и эрозия в ее бассейне» (1955), уже само название которой отражало содержание одного из них. На фоне проявления этих наиболее общих законов, определяющих функционирование ЭРС, Н.И. Маккавеев установил еще пять универсальных для всей системы и совокупности составляющих их процессов законов, раскрывающих ход самих процессов во всех их звеньях: нелинейности связей, факторной относительности, взаимной обусловленности потока и подстилающей поверхности, ограниченности морфологических комплексов (последние два впервые были сформулированы М.А. Великановым в 40-е годы применительно к теории русловых процессов) и автоматического регулирования транспортирующей способности потоков (Маккавеев, 1986; Чалов, 1988). Из них законы нелинейности связей, факторной относительности и автоматического регулирования транспортирующей способности потоков раскрывают механизм и ход процессов во всех их звеньях.

Закон нелинейности связей фиксирует непропорциональность между количественными изменениями активных факторов эрозионно-аккумулятивных процессов и интенсивностью проявления в развитии склонов, линейных эрозионных форм и речных русел. В наиболее общем виде этот закон проявляется в квадратической или кубической связи между расходом воды Q , характеризующим подсистему ЭРС «водные потоки» и транспортирующей способностью потоков, которую можно выразить через максимально возможный расход наносов R_{mp} , который определяет состояние подсистемы ЭАП.

Суть закона факторной относительности заключается в неодинаковой и неоднозначной реакции эрозионно-аккумулятивных процессов в разных звеньях сети водных потоков (разноранговых ЭРС) на изменения географической среды. Если водные потоки реагируют на них практически моментально, то вследствие стабильности подсистемы «подстилающая поверхность» и ее сопротивляемости воздействию потоков эрозионно-аккумулятивные процессы отличаются большей или меньшей инерционностью; с другой стороны, многофакторность ЭАП приводит к тому, что большие реки чутко реагируют на незначительные изменения уклонов, тогда как малые реки, овражно-балочная сеть и склоны практически полностью контролируются флуктуациями климата, метеорологическими условиями и состоянием почвенно-растительного покрова.

Закон автоматического регулирования транспортирующей способности потоков определяет направленность процесса. Если транспортирующая способность $R_{mp} > R$ – фактического расхода наносов, потоки размывают подстилающую поверхность (овраги растут, на реках преобладает врезание – глубинная эрозия), сток наносов возрастает, что проявляется в балансе твердого вещества на участке склона (оврага, русла): $W_{i+1} = W_i + \Delta W$, где W – объем стока наносов в i -ом и $(i+1)$ -ом створах, ΔW – результирующая баланса; знак + означает поступление материала в поток между створами. Если

$R_{mp} < R$, происходит аккумуляция избыточного количества наносов; баланс наносов выглядит при этом как $W_{i+1} = W_i - \Delta W$, где знак $-$ означает уменьшение количества транспортируемого материала за счет его отложения на дне потока.

Два последних закона (взаимной обусловленности потока и подстилающей поверхности и ограниченности морфологических комплексов) фиксируют стационарность ЭАП в связи с отражением подстилающей поверхностью структуры потоков и возникновением в нем таких элементов структуры, которые обусловлены обратным воздействием на поток подстилающей поверхности (первый из них) и образования в результате взаимодействия потока и подстилающей поверхности определенного набора форм, отражающих эрозию, транспорт и аккумуляцию наносов.

Взаимосвязи между структурными частями ЭРС могут быть прямыми и обратными (рис. 1.4).

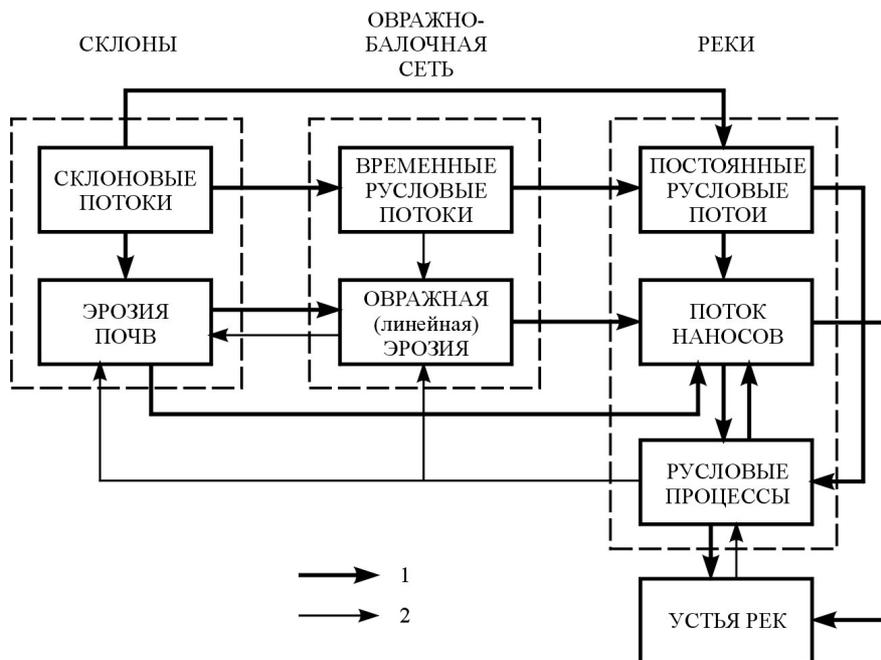


Рис. 1.4. Взаимосвязи между структурными составляющими ЭРС: 1 – постоянно проявляющиеся, непосредственные, значимые связи; 2 – опосредованные, периодические и слабо проявляющиеся связи.

При этом между звеньями активного фактора ЭАП – водных потоков – они однонаправлены, тогда как между соответствующими им составными частями ЭАП действуют прямые или обратные связи. Однако при

прочих равных условиях прямые связи более значимы и, как правило, являются непосредственными, а обратные – замедленны, часто опосредованны и более сложны. Прямые связи определяются формирующимся в процессе эрозии потоком наносов. Перемещение наносов – одно из определяющих само понятие «русловые процессы» явлений: по Н.И. Маккавееву (1955), они – одна «из форм перемещения твердого вещества текущей водой»; по Н.Е. Кондратьеву и др. (1959), «...транспорт наносов следует рассматривать как содержание руслового процесса». Через формирование потока наносов в речных руслах эрозия почв на склонах и овражная эрозия воздействуют на русловые процессы. С другой стороны, русловые деформации как форма проявления последних являются важнейшим фактором формирования потока наносов в руслах, что определяет единственную значимую обратную связь во всей ЭРС.

Значимость связи «эрозия почв – овражная эрозия» определяется поступлением продуктов смыва почв в овраги и ручейковым характером склоновых потоков, благодаря чему любой ручеек можно рассматривать как потенциальную форму развития линейной эрозии и зарождения оврага. Обратная связь проявляется по мере развития прилегающих к оврагу склонов и формирования овражного водосбора.

Развитие устьев рек полностью определяется выносом в море (озеро) наносов из рек и русловыми процессами (морской фактор в данном случае не рассматривается). Обратная связь малозначима и проявляется главным образом через направленность вертикальных деформаций (регрессивная аккумуляция или эрозия) в нижнем течении рек, обусловленной выдвиганием дельты в море или ее разрушением.

Экологически значимые связи в эрозионно-русловых системах обуславливаются обменом веществом и энергией между различными звеньями системы и, в меньшей мере, изменениями условий функционирования каждого звена под влиянием развития или изменений в функционировании остальных. Характер и даже направленность этих связей во многом зависят от ландшафтных условий (прежде всего, рельефа и растительности), территориальные и временные изменения которых могут по-разному отразиться на «внутрисистемных» отношениях. Яркий пример – изменение долей склонового стока и стока с территории суходольной сети в формировании поверхностной составляющей стока воды в реках Европейской территории России. В лесной зоне ЕТР сток с территории самой гидросети (склонов и днищ суходолов и речных долин) составляет 25-30%, а в степной – более 50% общего поверхностного речного стока. В степи в маловодные годы он становится основным источником поверхностного речного стока (Коронкевич, 1990).

Еще более значима роль антропогенных преобразований ландшафтов. Хозяйственное освоение, прежде всего распашка лесных и пастбищных склонов, не только многократно (на несколько порядков) увеличивает общую интенсивность эрозионной денудации склонов; это же приводит к изменению знака баланса наносов в руслах малых рек, вследствие чего нача-

лось их заилиние, и соотношения бассейновой и русловой составляющих стока взвешенных наносов в общем стоке наносов рек (Дедков, Мозжерин, 1984). Более того, меняется сама структура ЭРС – 70% оврагов имеют антропогенное происхождение (Овражная эрозия, 1989).

Эрозионно-русловые системы относятся к типу каскадных систем с превалированием прямых связей, т.е. согласованных с «направлением» последовательного перемещения вещества от звена к звену, над обратными связями. В отношении ЭРС подобное превалирование означает не столько малую физическую интенсивность «обратного» воздействия, сколько редкость и локальность проявлений. Так, интенсивная боковая эрозия реки может уничтожить часть склона долины, и на этом месте формируется квази-горизонтальная неэрозионноопасная поверхность поймы, на которой абсолютно доминируют процессы аккумуляции наносов. Наносы поступают сюда с полыми водами, затопляющими пойму, а также в виде делювиальных шлейфов у подножья склонов долины и конусов выноса из оврагов, опирающихся на тыловые части поймы. В то же время увеличение крутизны и уничтожение растительности на подмытом склоне приводит к локальному усилению процессов эрозии почв и активизации оврагообразования.

В целом в подобных системах сила и количество связей снижается с увеличением «системной удаленности» звеньев друг от друга, т.е. влияние верхнего звена – эрозионно-аккумулятивных процессов в ЭРС низких рангов, соответствующих склоновым водосборам, должно последовательно убывать в ряду овраги – балки – реки – и устья рек (рис. 1.5).

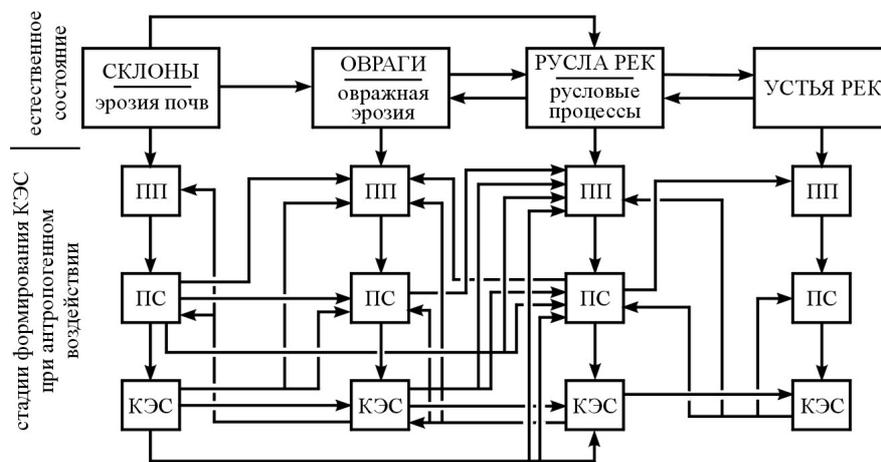


Рис. 1.5. Взаимодействие разных звеньев эрозионно-русловой системы на разных стадиях формирования кризисной экологической ситуации при антропогенном воздействии и в естественном состоянии: *ПП* – первичные признаки КЭС; *ПС* – предкризисная стадия; собственно КЭС.

Возможность проявления прямых и обратных связей зависит от интенсивности процессов в каждом из звеньев (Беркович и др., 1993). При слабом развитии процессов воздействие смежных звеньев в отношении усиления экологического неблагополучия в конкретном звене практически не проявляется, сохраняясь на уровне естественного развития системы. Лишь переход в предкризисное состояние сказывается на состоянии последующих звеньев или может быть заметным в предыдущих. В смежных звеньях это проявляется или в появлении первичных признаков экологического кризиса, или в быстрой их трансформации в следующую стадию кризиса в зависимости от устойчивости звена к усилению внешних воздействий. При этом кризисная экологическая ситуация в ЭРС соответствует необратимым изменениям в каждом ее звене, проявляющимися в утрате почвами своего плодородия, выведением земель из любых видов хозяйственного использования из-за расчленения оврагами, деградация малых рек, нарушении функционирования агрокультурных объектов; соответственно, предкризисная ситуация отражает усиление опасности уничтожения почвенного покрова вследствие смыва на фоне временного снижения плодородия почв, разрушения земель, коммуникаций, промышленных зданий, жилых домов т.д.

В то же время для взаимосвязей в ЭРС, как и для любой геосистемы, важное значение имеет ее территориальная структура и взаиморасположение отдельных элементов. Общий вид этих характеристик для ЭРС также способствует ослаблению влияния «вниз» по системе. Так, если водосбор оврага на 90-100% представлен склонами, то по мере роста порядка руслового потока относительная площадь склонов, непосредственно примыкающих к руслу и поставляющих в него наносы, быстро убывает. В устье реки дельта (особенно на открытом взморье – дельта выдвигения) полностью лишена контактов со склонами и суходольной сетью. При этом эрозионные процессы на склонах, нисходящих непосредственно к руслу большой реки, оказывают большее влияние на качество ее вод, чем процессы той же интенсивности на приводораздельных склонах, сток воды и наносов которых на пути к большим рекам трансформируется в руслах суходольной сети и малых рек. Таким образом, для оценки влияния процессов эрозии на формирование стока наносов в реках необходимо ранжировать склоны по их положению в структуре ЭРС (Голосов, Литвин, 1987).

Взаимосвязи в ЭРС нельзя рассматривать и безотносительно характеристик внутренней структуры основных звеньев, от которой зависят, прежде всего, направление и знак баланса стока воды и наносов, а также скорость перемещения вещества в ЭРС в целом. Так, если оврагах транзитность склоновых наносов абсолютна (или близка к этому), то в ложбинах и балках преобладают процессы аккумуляции, и поэтому, например, такая характеристика морфологической структуры ЭРС как густота овражно-балочного расчленения рельефа отнюдь не однозначно связана с возможностью поступления склоновых наносов в реки. Другой пример – формирование павод-

ков на реках и характер их связи с формой водосбора и рисунком гидрографической сети (Маккавеев, 1955).

Взаимовлияния внутри ЭРС нельзя рассматривать вне анализа конкретной ландшафтной обстановки и степени антропогенных преобразований ландшафта. Существенность изменений генетических составляющих стока воды и наносов в реках под влиянием двух этих групп факторов для территории России убедительно показаны в работах Н.И. Коронкевича (1990), Н.И. Алексеевского (1998), А.П. Дедкова и В.И. Мозжерина (1984). Так, например, доля склоновых наносов в стоке наносов горных рек существенно ниже, чем равнинных, в связи с чем интенсификация почвенно-эрозионных процессов в гораздо большей степени сказывается на равнинных реках. При этом взвешенные наносы имеют, как правило, бассейновый генезис, т.е. представляют собой продукты эрозии почв, влекомые наносы – результат русловых деформаций. На равнинных реках соотношение между составляющими стока наносов, в свою очередь, также колеблется в больших пределах в зависимости от конкретных природных условий, в которых находится ЭРС. Для рек лесной зоны типично преобладание в потоке наносов руслового, для степных рек – бассейнового происхождения. Наносы руслового генезиса, как правило, более крупные (песок, галька), поступающие с водосборных территорий – более мелкие (пылеватые, ил, глины). Среднее многолетнее содержание в речных водах мелких частиц закономерно возрастает в направлении с севера на юг России (Сток наносов..., 1977), чему способствует преобладание в южных равнинных районах лессов и лессовидных отложений, являющихся наиболее легко размываемыми среди всех литологических комплексов, а также их приуроченность к зонам наиболее активного развития эрозии почв.

Региональные изменения соотношения бассейновой и русловой составляющих стока взвешенных наносов сопровождаются трансформацией наносов вдоль речных систем. На южных реках (с большим стоком взвешенных наносов, преобладанием бассейновой их составляющей и малой крупностью аллювия – речных отложений) доля влекомых наносов невелика (в пределах нескольких процентов и менее 1%). Она увеличивается вниз по течению рек, текущих с юга на север, и уменьшается с севера на юг, от гор к равнинам. Пересечение реками горных массивов сопровождается увеличением доли стока влекомых наносов. В низовьях рек, где происходит направленная аккумуляция наносов, доля стока влекомых наносов уменьшается более интенсивно, поскольку крупный материал в первую очередь выпадает из транзитного перемещения. На реках с большим стоком наносов это приводит к накоплению наносов в руслах, повышению отметок дна и возникновению или усилению угрозы наводнений, В результате нарушается гидрологическая безопасность территории, создаются предпосылки или возникает кризисная экологическая ситуация.

Особенно острые экологические последствия направленной аккумуляции наносов характерны для малых рек, которые чутко реагируют на

активизацию эрозионных процессов в верхних звеньях ЭРС и на изменения условий формирования стока воды. Их русла пересыхают вследствие понижения уровня грунтовых вод, заиляются и деградируют, что особенно характерно для степной и лесостепной зон. Малые реки гумидной зоны многоводны и в меньшей степени подвержены заилению, Наоборот, в аридных областях маловодность рек способствует их деградации.

Если основным источником поступления наносов в реки являются талые воды, то заметного заиления русел не наблюдается, так как максимум выноса наносов с водосбора совпадает с наиболее высоким стоком воды. Там, где главный фактор эрозии почв – дождевой сток, наибольший смыв и поступление наносов в речную сеть приходится на менее многоводную фазу водного режима. Из-за малых скоростей течения и замедленного водообмена между плесами последние заиливаются, в них развивается процессы евтрофикации, происходит зарастание отмелей и береговых склонов. Это вызывает увеличение шероховатости русла, снижение скоростей во время последующих половодий и паводков. В результате аккумуляция наносов распространяется на все фазы водного режима, вызывая заиление рек и деградацию верхних звеньев русловой сети.

Аккумуляция наносов вследствие их избыточного поступления с водосборов и выносов из оврагов иногда распространяется на средние реки (Беркович, 1993). Большие реки наиболее устойчивы к изменениям водности и стока наносов. Например, снижение стока наносов р. Хуанхэ (Китай) на 80% вследствие проведения в ее бассейне противоэрозионных мероприятий не привело к изменениям характеристик эрозионно-аккумулятивных процессов в ее русле (Чалов и др., 2000).

Подобное единство и взаимосвязь эрозионно-аккумулятивных процессов в эрозионно-русловых системах, трансформация ее значимости при изменении ранга ЭРС обуславливают неодинаковую их устойчивость к естественным и антропогенным изменениям природной среды, непосредственным техническим воздействиям на склоны и русла малых, средних и больших рек. Соответственно, различны условия для возникновения экологической напряженности: в одной и той же ЭРС высокого ранга можно встретить кризисную экологическую ситуацию на склонах, вызванную эрозией почв, развитием оврагов, заилением и деградацией малых рек, и вполне благополучную экологическую обстановку, обусловленную русловыми процессами, на большой реке (это не исключает неблагоприятия реки по другим критериям – например, загрязнения вод и донных отложений).

1.3. Механизм перемещения вещества в эрозионно-русловых системах

Физическая основа механизма перемещения наносов одинакова для всех звеньев ЭРС – это отрыв текущей водой твердых частиц, слагающих ложе потока, и их транспортировка вниз по течению вместе с частицами, посту-

павшими со склонов, из притоков и т.д. Однако для каждого звена имеются собственные «качественные» нюансы работы этого механизма.

Верхнее звено ЭРС часто называют звеном нерусловых потоков, хотя в настоящее время преобладает мнение, что в большинстве случаев вода стекает со склонов не сплошным слоем, а по сети микропотоков – А.В. Караушев (Сток наносов, 1977) назвал это структурностью стока. Почти вся эрозионно-транспортная работа при стоке талых вод и весь вынос наносов за пределы ЭСГС при ливневом происходят в микроруслах этой сети. Хотя физика отрыва частиц потоком недостаточно ясна, все показатели, применяемые для характеристики интенсивности этого процесса, зависят от скорости потоков (Ларионов, Краснов, 1997). Для турбулентных потоков скорость (по Шези) пропорциональна глубине потока и уклону и обратно пропорциональна шероховатости подстилающей поверхности. Понятно, что при прочих равных условиях глубина потока увеличивается с увеличением длины склона. Стекая вниз по склону, вода увлекает с собой растворенные вещества и наиболее мелкие несвязанные частицы, но массовый отрыв частиц и разрушение почвенной структуры (смыв и размыв почв и грунтов) начинается после достижения некоторой пороговой, «размывающей» по М.С. Кузнецову (1981), скорости. С этого момента и в этой точке и ниже по склону микроручья начинают формировать русло, образуя сети водороев, территориальная структура («рисунк») которых напоминает структуру речной сети. При врезании микрорусел начинает действовать особый процесс – формирование и регрессивное перемещение вертикальных уступов, эрозионный эффект которых на податливых размыву грунтах может быть сравним с результатом эрозии во всем остальном русле (Литвин, 1981).

В межручейковых пространствах при выпадении ливней также происходит перемещение наносов плоскостными потоками. Скорости этих потоков, как правило, ниже размывающих, и отрыв частиц происходит под ударным воздействием капель дождя. В результате ударов капель на оголенной пашне с одного гектара в воздух могут быть подняты десятки тонн минеральных частиц, которые затем транспортируются плоскостными склоновыми потоками до русла ближайшего микроручья. Уплотняя тонкий поверхностный слой почвы, ударное воздействие капель приводит к резкому падению водопроницаемости, т.е. усилению стока. Общий эффект ударного воздействия дождя на почвах незащищенных растительностью – интенсификация смыва на порядки величины. При снеготаянии врезание ручейков происходит только на проталинах и эрозионная работа стока на межручейковых пространствах ничтожна – вынос растворенных веществ и тонких частиц.

Содержание частиц в микроручейке вниз по склону непрерывно увеличивается до тех пор, пока не будет достигнут предел транспортирующей способности потока, т.е. не прекратиться эрозия. В дальнейшем, если скорости потока по какой-либо причине снижаются (увеличение шероховатости, уменьшение уклона), начнется разгрузка потока от наносов. В ре-

зультате, на склоне с единым уклоном и равными прочими условиями стока сверху вниз могут быть выделены зоны: а) слабоактивной эрозии (невьявленной, капельной); б) эрозионная (эрозионно-активная; в) транзитная (равновесная); г) преобладания аккумуляции.

Соотношение площадей перечисленных зон на склоне, помимо гидрологических параметров стока, формы и морфометрических характеристик склонов зависит от противозерозионной стойкости почв и почвозащитной способности растительности. Большое значение имеет взаиморасположение на склоне единичных водосборов микроручейковой сети. Территориальная вариабельность этих факторов обуславливает чрезвычайную пестроту в размещении участков преимущественной аккумуляции и эрозии на реальных склонах. При наличии плохо проницаемых антропогенных рубежей стока (профилированных дорог, кюветов, лесополос) или естественной растительности в нижних частях склонов на самих склонах может задерживаться до 70% наносов, поступающих с пашни (Foster, 1986).

В меньшей мере морфология склонов и смена растительного покрова сказывается на стоке растворенных веществ, хотя и здесь редукция стока воды с увеличением пути от водораздела до речного русла проявляется достаточно четко, особенно при стоке ливневых вод.

Среднее звено ЭРС составляют временные русловые потоки, формирующиеся в оврагах и балках. Овраги представляют собой активные крупные развивающиеся линейные формы, а балки являются либо реликтовыми образованиями, либо результатом эволюции оврагов на последней стадии их развития.

Образование оврагов (овражная эрозия) связывается, как правило, с нарушением сложившегося природного комплекса под влиянием антропогенного воздействия. Однако не исключается возможность образования оврагов и в естественных условиях, на крупных водосборах под влиянием активных деструктивных природных процессов – оползней, карста, суффозии, подмывов реками берегов и т.п.

Первый этап развития оврага характеризуется увеличением темпов его роста от момента зарождения на склоновом водосборе до выхода на плакорную часть склона. Это связано с увеличением объемов склонового стока, поступающего в развивающийся эрозионный врез, формированием русла в эрозионной форме, увеличением глубины потока, его скорости и, следовательно, транспортирующей и размывающей способности. На втором этапе происходит снижение скорости развития оврага, затухание эрозионного процесса и выработка квазиравновесного продольного профиля.

Процесс беспрепятственного развития овражной формы осуществляется в том случае, если по его длине увеличивается транспортирующая способность потока, сконцентрированного в едином русле. В наибольшей степени этому способствует увеличение расходов за счет нарастания по длине площади водосборного бассейна и выпуклая форма склона, когда от верховий склона к подошве увеличивается его уклон. Меньше вероятность

оврагообразования при слабом нарастании расходов по длине водосбора; однако овраг может и в этом случае активно расти благодаря большой крутизне выпуклых склонов водосборного бассейна.

В устье оврага, куда из него выносятся транспортируемый потоком грунт, возникает конус выноса, вызывающий подпор, снижение скоростей потока и, как следствие, регрессивную аккумуляцию в низовье оврага, что ограничивает дальнейшее врезание. Однако при беспрепятственном отводе грунта от устья оврага (например, при подмыве рекой) образование конуса выноса не происходит и овраг получает дополнительный импульс своего развития.

Возникновение оврага обычно начинается с образования воронок размыва на крутой части склона, объединяющихся затем в промоину. Промоина, имея при вершинный уступ, продвигается вверх по склону, поток углубляет промоину, вынося по тальвегу поступающий со склонов и размываемый в русле грунт на нижние участки склона или непосредственно в более крупное звено эрозионной сети (балку, реку, на ее пойму). Уже в самом начале образования оврага в его русле наблюдается каскад уступов, благодаря которым регрессивная эрозия распространяется волнами, а продольный профиль тальвега оврага имеет ступенчатую форму. Если устье оврага находится на склоне, то его врезание (по мере превращения промоины в овраг) обуславливает трансгрессивное развитие овражной формы, причем ранее образовавшийся на склоне конус выноса оказывается размываемым. Такое смещение оврага происходит до тех пор, пока его устье не достигнет базиса эрозии в виде субгоризонтальной поверхности (днище балки, пойма, речная терраса), перегиба склона, ниже которого уклон равен или меньше уклона тальвега или уреза воды в реке соответствующего уровню половодья. Поэтому развитие оврага в целом осуществляется сопряженной деятельностью регрессивной и поступательной трансгрессивной эрозии с выносом продуктов размыва и склоновых процессов за его пределы. В начале эрозионного процесса овраг представляют собой чисто эрозионную форму; затем, по мере удлинения, углубления и расширения оврага, в его русле возникают аккумулятивные формы, смещение которых обуславливает транспорт материала, подобного осуществляемому речными потоками. По мере выработки продольного профиля такие аккумулятивные комплексы формируются сначала в устьевой части тальвега оврага, затем – в средней и верхней частях оврага, способствуя меандрированию его русла. При этом скорости потока в овраге снижаются, приближаются к неразмываемым и оказываются недостаточными для перемещения материала, поступающего в тальвег оврага со склонов. Склоновый материал частично перекрывает русло, развитие оврага затухает, овраг превращается в балку.

На разных стадиях развития овраг может представлять собой как эрозионно-активную форму, в которой вместе со смытым с водосбора материалом поток перемещает размываемый грунт и выносит его в балки и реки, так и роль аккумулятора наносов, поступающих с полевых угодий.

Основная роль наносов, поставляемых в реки временными потоками в оврагах и балках, заключается в образовании возле их устьевых створов перекатов, получивших специфический термин «высыпки».

В нижнем звене ЭРС – реках перемещение наносов осуществляется в толще потока (взвешенные наносы) или волочением/перекатыванием по дну (влекомые наносы). А.В. Караушев (1977) выделяет четыре категории наносов, основываясь на соотношении гидравлической крупности частиц w и вертикальной составляющей пульсационной скорости u_y : 1) наносы распределяются равномерно в толще потока при $w < u_y$; 2) наносы взвешенные, но их концентрация увеличивается от поверхности ко дну при $u_y < w < u_{y(max)}$, где $u_{y(max)}$ – максимальная величина вертикальной составляющей скорости; 3) наносы перемещаются только по дну при $w >> u_y$; 4) неподвижные наносы – отложения. Подобное подразделение условно, т.к. пространственные и временные (половодье-межень) изменения гидравлических характеристик обуславливают переход частиц из одной формы движения в другую. Поэтому в отношении русловых процессов большее значение имеет выделение наносов руслообразующих и транзитных, из которых последние никогда не выпадают на дно и не участвуют в образовании русловых форм.

Транспортирующая способность речных потоков реализуется как за счет количества поступающего с водосбора и при размыве дна и берегов наносов, так и их крупности. Поэтому в зависимости от геолого-геоморфологических условий руслообразующие наносы могут быть галечно-валунными, песчано-галечными, песчаными, песчано-илистыми. При этом, для крупных галечно-валунных наносов характерен рост интенсивности их перемещения при увеличении концентрации в потоке более мелкого материала (Маккаеве и др., 1970; Россинский, Дебольский, 1980). Для них также характерно формирование аллювиальной отмостки как при размыве русла в многоводную фазу режима, так и вследствие остановки наиболее крупных частиц (обломков) на спаде паводка (половодья). Транспорт наносов начинается в следующую фазу режима только при разрушении потоков отмостки. В песчаных руслах наносы хорошо сортированы, а различия в размерах частиц сравнительно невелики. Отмостка в них не формируется. Поэтому на реках с галечно-валунным руслом в маловодную фазу поток полностью осветляется, а переформирования русла прекращаются; на песчаных руслах мутность и сток взвешенных наносов лишь уменьшаются, а деформации русла ограничиваются пристрежневой его зоной.

Перемещение донных наносов в реках осуществляется в форме гряд, образующих сложную иерархию от макроформ, соизмеримых с параметрами потока и русла (глубиной, шириной) до микро- и наноформ, из которых последние исчезающе малы по сравнению с размерами русла. В разные фазы водного режима происходит перестройка грядового рельефа, но в целом происходит наложение друг на друга гряд разных порядков. Смещение гряд происходит путем смыва частиц с верхового (напорного) пологого склона и их аккумуляции в подвалье (на крутом низовом откосе); одновре-

менно части наносов, образующих гряды, оказывается временно законсервированной и приходит в движение, когда на нее распространяется размыв на верховом склоне гряды.

Наиболее развита иерархия грядовых форм на песчаных реках. На реках с галечно-валунным руслом формируются только макроформы и своеобразные крутые гряды в прибрежных частях русла (Чалов, 1997), куда в основном поступает крупнообломочный материал из притоков и со склонов.

На горных реках с бурным потоком (число Фруда $Fr > 1$) гряды не формируются и транспорт галечно-валунных наносов происходит слоем при разрушении отмостки. Гряды не возникают также на реках с очень мелкими наносами при соотношении неразмывающих скоростей v_n и фактических средних скоростей течения $v_{cp} > 2,5v_n$. В этих условиях дифференциация отметок дна отсутствует, и плесы и мелководья возникают вследствие изменения гидравлических характеристик потока на изгибах русла, при его стеснении, т.е. там, где происходит местное увеличение скорости и транспортирующей способности потока. При грядовом рельефе мелководья соответствуют макроформам, образуя перекаты. Плесовые ложбины в этих условиях представляют собой понижения между соседними грядами.

Наличие грядовых форм руслового рельефа при существенных сезонных колебаниях уровней воды создает предпосылки для закрепления обсохших в межень их частей растительностью. Благодаря этому причленившиеся к берегам части гряд превращаются в пойменные сегменты, которые, искривляя поток, вызывают образование излучин русла. Если гряда имеет форму осередка, то при ее зарастании он превращается в остров, а русло становится разветвленным на рукава. При малом стоке наносов русло реки является относительно прямолинейным, неразветвленным. Развитие тех или иных форм русла (излучин, разветвлений, прямолинейных, неразветвленных участков) определяет вместе с движением гряд развитие русловых деформаций, проявляющихся в размывах-намывах берегов, обмелении одних и углублении других участков русла, развитии и отмирании рукавов, искривлении и спрямлении излучин. Реки первых порядков, имеющие малый сток наносов, обычно имеют прямолинейное неразветвленное русло; большие и крупнейшие реки в большинстве своем разветвляются на рукава, что является следствием как достаточно большого стока руслообразующих наносов, так и образованием в широком потоке двух и более ветвей течения (Карасев, 1975).

Изменение формы транспорта наносов и морфодинамического типа русла происходит при стеснении потока склонами долины, сложенными трудноразмываемыми горными породами (ограниченные условия развития русловых деформаций). Здесь реки имеют врезанные стабильные русла с очень замедленными деформациями. Реки, протекающие в областях распространения легкоразмываемых пород, формируют широкопойменные слабоустойчивые русла, отличающиеся интенсивными деформациями. Если во врезанном русле происходит в основном транзит наносов, количество дон-

ных наносов невелико и поток нередко непосредственно контактирует с коренным ложем, то в широкопойменном происходит наряду с транспортом наносов их консервация в формирующихся пойменных массивах и поступление в поток новых их порций при размыве пойменных и, отчасти, террасовых берегов. В результате происходит постепенный массообмен между потоком наносов, русловыми отложениями (в грядах) и отложениями поймы и террас (рис. 1.6). При этом на пойме при ее затоплении в многоводную фазу режима происходит отложение взвешенных наносов, которые образуют пойменную фацию аллювия; при размыве поймы эти отложения вновь служат источником взвешенных наносов.

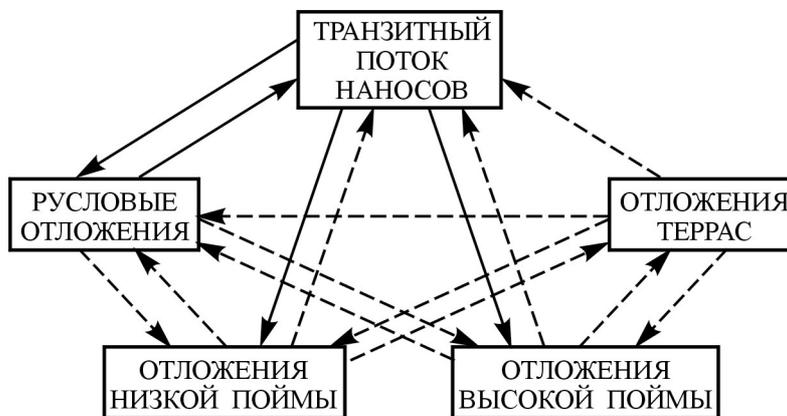


Рис. 1.6. Схема массообмена в реках между потоком и речными отложениями; сплошные и пунктирные линии соответствуют большей или меньшей вероятности массообмена (по Н.И. Алексеевскому, 1998, с изменениями).

В процессе транспорта наносов происходит уменьшение размеров их частиц за счет измельчения, осуществляется их дифференциация по длине реки, в том числе вследствие гидравлической сортировки в соответствии с распределением скоростей в потоке. Так как при размере частиц менее 1-1,5 мм дальнейшее истирание частиц прекращается, то последний диаметр на песчаных равнинных реках определяет изменения крупности наносов в сужениях и расширениях поймы и самого русла, на плесах и перекатах, на крыльях и в вершинах излучин, при разветвлении на рукава и слиянии рукавов и т.д. Однако в целом к устью рек происходит постепенное уменьшение крупности наносов, что вызвано снижением уклонов, растеканием по дельтовым рукавам и взморью, а также влиянием морского фактора.

ГЛАВА 2

ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭРС В ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫЕ СИСТЕМЫ

Научно-технический прогресс, развитие производства во всех сферах деятельности человека – промышленности, транспорте, сельском хозяйстве – способствовали превращению природных эрозионно-руслowych систем в природно-техногенные. В них технические элементы не только существуют как части структуры системы, но включаются в функционирование систем, нередко определяя характер потока вещества и энергии.

Эрозия почв в условиях ненарушенных человеком ландшафтов в силу своей малой интенсивности в экологическом отношении достаточно «нейтральна». Хозяйственное использование склоновых земель и антропогенное преобразование ландшафтов вывели ее на одно из первых мест среди агентов разрушения почвенного ресурса, опустынивания, образования рассеянных источников загрязнения, заиления и деградации рек (в первую очередь, малых), прудов и водохранилищ, которые являются искусственными водными объектами, и т.д.

Современная эрозия почв – это природно-антропогенное явление, ядром которого служат процессы размыва, транспорта и переотложения временными нерусловыми склоновыми потоками почвенного субстрата. На землях, подвергающихся антропогенным нарушениям при их освоении и эксплуатации, технологические и социально-экономические аспекты хозяйственного использования земель имеют не меньшее значение для механизмов, динамики и территориального распределения этих процессов, чем весь комплекс природных факторов. Это положение – констатация частного случая общей закономерности: «Все тела и явления на земной поверхности одновременно охвачены обеими формами движения (природной и социально-экономической), которые взаимообуславливают друг друга в любой точке пространства в любой момент времени» (Солнцев, 1981, стр. 17). Однако для заключения о том, является ли природная система в каждом данном случае лишь измененной в той или иной мере, оставаясь в целом природной, или она превратилась в природно-техногенную систему, требуются более четкие критерии. Наиболее общий критерий разделения процессов на естественные и природно-антропогенные, предложенный С.П. Горшковым (1982) и основанный на соотношении вкладов естественной и антропогенной энергии, представляется вполне приемлемым. Однако его необходимо дополнить оценкой результатов этих вкладов. Природно-антропогенным процесс можно назвать только тогда, когда антропогенное преобразование основных его факторов и условий проявления превысит определенные «пороговые» величины. В отношении эрозии, например, такой величиной может быть антропогенное отчуждение биомассы растительности, вызывающее снижение проективного покрытия поверхности склона до 70-50%, в

результате чего почва становится «открытой» для непосредственного воздействия на нее водных потоков.

При этом сама эрозия (отрыв частиц почвы водным потоком), транспорт и перетолжение им твердого материала, т.е. весь эрозионно-аккумулятивный процесс на склоне, существенно интенсифицируются, по сравнению с эрозией в природных, ненарушенных условиях вследствие специфических преобразований почвенно-растительного покрова – замены существующей растительности на культурную, либо ее сведение, распашка, косвенное воздействие технических средств (например, колес сельскохозяйственных машин) и т.д. В ряде случаев искусственно создается активный фактор эрозии – сток воды путем ее подачи на склон при орошении по бороздам или дождеванием.

Поскольку эрозия почв представляет собой природно-антропогенный процесс, соответствующее звено эрозионно-русловой системы – эрозионно-склоновая подсистема трансформируется этим процессом в природно-техногенную. Если нижнее звено становится таковым, то и вся эрозионно-русловая система в целом превращается в природно-техногенную систему. Однако благодаря переносу энергии и вещества водными потоками в ЭРС от верхних ее звеньев к нижним антропогенная трансформация эрозионно-склоновой подсистемы сказывается в той или иной мере на состоянии руслового звена (подсистемы), особенно на малых реках, что естественно влечет за собой преобразование в природно-техногенную всей ЭРС. Замена в данном случае термина «антропогенный» на «техногенный» объясняется тем, что антропогенное влияние при преобразовании системы из одного качества (природная) в другое (природно-техногенная) связано с технологией природопользования, постоянными или периодическими ее особенностями, в конечном счете, внедрением человека посредством применения различных технических средств.

Антропогенные преобразования ландшафтов, прежде всего хозяйственное использование земель фонового типа, «подменили» сам объект воздействия склоновых потоков – почву. Антропогенно-измененные почвы приобрели новые качества или изменили эрозионно значимые физико-химические характеристики (плотность, агрегированность, гумусированность) настолько, что сейчас по этим признакам они выделяются в классификации почв даже на самых высоких таксономических уровнях (Тонконогов, Шишов. 1990; Геннадиев и др., 1992). Общими основаниями для их выделения стали типы и виды хозяйственного использования – выделены почвы агроземы (пахотные), зоомодифицированные (почвы пастбищ) и т. д.

В еще большей степени изменился растительный покров. Агрικультура, например, не только создала новые типы растительного покрова (агроценозы), но и породила, совместно с обработками почвы, совершенно новый режим изменений почвозащитной способности растительности. Наиболее эрозионно значимое из них для пахотных земель – ее циклическое снижение почти до нуля, совпадающее с наиболее эрозионноопасным со-

стоянием почв (зять, пар, период от последней обработки до появления всходов).

Наиболее эрозионно значимыми преобразованиями рельефа при хозяйственном использовании земель являются: 1) выборочность использования элементов и форм рельефа с определенными морфометрическими параметрами, отвечающими требованиям технологии конкретного типа использования земель; часто эти требования настолько жестки, что можно говорить, например, о «рельефе пахотных земель» как об особой категории рельефа; 2) изменение формы поверхности и динамика этих преобразований, связанные с требованиями технологии использования или ею обусловленные (террасирование склонов, пахотный нанорельеф, валы, канавы, напаша и т. д.).

При различных видах хозяйственного использования происходят и специфические для каждого вида использования изменения структуры эрозионно-склоновых подсистем, заключающиеся в изменении формы склоновых водосборов – разрыве их целостности (фрагментации), искусственном их объединении (конструировании), изменении направления стока, сопровождаемое «изменением» длины и других характеристик склонов. На локальном уровне очень важно антропогенное воздействие на структуру микроручейковой сети и на временную изменчивость ее размещения на склоне. Так, последствиями периодического уничтожения (заравнивания) микроручейками являются не только интенсификация смыва, но и вертикальная зональность (на склоне) в формировании эродированных почв, что совершенно не характерно, например, для пастбищных склонов.

Все это и, прежде всего, выборочность хозяйственного использования земель, приводит к территориальному перераспределению ареалов смыва и аккумуляции, перераспределению и резкой дифференциации интенсивности эрозии как на локальном уровне (отдельный склон), так и на всех других уровнях вплоть до эрозионно-русловых систем самых высоких рангов, соответствующих бассейнам крупнейших рек. Самое главное при этом – комплексность и специфичность антропогенных пространственно-временных преобразований условий проявления эрозии почв, присущее каждому из типов хозяйственного использования земель.

На историческом отрезке времени в зависимости от степени освоения земель и уровня воздействия на них естественные эрозионно-склоновые подсистемы ЭРС сначала изменились под воздействием антропогенного давления, а затем на хозяйственно освоенных землях трансформировались в природно-техногенные, функционирование которых определяется как природными факторами, так и технологией воздействия на компоненты ландшафта, прежде всего растительность и почву. Наиболее быстрая трансформация эрозионно-склоновых подсистем из природных в природно-техногенные происходит, помимо активного воздействия на компоненты ландшафта, при искусственной подаче на склон воды.

Анализ свойств природно-техногенных эрозионно-склоновых подсистем послужил основой для классификации природно-антропогенной эрозии (Литвин, 1998). На современном уровне изученности оказалось возможным выделить семь их типов: земледельческая, пастбищная, лесопромышленная, горнопромышленная, дорожно-коммуникационная, селитебная и строительная. В антропогенной эрозии наиболее значимыми в практическом отношении являются типы эрозия орошаемого земледелия и орошаемых пастбищ.

Каждый из этих типов отличается интенсивностью и пространственно-временным режимом проявления и территориальной структурой. Это – основные факторы, обуславливающие их неравнозначное влияние на экологическое состояние территорий и эрозионно-руслowych систем в целом. Но эта неравнозначность определяется еще и различиями в положении соответствующих угодий в ландшафте и структуре ЭРС. Пахотные склоны, как правило, отделены от русел рек, причем, чем больше размеры последних, тем отдаленнее связь эрозии почв (эрозионно-склоновых подсистем) с процессами в следующих звеньях и условиями формирования соответствующей им русловой подсистемы. Вместе с тем значение имеют и сами технологии хозяйственного использования. Так, пашня и, в меньшей мере, пастбища – единственные системы, в которые преднамеренно вносится огромная масса химических веществ (удобрений, пестицидов); в то же время эксплуатация дорог и коммуникаций сопровождается интенсивным привнесом загрязняющих веществ, в том числе тяжелых металлов, которые перемещаются склоновыми потоками вместе с продуктами эрозии в речную сеть; горнопромышленные отвалы и карьеры поставляют в результате эрозии целый спектр токсикантов.

Овражная эрозия (оврагообразование) в последнее время также является процессом, появление и развитие которого, как правило, связано с антропогенным воздействием на природные комплексы. В современных климатических условиях без нарушения естественного почвенного и дерново-растительного покрова скорости потоков на склонах по бортам балок и суходолов не достаточны для образования линейных эрозионных форм и последующего их превращения в овраги, т.е. для активного развития овражной эрозии. Лишь в отдельных случаях, на крупных водосборах и благодаря экстремальным природным явлениям, а также на берегах рек, появление естественных оврагов не исключается. Они имели место многие столетия назад и появляются сейчас. Подавляющее большинство оврагов связано с нарушением естественных условий формирования стока воды и наносов на склоновых водосборах. К ним относятся склоновые овраги, выходящие своими вершинами на плакорные части склонов и имеющие морфометрически выраженные водосборные бассейны. Их образование приурочено чаще всего к крутым частям склонов речных долин, бортов балок и суходолов, особенно если они распаиваются вдоль склона и на них создаются искусственные борозды, концентрирующие сток. Широкое распространение

получили овраги, развивающиеся на абразионных берегах водохранилищ. Появление оврагов обусловлено концентрацией стока по колеям грунтовых дорог, кюветам и другим антропогенным линейным образованиям, вызывающим возникновение искусственных рубежей стока вдоль лесополос, по граница пашни и огородов. Овраги формируются в местах сосредоточенного сброса сточных вод коммунальными и промышленными предприятиями, коллекторных вод оросительных систем, когда антропогенным фактором овражной эрозии становится сама подача воды на склоны.

Поскольку антропогенное вмешательство в естественные ландшафты, приводящее к развитию оврагов, не является единовременным, процесс оврагообразования, по существу, необратим. Человек создает и поддерживает изменения природных характеристик склоновых водосборов, делая их способствующими развитию линейных эрозионных форм – оврагов. Подавляющая часть современной овражной сети изначально, таким образом, имеет «антропогенное» происхождение. Поэтому их образование является признаком трансформации эрозионно-русловых систем в природно-техногенные.

Русловые процессы и русла рек, составляющие речную подсистему ЭРС трансформируются уже в результате хозяйственной деятельности на водосборах, вызывающей преобразование факторов русловых процессов. Если в естественных (ненарушенных человеком) условиях между процессами на водосборах и в руслах рек устанавливается определенное «динамическое равновесие», то при антропогенно обусловленной эрозии почв и развитии оврагов оно нарушается как вследствие поступления в реки дополнительного, зачастую избыточного по отношению к транспортирующей способности потоков, твердого материала, так и из-за сопровождающих сведение естественной растительности и распашки изменений водного режима. Одновременно происходит непосредственное механическое вмешательство в русловые процессы, морфологию русел, главным образом, посредством применения различных технических средств. В современных условиях трудно найти реку, не испытавшую в той или иной мере воздействия этой деятельности. При этом изменены не только гидрологический режим и качество воды, но и русловые процессы, которые, приобретая иные, чем в естественном состоянии, направленность и интенсивность, обуславливают трансформацию речных русел. В свою очередь, это сказывается на характере потока, условиях водообмена, уровненом режиме, развитии водной растительности, а также на прилегающих к реке пойме, склонах речной долины и, наконец, на состоянии всей речной экосистемы. При этом русловые процессы могут быть как непосредственной причиной изменения состояния экосистемы, так и дополнительным фактором, накладывающимся на те ее изменения, которые произошли в результате прямого воздействия на нее.

Степень и формы воздействия хозяйственной деятельности на русловые процессы весьма различны по своим масштабам, и их последствия неодинаковы в разных природных условиях, в зависимости от того, подвер-

гаются изменению факторы русловых процессов или происходит непосредственное вмешательство в речное русло, на реках разного размера, при наличии одного или одновременно нескольких воздействующих антропогенных факторов (рис. 2.1).

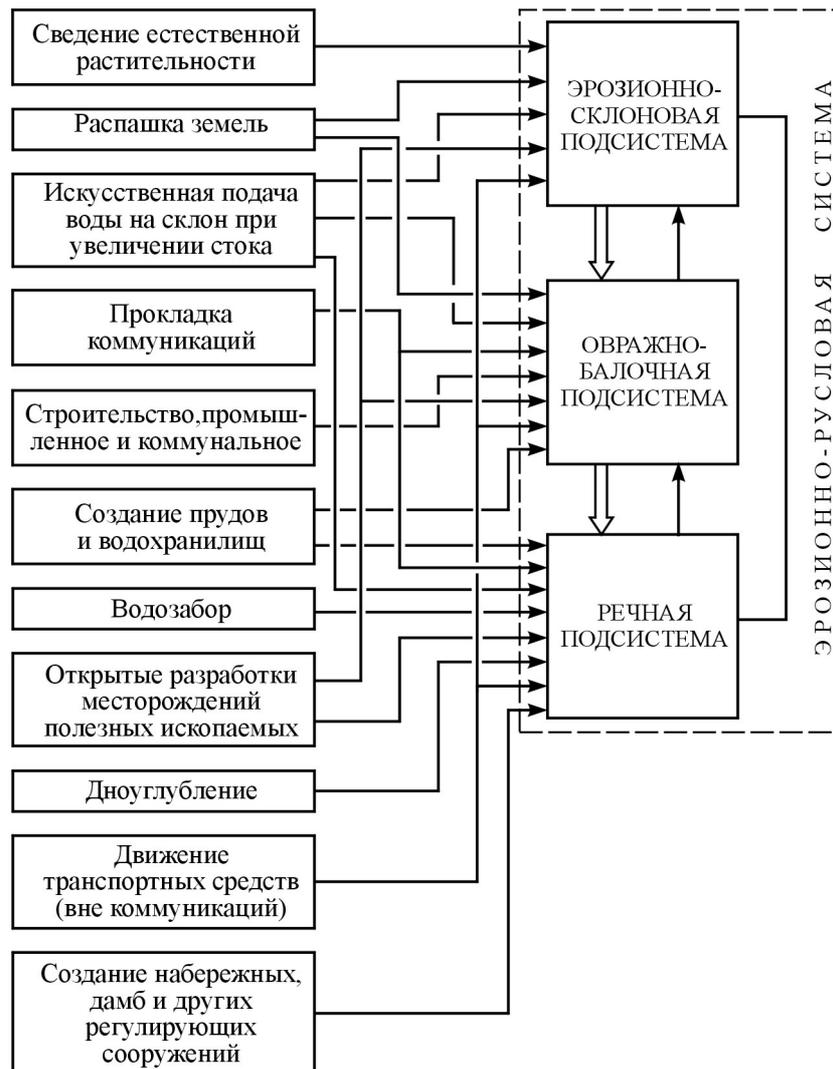


Рис. 2.1. Факторы трансформации ЭРС в природно-технические системы.

Наиболее масштабным воздействием на речную подсистему ЭРС является возведение плотин, создающих искусственные базисы эрозии для вышележащего участка реки. В результате образования водохранилища в речной долине возникает препятствие для потока; регулирование водохранилищем стока меняет его режим, количество переносимой потоком энергии. Транспортируемые потоком наносы, накапливаясь в водохранилищах и в зонах регрессивной аккумуляции, изымаются из потока вещества. Поэтому ниже водохранилищ русловые процессы в своем развитии подчиняются не только природным, но и антропогенно обусловленным закономерностям. При этом само водохранилище также является техногенной системой, в формировании и функционировании которой природные факторы имеют значение регулирующих, режимных, но не определяющих их образование. Особенно значительно преобразование природных систем в каскадах водохранилищ, где поток твердого материала прекращается, затухают процессы, свойственные рекам, а на смену им приходят озерные, часто с принципиально новыми, непривычными для человека, последствиями, в том числе, экологическими.

То же относится и к участкам рек, русла которых изменяются в результате механического воздействия. Так в реках, из русла которых в течение десятилетий извлекается русловой аллювий на строительные нужды, формируются переуглубления, хотя и временно, прерывается поток вещества, меняется распределение потока энергии во времени и пространстве. Русло реки, которое в целях увеличения его пропускной способности (например, при мелиорации земель) расширяют и углубляют, приобретает новые морфометрические характеристики, увеличивается уклон и размывающая способность потока; в русле развиваются горизонтальные деформации, происходит техногенное увеличение потока вещества, переносимого далее по системе. Нередко это вызывает усиленную аккумуляцию наносов в русле и на пойме ниже такого модифицированного участка.

Очевидно, природно-техногенные речные подсистемы ЭРС начали формироваться несколько тысячелетий тому назад, когда человек перешел от кочевого скотоводства к земледелию и стал использовать водные ресурсы рек для орошения. Однако воздействие человека было столь незначительным, что оно не вносило существенных изменений в структуру и функционирование ЭРС в целом. Ускорение этого процесса происходило в разное время в разных регионах Земли. В Западной Европе канализование рек, их спрямление и обвалование, перераспределение стока произошло на XIV-XVII, в России – лишь на конец XVIII – XIX века. Одновременно происходила урбанизация и создание транспортной инфраструктуры с переходами через реки. В XIX-XX веках главным фактором превращения природных ЭРС в природно-техногенные становится гидроэнергетическое и мелиоративное строительство.

В СССР этап наиболее интенсивного преобразования "речных" звеньев природных ЭРС в природно-техногенные охватывает 50 – 80-е годы

XX века. В это время построено большинство существующих водохранилищ, судоходных и мелиоративных каналов, проведено углубление большей части водных путей, из русел рек добыто огромное количество аллювиальных песков и гравийно-галечного материала. Однако, преобразование речной подсистемы ЭРС шло неравномерно: наиболее широко она происходила в Европейской части страны, в то время, как за Уралом многие реки подверглись лишь частичному антропогенному воздействию и изменению. Природные процессы в них продолжают абсолютно преобладать, хотя благодаря переносу речными потоками вещества и энергии даже местное воздействие на реки сказывается на значительном их протяжении. Например, влияние Вилуйского водохранилища, созданного в верхнем течении реки, сказывается на русле Вилуя вплоть до его устья и проявляется даже в русловых процессах Лены ниже по течению (Водные пути..., 1995). Разработка аллювиальных россыпных месторождений полезных ископаемых в верховьях рек приводит к росту мутности воды в их среднем течении, а иногда сказываются даже на устьевом взморье (Алексеевский, Сидорчук, 1992).

Признаками природно-техногенных речных подсистем ЭРС, наиболее полно соответствующих именно этому их состоянию, можно считать наличие водохранилищ и их каскадов на крупных реках и прудов – на малых реках системы, степень урбанизации водосборного бассейна, механическое изменение речных русел, включающее их спрямление, добычу полезных ископаемых (рудных и нерудных) и дноуглубительные работы, степень освоения пойм, наличие переходов коммуникаций.

ГЛАВА 3

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ НАПРЯЖЕННОСТЬ В ЭРС И ИХ ЗВЕНЬЯХ

3.1. Природные предпосылки экологической напряженности в разных звеньях ЭРС

Экологическое состояние ЭРС определяется комплексом условий, определяющих жизнь и деятельность людей в их пределах. При этом он включает в себя как антропогенные, измененные в неблагоприятном направлении компоненты ЭРС, так и природные факторы, определяющие само функционирование ЭРС. При этом широко распространено мнение, что условия жизни людей в естественной обстановке, до начала активного вмешательства человека в природу, были однозначно благоприятными и гармоничными, и лишь затем развитие цивилизаций вместе с резким возрастанием использования природных ресурсов привело к ухудшению окружающей человека среды и к появлению экологической напряженности в местах его проживания и хозяйственной деятельности.

Этот взгляд можно считать справедливым при анализе тех элементов географической среды, изменения которых в естественном состоянии протекают настолько медленно, что не проявляются на протяжении жизни нескольких поколений людей (в течение столетий). Однако неучет быстро текущих природных процессов (т.е. процессов, обуславливающих изменение среды обитания человека в течение жизни одного-двух поколений), делает его излишне односторонним. К тому же он игнорирует возможные неблагоприятные природные условия жизни людей, очень своеобразные по формам своего проявления и взаимоотношений с человеком: от климата региона до размывов берегов рек. Так, условия жизни людей на Крайнем Севере никогда не были благоприятными; внезапные изменения положения русла Хуанхэ или катастрофический размыв берегов Амударьи – дейгитш всегда создавали постоянную угрозу разрушения населенных пунктов, или наоборот, «ухода» от них реки.

Последний пример относится непосредственно к рассматриваемому предмету – эрозионно-русовым системам. Размывы берегов рек, аккумуляция наносов, смещение форм русла, спрямление излучин и т.д. осуществляются вследствие внутренних законов русловых процессов, а их факторами являются существующие сток воды и наносов, строение берегов и дна рек, растительность. Эрозия почв и развитие оврагов развиваются как следствие естественного формирования водных потоков при выпадении дождей и таянии снега; однако, в отличие от русловых процессов, для их проявления в той или иной мере необходимо антропогенное изменение ландшафтов на склонах. Поэтому в естественных условиях неблагоприятная (вплоть до кризисной) экологическая ситуация, связанная с развитием ЭРС, возникает лишь при определенном сочетании природных факторов, нарастая (рис. 3.1) от эрозии почв (в этом звене системы она может отсутствовать, так как почвообразование компенсирует результаты естественной эрозии) к руслу (размывы берегов широкопойменных рек; интенсивная аккумуляция наносов в низовьях рек; активные переформирования русел; селевые потоки на горных реках и т.д.) вплоть до возникновения кризисных ситуаций: наводнения и сопровождающие их катастрофические перестройки гидросети; разрушение населенных пунктов; обмеление или обсыхание водозаборов.

Овражная эрозия занимает промежуточное положение: 20-25% оврагов имеет природное происхождение, хотя из-за преобладания оврагов, образование которых связано с хозяйственной деятельностью, овражно-балочная подсистема ЭРС в целом является природно-техногенной.

При антропогенном воздействии имеет место обратное соотношение между степенью возникающей при этом экологической напряженности и последовательным переходом от эрозионно-склоновой подсистемы (эрозии почв) к речной (русовым процессам), а внутри последней от малых рек к большим: чем меньше водный поток, тем в большей мере его воздействие на подстилающую поверхность зависит от искусственного изменения свойств последней; наоборот, чем больше поток, его водоносность и гид-

равлические характеристики, тем меньше, вплоть до несопоставимости масштабов, степень антропогенного воздействия на него и больше сопротивляемость этому воздействию самого потока.

Эрозионно-склоновое звено (подсистема ЭРС) является главным поставщиком веществ в следующие звенья (подсистемы) ЭРС, поэтому возникновение и развитие в нем экологической напряженности следует оценивать с точек зрения как экологического состояния самого звена, так и его влияния на экологию системы в целом. При этом уровень проявления современного почвенно-эрозионного процесса определяется состоянием почв и растительности, степенью их антропогенного преобразования. Сама «естественная» эрозия – эрозия ненарушенных земель, хотя ее наиболее интенсивные проявления сказываются на экологическом состоянии ЭРС, например в горах Дагестана (Борьба с эрозией....., 1977), практически не исследована. Поэтому анализировать природные предпосылки экологической напряженности можно лишь в отношении природно-антропогенной эрозии, придерживаясь условия единообразия антропогенных условий.

Природные предпосылки экологической напряженности в эрозионно-склоновом звене определяются устойчивостью почв к эрозии, противоэрозионной стойкостью почв, способностью почвы накапливать и удерживать загрязняющие вещества, противоэрозионной стойкостью склоновых земель, характером проявления эрозионно-аккумулятивных процессов (их интенсивностью, пространственно-временными параметрами и т.п.). Ведущими факторами влияния эрозионно-склонового звена на ЭРС в целом являются морфология рельефа и территориальная структура ландшафтов склоновых земель.

Если принять, что экологическая устойчивость почвы – это ее способность сохранять основную функцию – естественное плодородие и морфологическую структуру, то мерой эрозионной составляющей устойчивости почв можно считать скорость почвообразования, равную «допустимому смыву». Скорость почвообразования определяется сочетанием многих природных факторов: литологией материнских пород, климатом (тепло, влага), характером растительности, скоростью выветривания и т.д. Ряд данных свидетельствует о постепенном, но неравномерном, замедлении скорости почвообразования, по мере формирования «зрелой» почвы. Опыт расчета формирования гумусовых горизонтов Русской равнины показал, что для образования горизонта мощностью 25 мм суглинистых черноземов типичных и обыкновенных требуется 100-200 лет, чернозема южного – 700 лет, дерново-подзолистой почвы – 900 лет, а светло-каштановых почв – 2000 лет (Каштанов и др., 1994). Оценка общих темпов почвообразования, особенно для агроземов (почв трансформированных в процессе сельскохозяйственного использования) – чрезвычайно сложная проблема. Однако на качественном уровне при ранжировании почв по этому признаку независимыми методами принципиальные расхождения редки; кроме того, количественно, как правило, они не очень существенны (Пацукевич и др., 1997).

Скорость почвообразования не может быть единственным критерием эрозионной устойчивости, поскольку время потери почвой плодородия, «срок службы почвы» (термин Ц.Е. Мирцхулавы), зависит еще от мощности гумусовых горизонтов, мощности всего почвенного профиля и интенсивности смыва. Понятно, что мощность почвенного покрова и, в меньшей степени, скорость почвообразования – свойства преимущественно природного генезиса с достаточно большой пространственной вариабельностью.

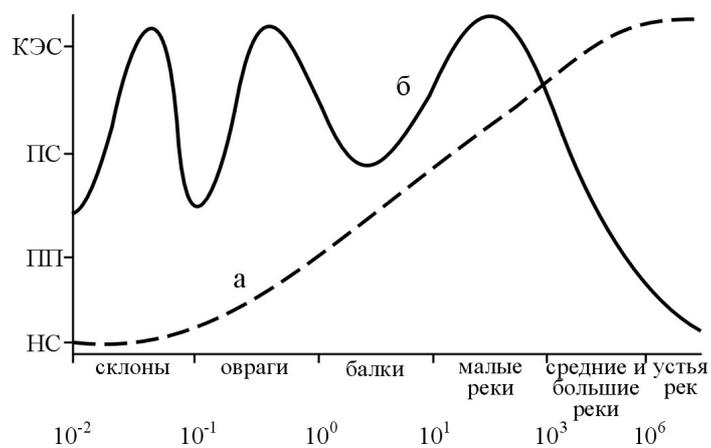


Рис. 3.1. Схема условий возникновения кризисной экологической ситуации в эрозионно-русловых системах в естественных условиях (а) и при антропогенном воздействии (б) (по К.М. Берковичу, Е.Ф. Зориной и др., 1993): НС – нормальное (естественное, фоновое) состояние; ПП – первые признаки возникновения экологической напряженности; КЭС – собственно кризисная экологическая ситуация.

Противоэрозионная стойкость почв – способность почвы противостоять смыву, один из главных показателей, определяющих интенсивность эрозии на склонах. В модели эрозии USLE противоэрозионная стойкость при ливневой эрозии оценивается как функция гранулометрического состава, содержания гумуса, водопроницаемости и агрегированности почвы. По М.С. Кузнецову (1981), противоэрозионная стойкость верхних горизонтов определяется содержанием корней растений, объемным весом и водопропрочностью структуры почвы, которая, в свою очередь, зависит от содержания в почве гумуса, илистой фракции, емкости поглощения и состава обменных катионов. Несмотря на огромное влияния агрокультуры, большинство из выше названных свойств в основном предопределяются природными условиями. Для оценки потенциальной экологической напряженности важно, что ранжирование генетических типов почв по убыванию противоэрозионной стойкости в общих чертах совпадает с ранжированием по убыванию

темпов почвообразования – максимальных для черноземов и снижающихся к северу и к югу от их основного ареала. Относительно противозерозионной стойкости общей причиной такого распределения служит преобладание либо аккумулятивных, либо элювиальных почвообразовательных процессов в почвах различного генезиса (Пацукевич и др., 1997).

Наиболее значимым параметром формирования баланса веществ в эрозионно-склоновом звене является интенсивность смыва, в свою очередь, контролируемая сочетанием противозерозионной стойкости почв, почвозащитных свойств растительности, интенсивностью и объемом склонового стока и морфологией склонов. Общий результат территориального распределения этого комплекса факторов для пахотных земель Европейской части России представлен на рис 3.2. Профиль долготной трансекты Архангельск – Сочи свидетельствует о потенциально благоприятных для проявления эрозионных процессов условиях от крайнего севера до субтропиков. В отношении эрозионного потенциала эрозии не является исключением даже полупустыня Прикаспийской низменности, где нет стока талых вод, но эрозионный потенциал дождя лишь несколько ниже, чем в Архангельске. Для ЕТР и равнин Сибири характерна разная географическая направленность изменения климатических факторов. С севера на юг снижается слой талого стока, но повышается эрозионный потенциал осадков. Соответственно, в этом же направлении сменяются почвенно-эрозионные зоны: преобладания талого смыва, тало-ливневого с существенной долей талого смыва, преобладания ливневого смыва, ливневого смыва (Литвин, 1997). Принципиально схожая картина наблюдается в Азиатской части России, на сельскохозяйственном юге которой в территориальном распределении обоих классов эрозии существенным образом сказывается орография. Следует отметить, что вопрос о местоположении границы преобладания талого или ливневого смыва дискуссионен даже в лучше изученной Европейской части, прежде всего, из-за малочисленности и методического разнобоя многолетних наблюдений ливневой эрозии.

Соотношение талой и ливневой эрозии – один из важнейших показателей экологической значимости эрозионных процессов как для экологического состояния эрозионно-склонового звена, так и для ЭРС в целом. Эти классы эрозии коренным образом отличаются по площади одновременного проявления и, главное, по сезонной приуроченности, определяющей коренные различия водно-физического состояния почв и почвозащитной способности растительности в период снеготаяния или выпадения ливней. В связи с низкой в целом водопроницаемостью мерзлых почв талые воды и наносы со склонов поступают во все звенья гидрографической сети, обуславливая высокие уровни воды и преобладающую долю паводковых наносов на равнинных реках России. Локальные интенсивные ливни охватывают одновременно площадь всего лишь в десятки квадратных километров. По К.П. Воскресенскому (1951), площади водосборов, при которых дождевые паводки превосходят уровни снеговых половодий на севере Русской равнины, не

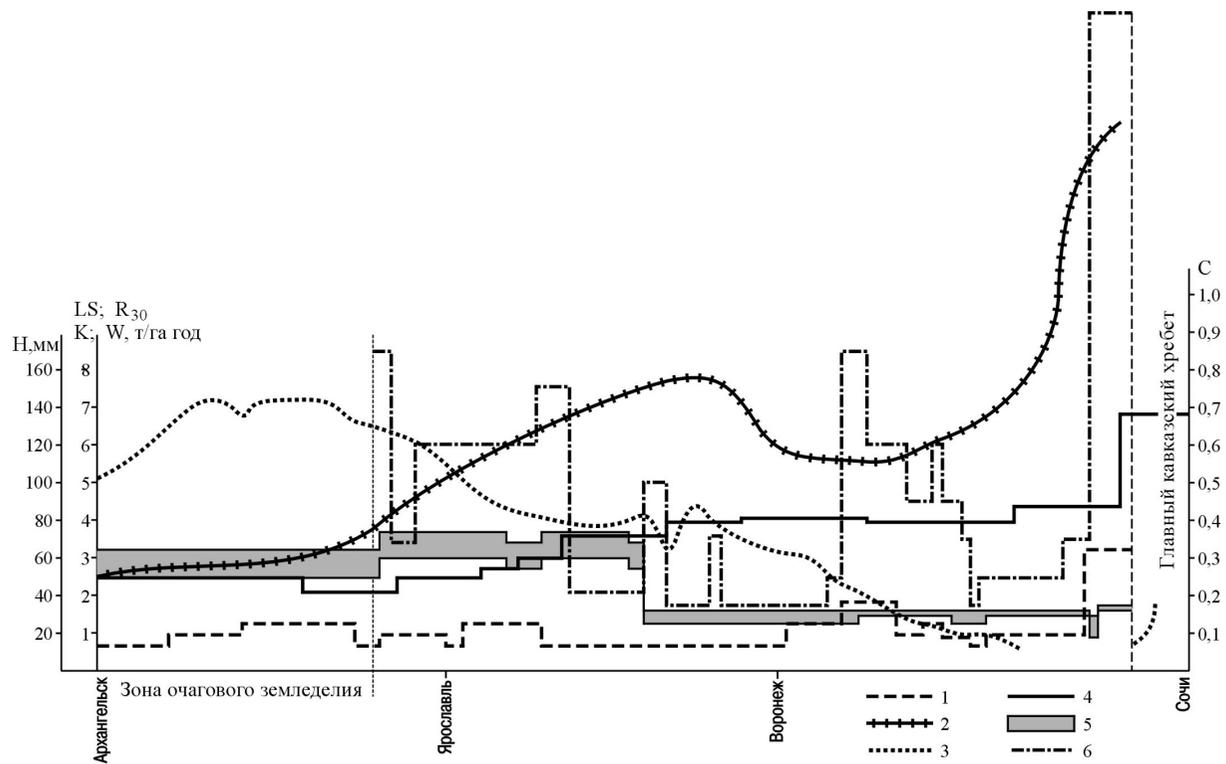


Рис. 3.2 Пространственное соотношение основных факторов эрозии и интенсивности смыва: 1 – фактор рельефа LS ; 2 – эрозионный потенциал дождя 30-минутной продолжительности, R_{30} ; 3 – запасы воды в снеге $H_{мм}$; 4 – эрозионный индекс растительности C ; 5 – эродруемость почв K ; 6 – интенсивность смыва (W т/га/год).

превышают 15-20 км², а в степной зоне – 900 км². Интенсивность смыва на склонах под паром и пропашными культурами достигает десятков и первых сотен тонн с гектара, но высокая водопроницаемость почв других угодий и кольматаж наносов растительностью не способствует их выносу в большие реки. Тем не менее «ливневые» наносы, отложившиеся в балках и оврагах, могут быть вынесены из них в реки в последующее половодье.

Различия в интенсивности и площадях водообразования при ливнях и снеготаянии сказываются на характере эрозионно-аккумулятивных процессов и в нижних звеньях ЭРС. Согласно большинству имеющихся данных о внутригодовой динамике роста оврагов период снеготаяния отличается большей интенсивностью для всей области умеренного климата. Однако само образование оврагов, сопровождающееся относительно кратковременным, но максимальным выносом почв и грунтов, связано с ливнями (Рысин, 1998).

Наряду с климатом фактором, обуславливающим зональные черты территориального распределения интенсивности эрозии, выступают почвы. Природная составляющая противоэрозионной стойкости почв (гумусированность, водопрочность структуры) достаточно значима, чтобы обеспечивать различия генетических типов почв по этому признаку даже на обрабатываемых землях. Правда, вариабельность противоэрозионной стойкости, связанная с резкими различиями «азонального» гранулометрического состава иногда нивелирует влияние генетических типов. Но даже для пашни зональность явно преобладает, поскольку пахотные почвы в своем большинстве суглинистые.

Для территории России фактором, наилучшим образом коррелирующим с изменением смыва, является рельеф, представленный на рисунке 3.2 «эрозионным потенциалом рельефа» – степенной функцией произведения крутизны и длины склона. Максимальна и вариабельность этого показателя (при осреднении по геоморфологическим районам) – порядка 20-25 раз для обрабатываемых земель, тогда как эрозионный потенциал дождя изменяется для этого ареала в 12-15 раз (не принимая во внимание субтропики), а противоэрозионная стойкость почв – всего лишь в 3-4 раза. Еще более велика вариабельность фактора рельефа на локальном уровне. Кроме того, для территории России лишь рельеф может выступать как фактор, абсолютно лимитирующий эрозию. Благодаря выборочности хозяйственного освоения каждому его типу присущ особый рельеф со своими предельными величинами и специфическим распределением длины и крутизны склонов. Однако морфометрические показатели фоновых типов эрозии (земледельческой, лесопромышленной, пастбищной) обычно хорошо коррелируют с общей морфометрией, и эрозионный потенциал расчлененных возвышенностей, как правило, выше потенциала плоских низменностей.

Растительность в естественном состоянии не является фактором экологической напряженности в эрозионно-склоновом звене, поскольку именно благодаря достаточности ее почвозащитных свойств поддерживает-

ся баланс между сносом со склонов и почвообразованием. Культурная растительность, напротив, никогда не защищает почву полностью. Для Европейской части России характерно постепенное падение почвозащитных свойств агроценозов с севера на юг, несколько ускоренное на границе лесной и лесостепной зон и особенно заметное на предкавказских равнинах. Территориальная динамика почвозащитных свойств культурной растительности имеет в своей основе не только экономическую, но и чисто природную основу. Рост плохо защищающих почву от эрозии пропашных и паров в структуре посевных площадей с севера на юг на ЕТР или резкое падение доли озимых зерновых в Западной Сибири обусловлены, прежде всего, необходимостью сохранения влаги на юге и суровостью сибирских зим.

Овражно-балочное звено (подсистема ЭРС) занимает особое положение в отношении природных предпосылок возникновения в ней экологической напряженности. Овражная эрозия как её фактор является процессом, в первую очередь, связанным с хозяйственной деятельностью. В то же время она во многом обусловлена природными характеристиками территорий, которые создают условия для возникновения и развития оврагов при сельскохозяйственном освоении, сведении лесов, строительстве дорог и других видах деятельности, нарушающих естественное состояние земель. К основным природным предпосылкам оврагообразования относятся: во-первых, влияющие на формирование активной, действующей силы – потоков ливневых и талых вод; во-вторых – влияющие на противоэрозионную стойкость почв и горных пород, подверженность их размыву. Первые определяются характером выпадения осадков, условиями снеготаяния, фильтрационными свойствами грунтов, строением водосборного бассейна, его размерами, конфигурацией, глубиной базисов эрозии, уклонами и формой склонов, состоянием поверхности, влияющей на скорости потоков. Противоэрозионные свойства оцениваются размывающими скоростями для различных почв и горных пород, слагающих склоны, на которых развиваются эрозионные формы. Определенное влияние оказывает также экспозиция склонов, с одной стороны влияя на противоэрозионную стойкость почв и пород, с другой – на режим снеготаяния.

Из климатических факторов осадки оказывают наиболее существенное влияние на интенсивность развития оврагов и их предельные размеры. При этом наиболее важными параметрами являются расходы воды в потоках, образующихся ливневыми осадками и половодьем, и скорости течения, поскольку именно они обуславливают размывающую способность потоков и размеры оврагов на завершающем этапе их развития. Велико влияние также количества волн паводков, возникающих при ливневых осадках, а при снеготаянии – ежедневных резких пиков расходов воды в дневные часы и снижение их до минимума ночью, что особенно характерно для начального периода формирования стока.

Строение и морфометрические характеристики водосборных бассейнов на склонах долин рек и балок влияют также на расходы воды и объ-

емы стока по, главным образом, определяют интенсивность концентрации воды, время добегания волн паводка и скорости потоков. Последние зависят как от площади водосборного бассейна, так и от глубин базисов эрозии, определяющих, в свою очередь, уклоны склонов. При выпуклой форме склона происходит увеличение скоростей потоков по длине, что способствует значительной активизации эрозионного воздействия потоков. Глубины базисов эрозии влияют не только на уклоны склонов и скорости потоков, но, в значительной мере, и на размеры оврагов на заключительных этапах их развития.

Показателем размываемости почв и горных пород являются размывающие скорости, которые, в свою очередь, зависят от крупности частиц грунта, его плотности и глубины потока. Размывающие скорости определяют мутность воды. Критические уклоны склонов, превышение величины которых создает условия для начала образования оврагов, зависят от размывающей скорости в наибольшей степени по сравнению с другими параметрами, входящими в зависимость для их определения:

$$I_{кр} = A^{0,67} V_p^{2,7} Q^{-0,67} n^2,$$

где $I_{кр}$ – критический уклон; A – эмпирический коэффициент, зависящий от формы тальвега оврага; Q – расход воды, м³/с; V_p – размывающая скорость грунтов, слагающих склон, м/с; n – коэффициент шероховатости подстилающей поверхности. Размываемость грунтов определяет интенсивность развития оврагов, а также их морфометрические характеристики.

Одним из наиболее существенных факторов оврагообразования является расчлененность территории долинно-балочной сетью. Известно, что образование оврагов происходит на склоновых водосборах более крупных эрозионных форм (долины реки, балки, суходолы), существование которых на территории является необходимым условием развития овражной эрозии. Однако, взаимосвязь между протяженностью долинно-балочной и овражной сети может быть как прямой, так и обратной. Обратная связь имеет место в случаях значительного расчленения территории речной сетью. В регионах Центра Европейской части России анализ карт показал возможность снижения густоты овражного расчленения при высокой густоте долинно-балочной сети и, соответственно, малой длине и площади склоновых водосборов, не достаточно для формирования потоков со скоростями, превышающими размывающие.

Анализ природных факторов овражной эрозии и территориального распространения оврагов показал сложность выявления «ведущего» фактора оврагообразования. С одной стороны, прослеживается зональность в распространении оврагов, которую обуславливают в основном характеристики стока (интенсивность выпадения дождей и дружность снеготаяния, объемы стока). Другие зональные факторы – почвенный покров и климат – обусловили давнее и активное антропогенное освоение склоновых земель степной

и лесостепной зонах, которое, в первую очередь, и интенсифицировало расчленение оврагами водосборов по склонам долин рек и балок.

На скорость роста оврагов, их количество и общую протяженность из природных факторов наибольшее влияние оказывают аazonальные: морфометрия водосборов, геологическое строение территории, расчлененность водосборных бассейнов рек долинно-балочной сетью. При этом разнообразии природных условий определяет вариабельность овражности в пределах территории, а количественные характеристики заовраженности являются функцией совокупности всех природных характеристик.

В *речном звене* (подсистеме ЭРС) в отличие от верхних, природные предпосылки экологической напряженности составляют, в первую очередь, формы проявления русловых процессов, которые создают опасность для функционирования либо угрозу разрушения хозяйственных, инженерных объектов и коммуникаций. Однако сама опасность реализуется лишь при наличии объектов или сооружений; если их нет, она остается потенциальной, но ее следует учитывать при любых видах использования водных ресурсов, приречных территорий и самих рек. Характерно, что затруднения, а также опасные для жизнедеятельности человека ситуации на реках, будучи по своей природе естественными проявлениями русловых процессов, могут провоцироваться человеком в ходе его хозяйственной деятельности, вплоть до возникновения экстремальных ситуаций, приводящих к экологическим кризисам. Таковы наводнения, с одной стороны, и пересыхание рек, с другой.

Наводнения, т.е. затопление населенных пунктов, объектов промышленности и транспорта – явление, характерное для рек во время половодья или паводочного периода, когда в многоводную фазу происходит разлив реки, воды которой затапливают пойму. Ширина разливов иногда в десятки и даже сотни раз превышает ширину русла реки. Угроза наводнения обычно возрастает, когда быстрому и высокому подъему воды в реке способствуют складывающиеся синоптические условия или заторы во время ледохода. Исторически человек всегда селился на поймах, которые на Севере России, в Сибири и на Дальнем Востоке представлены одной из немногих пригодных для этого поверхностей, к тому же являющихся сферой активной хозяйственной деятельности (мясо-молочное животноводство, кормовая база и т.д.). При этом выбирались наиболее повышенные пойменные гривы, которые оказывались под водой лишь во время наиболее мощных половодий. Однако в последние десятилетия произошло массовое освоение пойм под промышленные, хозяйственные и коммунальные, прокладку коммуникаций, которые подвергаются более или менее частому и периодическому затоплению. Кроме того, при строительстве объектов и коммуникаций в зоне затопления нередко производится намыв территории до отметок, превышающих высшие уровни. В этом случае зона разлива сужается, но высота половодий или паводков растет, что приводит к дополнительному затоплению приречных территорий.

Периодическое затопление пойм водами половодий и паводков – явление типичное для речных пойм и, более того, необходимое для нормального развития пойменных ландшафтов. Очевидно, что степень экологической напряженности, связанной с затоплениями пойм водами половодий и паводков, зависит от характеристик затопления – его частоты, длительности и глубины и высоты пойменного массива. На рисунке 3.3. показана схема изменения степени экологической напряженности, связанной с разливом рек, по направлению от низкой к высокой пойме и 1-й надпойменной террасе.

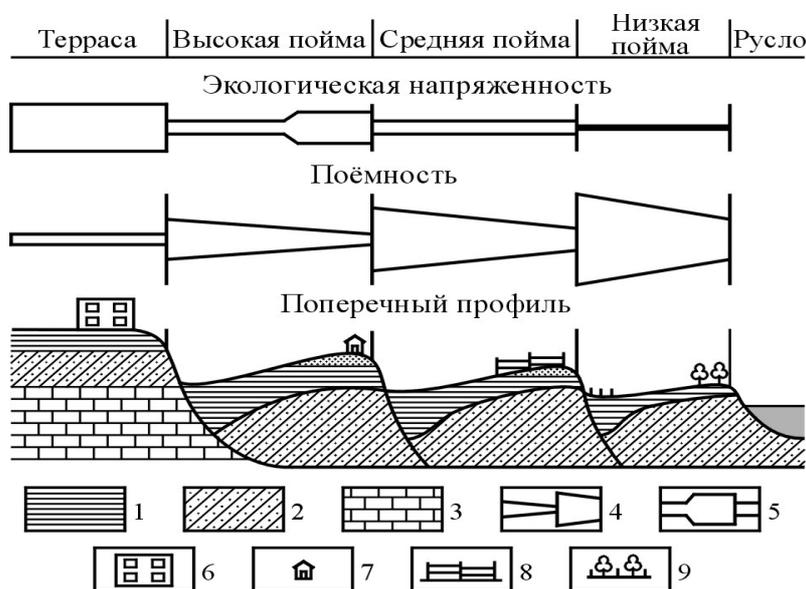


Рис. 3.3. Схема изменения степени экологической напряженности, связанной с угрозой и вероятностью наводнений на поймах рек и первых надпойменных террасах. Фации аллювия: 1 – пойменная; 2 – русловая; 3 – коренные породы; 4 – масштабная полоса. Показывающая длительность, частоту и глубину затопления поймы на различных уровнях и на первой террасе: чем шире полоса, тем они больше; 5 – масштабная полоса, показывающая степень экологической напряженности, связанной с затоплением территорий: чем шире полоса, тем она выше; 6 – капитальная застройка на первой террасе; 7 – эпизодическая застройка на высокой пойме; 8 – легкие хозяйственные сооружения на средней пойме (изгороди, стоговища); 9 – отсутствие хозяйственной деятельности на низкой пойме.

Затопление наиболее освоенных высоких пойм при максимальных уровнях половодий представляет собой наводнение как стихийное бедствие, поскольку под водой оказываются жилые дома, сельскохозяйственные уго-

дья, инженерные и другие сооружения, но наблюдаются достаточно редко, хотя всему хозяйству региона причиняется огромный экономический ущерб. Напротив ежегодные и длительные затопления низких пойм почти не сказываются на условиях жизни людей из-за их относительно малой распространённости и непригодности для какого-либо хозяйственного использования. Однако иногда через них проложены дороги, главным образом проселочные, соединяющие села с пристанями и причалами для выгрузки угля, стройматериалов, других грузов.

Наводнения нередко наблюдаются на реках, текущих с юга на север. Причиной их являются ледовые заторы, вызывающие местные и достаточно высокие подъёмы уровней. Образованию заторов способствуют определённые черты морфологии речных русел, например, наличие крутых излучин и разветвлений, мелководность перекатов. При этом затоплению могут подвергаться первые надпойменные террасы, на поверхности которых хозяйственная инфраструктура не предусматривает защитных противопаводковых сооружений. Таковы катастрофические наводнения на Сухоне в г. Великом Устюге в 1998 г, на Лене в г. Ленске в 1998 и особенно в 2001 г, на Кубани в 2002 г.

Характерно, что природная составляющая наводнений возрастает в определенных условиях при снижении антропогенной нагрузки на реки. В частности, отчетливо прослеживается (на примере района г. Великого Устюга на Сухоне) снижение частоты наводнений при проведении дноуглубительных работ на перекатах по трассе судового хода до начала 90-х годов XX века, и ее увеличение при их прекращении в последующие годы. Это связано с изменением пропускной способности русла и восстановлением естественных значений.

Пересыхание рек в теплый период более чем на 90 дней в году является зональным явлением, наиболее характерным для юга Европейской части России и юго-запада Западной Сибири. В других регионах реки пересыхают менее чем на 10 дней лишь в самые засушливые годы. Пересыхание рек определяет возможности бытового (в сельских населенных пунктах) и сельскохозяйственного водоснабжения, налагает определенные ограничения на использование водных ресурсов; они особенно сильно подвержены загрязнению на селитебных территориях, где отсутствие постоянного водотока способствует их интенсивному заилению продуктами смыва почв со склонов, скоплению в руслах отходов животноводства, строительного и бытового мусора и т.д.

Непосредственную угрозу населенным пунктам, сельскохозяйственным землям, промышленным предприятиям и коммуникациям представляют русловые деформации. Направленные вертикальные деформации русел в естественном состоянии обычно имеют столь малую интенсивность, что практически не сказываются на условиях жизни и хозяйственной деятельности людей, проявляясь опосредованно через другие процессы и явления как следствие их многовекового развития. Так направленная аккумуля-

ция наносов в нижнем течении Северной Двины, Печоры, Оби, Енисея, северных рек (Русловой режим..., 1994) создала условия для формирования сравнительно низкой поймы и больших весенних разливов рек. Однако они весьма ощутимы в нижнем течении Кубани и Терека, где в густонаселенных и освоенных сельским хозяйством регионах, несмотря на обвалованные русла этих рек, сохраняется постоянная угроза наводнений. В нижнем и отчасти среднем течении Амура с притоками (Махинов и др., 1994; Иванов и др., 2000) прямым следствием направленной, хотя и не очень интенсивной аккумуляции, являются катастрофические наводнения, постоянно сопровождающие всю историю освоения Приамурья и Приморья.

Малые реки, в отличие от больших и средних, иногда подвержены естественному заилению русел из-за их малой водности и уклонов (<0,01 ‰), не обеспечивающими достаточную транспортирующую способность потока. Русла таких рек зарастают водной растительностью, а свободные от нее участки воды прослеживаются в виде бочажин с полупроточной водой. Днища таких русел выстилаются мощным слоем минерально-органического ила. Такие реки с бочажинным руслом в экологическом отношении неблагоприятны даже в естественном состоянии, так как являются источником энтомологической опасности, их вода непригодна для бытового употребления, легко загрязняются сточными водами. При малейшем увеличении стока наносов или сокращении стока воды эти реки могут вообще перестать существовать, превратившись в балки с затопленным днищем.

Наибольшую опасность среди горизонтальных деформаций русел представляют размывы берегов, благодаря которым происходит разрушение жилых домов и инженерных объектов, коммуникаций, береговых опор ЛЭП и мостовых переходов, уничтожаются ценные сельскохозяйственные угодья. При этом поймы, образующиеся при намыве противоположных берегов, не компенсируют потери, так как непригодны для использования в сельском хозяйстве и для размещения строительных площадок. В зависимости от скорости размыва берегов при градопромышленном, селитебном или сельскохозяйственном использовании природных территорий создается определенная экологическая напряженность, которая количественно может быть выражена через коэффициент стабильности русла Н.И. Маккавеева $K_c = 100 d(Bi)^{-1} - d$ – средний диаметр наносов, мм; B – ширина русла, м; i – уклон ‰, интегрально отражающий интенсивность русловых деформаций и конкретные их характеристики (табл. 3.1).

Периоды времени, в которые наблюдаются размывы берегов рек на конкретных участках, или увеличение их интенсивности, могут быть очень большими, охватывая несколько десятилетий. Локализация зон размыва зависит от морфодинамического типа русла, в то время как скорость размыва – от особенностей гидрологического режима реки, стадии развития той или иной формы русла, геологического строения берегового уступа и дна русла, состава руслообразующих наносов. Существует ряд эмпирических формул для определения скорости размыва берегов (C_{δ}). Таковы зависимо-

сти, полученные Е.В. Камаловой (1988) для рек бассейна Волги и Дона: $C_{\delta} = 10,6 I^{0,57} Q_m^{0,47}$, К.М. Берковичем и Б.Н. Власовым (1982) для крупных рек России: $C_{\delta} = k Q^2 I(d H_{\delta})^{-1}$. В упрощенном виде скорость размыва берегов можно представить в виде зависимости от степени устойчивости речного русла. Анализ натуральных материалов по многим рекам России приводит к зависимости: $C_{\delta} = 15,6 K_c^{-0,65}$.

В формулах: I – безразмерный уклон; Q_m , Q – максимальный и средний многолетний расход воды, м³/с; H_{δ} – высота берега; k – коэффициент. Наиболее достоверны расчеты по последней зависимости при $K_c > 1-2$.

Таблица 3.1. Критерии экологической напряженности на реках, связанные с естественными деформациями речных русел (по К.М. Берковичу и др., 1996 с изменениями и дополнениями).

Степень экологической напряженности		Баллы	K_c	Размывы берегов				Периодичность горизонтальных деформаций	Средняя скорость смещения форм рельефа (средние и большие реки) м/год
				Средние скорости, м/год		Максимальные скорости в характерных местах, м/год	Протяженность зон размыва, % от длины участка реки		
				малые реки	средние и большие реки				
Отсутствует		0	>100	не проявляются					
Первичные признаки	а	1	20-100	0-0,1	0-0,5	до 2	< 5	отсутствуют	0-5
	б	2	15-20	0,1-0,5	0-2	2-5	2-20	постепенные (сотни лет)	5-50
Предкризисная ситуация		3	6-15	0,5-2	2-10	5-20	20-60	Средние (десятки лет)	50-300
КЭС	а	4	2-6	>2	>10	>20	>60	быстрые (годы)	>300
	б	5	<2						

В области меньших значений K_c , т.е. при очень большой подвижности русла, скорости размыва берегов могут меняться от 20 до 150 м/год и более в зависимости от свойств материала, слагающего берега.

Естественные размывы берегов наиболее характерны для рек, русла

которых сформированы в песках, супесях, лессах, легких суглинках, создающих свободные условия развития русловых деформаций. Максимальные скорости размыва зафиксированы для пойменных берегов свободно меандрирующих и разветвленных на рукава средних и больших рек, где они составляют в среднем 2-10 м/год и более. У разветвленных рек активно размываются также пойменные острова, нередко являющиеся объектом активной хозяйственной деятельности (сенокосы, выпас скота, на больших реках – размещение опор ЛЭП, мостовых переходов и т.д.). На малых реках размывы вогнутых берегов излучин происходят со скоростью не более 2 м/год, причем не по всему фронту вогнутого берега, как это бывает на больших реках, а локально, сопровождаясь оползанием отдельных блоков берега. Во всех случаях направление отступления берега не меняется в течение многих десятилетий, до тех пор, пока не произойдет спрямления излучины или развитие нового рукава.

Другой стороной опасных проявлений русловых процессов, создающих экологическую напряженность на реках, являются последствия переформирования аккумулятивных форм руслового рельефа. Чаще всего они сказываются в обмелении водозаборов, акваторий портов, водных подходов к береговым объектам и судовых ходов вследствие смещения побочней, осередков, кос, ленточных гряд. Размеры и скорость смещения этих форм (C_0) также зависят от стабильности русла:

$$C_0 = 115,34 K_c^{-0,97}.$$

Еще раньше Н.И. Маккавеев (1955) получил, что скорость смещения побочней перекатов на реках Европейской части России

$$C_0 = 0,05 Q_{\phi} / A,$$

где Q_{ϕ} – руслоформирующий расход воды, A – число Лохтина (первый по времени разработки показатель стабильности русла).

Для средних и больших рек характерно достаточно быстрое (100 м/год и более) смещение вниз по течению крупных песчаных массивов. Смещение аллювиальных гряд на малых реках происходит очень медленно (первые десятки и метры в год); еще медленнее смещаются побочни и осередки на реках с галечным и галечно-валунным составом русловых наносов. При этом грядовый рельеф обуславливает изменение отметок дна по длине русел, которые колеблются от долей метра на малых реках первых порядков до нескольких метров на больших и до 10-15 м и более на крупнейших реках.

Смещение гряд приводит к аварийным ситуациям на подводных переходах через реки трубопроводов и кабельных линий связи, создает угрозу разрушения мостовых опор и т.д. При отходе гряды от берегового сооружения глубина возле него увеличивается и оно теряет устойчивость; трубопроводы и кабели провисают и могут разорваться, мостовые опоры оказываются недостаточно заглубленными. Прямо противоположным по

характеру воздействия является продвижение гряд на водовыпуски и водозаборы, вызывая их обмеление.

С другой стороны, многолетний и сезонный режим перекатов определяет условия судоходства на реках. Чем меньше стабильность русла, тем большее требуется искусственное вмешательство посредством выполнения дноуглубительных работ (землечерпания и выправления) для обеспечения требуемых габаритов судовых ходов и их стабильности. Прекращение или резкое сокращение в 90-е годы XX века дноуглубления на судоходных реках привело к восстановлению естественных глубин, не удовлетворяющих требованиям водного транспорта, причем это произошло особенно быстро на реках со слабоустойчивым руслом (Северная Двина, Вычегда, верхняя Обь и др.) (Чалов и др., 2000; Белый, Иванов и др., 2001).

3.2 Антропогенные факторы экологической напряженности в ЭРС

Основные причины возникновения экологической напряженности в эрозионно-склоновом звене, опосредовано сказывающиеся и на функционировании всей ЭРС – превышение интенсивности смыва над темпами почвообразования, образование и транспорт большой массы склоновых наносов, латеральное эрозионное перераспределение загрязняющих веществ, увеличение поверхностного стока воды на склонах. Все это, как и само химическое, биологическое и радиационное загрязнение почв, связано, в большинстве случаев, с антропогенным воздействием на ландшафты водосборов или их преобразованием.

Любое, за редкими исключениями, хозяйственное использование склоновых земель сопровождается интенсификацией эрозионно-аккумулятивных процессов на порядки величины. Все типы природно-антропогенной эрозии почв (Литвин, 1998) характеризуются “запоровыми” техногенными изменениями растительности, почв, а иногда и рельефа при сохранении естественного режима и параметров осадков. При ирригационной эрозии и сам склоновый сток (объемы и способы подачи воды на склоны) определяется хозяйственными нуждами или авариями технических систем.

Интенсификация эрозионно-аккумулятивных процессов тем значительней, чем глубже и продолжительней антропогенное нарушение структуры почв и целостности растительного покрова. Максимум достигается при полном уничтожении растительности и почвы. Этими же нарушениями обуславливается и изменение баланса водного стока, которое, как правило, состоит в сдвиге в пользу его поверхностной составляющей и усилении внутригодовой неравномерности (Коронкевич, 1990).

Конкретные виды хозяйственного использования земель сопровождаются специфическими преобразованиями каждого фактора эрозионного процесса и всего их комплекса, вызывая эффект эмерджентности эрозионной обстановки и пространственно-временного функционирования эрозионно-склоновых подсистем ЭРС (Литвин, 1998). Это обстоятельство сказыва-

вается не только на степени интенсификации эрозии, но и на времени релаксации (возвращения системы к квазиестественному состоянию), на транспортировке наносов в нижние звенья ЭРС, на интенсивности эрозионной миграции загрязняющих веществ. Так, интенсивность лесопромышленной эрозии на крутых склонах сразу после вырубki леса достигает первых сотен тонн с гектара в год, что для сельскохозяйственной эрозии расценивается как катастрофа. Однако такие темпы смыва наблюдаются на вырубках лишь первые несколько лет, а затем по мере лесовозобновления они быстро снижаются до темпов естественной эрозии, т.е. эрозии на ненарушенных землях (первые кг/га/год). Поскольку периодичность вырубки составляет не менее 80-100 лет, то и среднемноголетняя интенсивность смыва на пахотных склонах той же крутизны будет выше средних темпов лесопромышленной эрозии. Другой пример: ускоренный сброс воды и наносов в русловую сеть из ареалов дорожно-коммуникационной эрозии и большая загрязненность этих наносов тяжелыми металлами, нефтепродуктами и т.п. усиливает экологическую напряженность на реках в большей степени, чем об этом можно было бы судить по объемам стока и массе наносов.

Загрязненность почв токсическими и радиоактивными веществами – это еще один антропогенный фактор экологической напряженности. На склоны осаждаются большая часть загрязняющих веществ, выброшенных в атмосферу промышленностью или в результате техногенных аварий. Наиболее токсичными из них являются радионуклиды, последствия загрязнения которыми имеют специфический характер. Однако наибольшая масса химических веществ вносится в почву сельскохозяйственных угодий преднамеренно. Это – удобрения, мелиоранты и средства химической защиты культурных растений, которые, попадая в иную среду, могут рассматриваться как загрязняющие вещества. Вместе с ними в почву поступает и сопутствующий комплекс тяжелых металлов-загрязнителей. Загрязнение почв происходит также при обычных механизированных обработках и других агротехнических мероприятиях, от наземного транспорта, при авариях нефтепроводов.

О масштабах поступления в почву антропогенных химических веществ можно судить по массе внесенных удобрений, которая для периода 1986-1990 гг. ежегодно составляла: органических – 482 млн. тонн, минеральных – 12 млн. тонн действующего вещества. Вносимая масса, с учетом минеральных и органических мелиорантов, превосходит массу почвенного субстрата, ежегодно смываемого со всей пашни России – около 560 млн. тонн.

Эрозионно-склоновое звено – основной источник вещества для нижних звеньев ЭРС, и уже поэтому антропогенные преобразования ландшафтов водосборов значимы не только для режима и интенсивности склонового стока воды и наносов, но и ЭРС в целом. Однако степень, а иногда и направленность, влияния конкретных воздействий для верхних и нижних звеньев системы неодинакова. Различна и номенклатура таких воздействий.

Так, антропогенно обусловленный рост поверхностной составляющей стока воды может иметь как благоприятные (в зонах избыточного увлажнения), так и негативные экологические последствия для земледелия, но, как правило, будет усиливать оврагообразование и отрицательно влиять на экологическое состояние речных потоков.

Еще более яркий пример: интенсивный смыв почвы уменьшает плотность радиоактивного загрязнения склонов, но потенциально увеличивает ее на днищах суходольной сети (Литвин и др., 1996), следовательно, антропогенное усиление эрозии почв в районах радиоактивного загрязнения снижает экологическую опасность в верхнем звене ЭРС и повышает ее в нижних.

Распашка территорий, как наиболее распространенный вид антропогенного воздействия на склоны, оказывает существенное влияние на условия образования линейных эрозионных форм. Последние проявляются через: 1) снижение эрозионной устойчивости почв по отношению к размыву по сравнению с естественным фоном; 2) уменьшении фильтрационной способности пахотных горизонтов и повышении доли поверхностного стока; 3) уменьшении времени добегания поверхностного стока и, соответственно, рост расходов в искусственных артериях стока, связанных с распашкой – бороздах, колеях, тропах. Все перечисленные особенности антропогенного воздействия приводят с одной стороны – к увеличению скоростей склонового стока, с другой, – к уменьшению размывающих скоростей. Это способствует образованию линейных эрозионных врезов на склоновых водосборах значительно меньшей площади, чем балочные. Поэтому склоны балок, суходолов, лощин стали ареной образования и развития оврагов.

На рис.3.4 представлена зависимость между размывающими скоростями и необходимыми для их обеспечения длинами склонов и площадями водосборных бассейнов при модуле склонового стока $0,5 \text{ м}^3/\text{с км}^2$. График и интерпретирующая его таблица 3.2 показывают, что для достижения скорости, близкой к $2,0 \text{ м/с}$, что соответствует размывающей скорости для дернины, длина склонового водосбора должна быть не менее $2,0 \text{ км}$. Это соответствует размерам балочных форм. Средняя длина склона такой балки равна 250 м , максимальная – $280\text{-}300 \text{ м}$. На водосборных бассейнах такой протяженности при уклонах, характерных для бортов балок $15\text{-}20^\circ$ и модулях склонового стока $0,5 \text{ м}^3/\text{с км}^2$, что близко к среднемаксимальным для центра Европейской части России, скорости потоков не превышают $0,7\text{-}1,0 \text{ м/с}$. Размыв грунта такими скоростями возможен лишь при условии нарушения его естественного растительного и дерново-почвенного покрова, т.е. при распашке.

Антропогенные факторы, способствующие превращению речного звена ЭРС в природно-техногенные и определяющие экологическое состояние русел рек, по-разному сказываются на малых, средних и крупных реках и имеют разные формы проявления. На первые большое влияние оказывают бассейновые факторы. К процессам и явлениям, определяющим их экологи-

ческое состояние относятся заиление, зарастание и деградация русел как следствие эрозии почв и изменения характеристик стока воды и наносов на водосборах, их пересыхание, вызванное избыточным водозабором на орошение и изменением характера землепользования, изменениями пойменных ландшафтов, связанными с сельскохозяйственным и градопромышленным освоением пойм, прокладкой коммуникаций; для русел горных и полугорных рек нередко важным фактором оказывается разработка месторождений россыпных полезных ископаемых.

Таблица 3.2. Длина склонов l , площади водосборов F , необходимые для потоков с размывающими скоростями v_p для дернины при модуле склонового стока $0,5 \text{ м}^3/\text{с км}^2$

$v_p, \text{ м/с}$	$l, \text{ км}$	$F, \text{ км}^2$
0,5	0,1	0,0025
1,0	0,5	0,0625
1,5	1,15	0,33
2,0	2,0	1,0
2,5	3,1	2,4
3,0	4,5	5,1

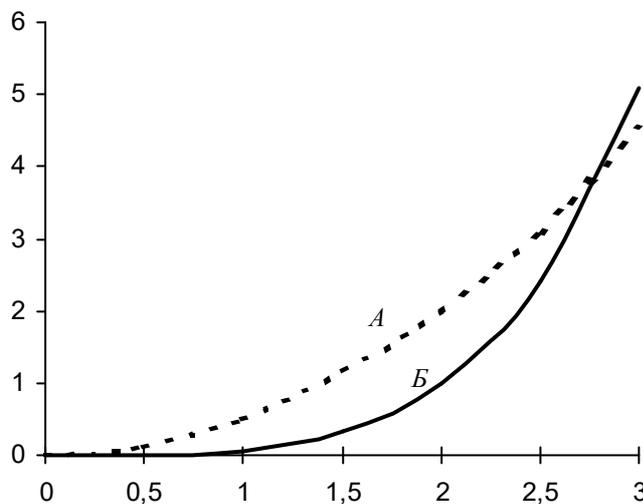


Рис. 3.4. Зависимость между размывающими скоростями и параметрами водосбора при модуле склонового стока $0,5 \text{ м}^3/\text{с км}^2$
 — А — длина склона — Б — площадь водосбора

На больших реках экологическую обстановку определяют механические изменения их русел, происходящие в результате строительства инженерных объектов на берегах и в самих руслах, дноуглубление для нужд судоходства, разработка карьеров стройматериалов; большое значение имеет использование речных русел в качестве водоприемников сбросных (коллекторных) вод, сельскохозяйственное освоение пойм, а также их пересечение коммуникациями, обвалование, застройка и т.п. Это проявляется в активизации разрушения берегов и размыва дна рек, прогрессирующем понижении уровней воды, обсыхании или обмелении отдельных частей русел, уменьшении скоростей потока, его транспортирующей способности и водообмена. Снижение уровней на участке реки приводит к неблагоприятным изменениям в окружающей среде: понижению уровня грунтовых вод на пойме, интенсификации обрушения берегов, образованию на вышележащем участке реки кривой спада и неконтролируемых размывов дна, ухудшению работы водозаборных устройств и выпусков сточных вод. Изменения бассейновых факторов руслоформирования сказываются на руслах крупных рек в значительно меньшей степени или вообще не проявляются.

Ряд негативных явлений обусловлен таким крупномасштабным механическим вмешательством, сопровождающимся изменением факторов руслоформирования, как сооружение на реках крупных гидроузлов: размыв русла и снижение уровней воды в нижних бьефах, регрессивная аккумуляция выше водохранилищ, образование мелководно-осушной зоны в зоне выклинивания подпора, подтопление или, наоборот, иссушение пойм. Срезка пиков половодья меняет характер взаимодействия потока и русла иногда на большом расстоянии от плотины, смещает время и на определенном этапе активизирует переформирования русла, меняет гидрологический режим поймы. Косвенно величину срезки половодья можно оценить по соотношению объема стока воды за период половодья (на крупных равнинных реках России – 60-80 % годового стока) и полезного объема водохранилищ. Так, наибольшая срезка половодья, когда средние расходы за весенний период составляют 25-50 % бытовых, характерна для Красноярской, Вилюйской, Волгоградской (результат действия каскада), Цимлянской ГЭС.

Сами водохранилища – арена накопления осадков – наносов, переносимых реками и образующихся при абразии берегов. Абразия берегов и появление мелководно-осушной зоны в верхней части водохранилища представляют собой наиболее отрицательное в экологическом отношении следствие создания водохранилища (если не считать затопления больших территорий). Степень влияния аккумуляции наносов в водохранилищах и зонах регрессивной аккумуляции выше по течению зависит от величины стока наносов. Она велика на Оби выше Новосибирского водохранилища, на Дону выше Цимлянского, но практически не проявляется на участках Волги и Камы, находящихся в свободном состоянии.

Серьезным фактором изменения русел рек, приводящих к созданию экологической напряженности, является добыча полезных ископаемых, в

том числе нерудных строительных материалов. Этот вид деятельности не только механически изменяет морфометрию речных русел, но и инициирует направленные вертикальные деформации. Скорость понижения отметок дна реки и его распространения вверх и вниз по течению от карьера зависит от степени естественной подвижности русла или, упрощая, от крупности аллювия, объема добычи и местоположения карьера. Понижение отметок дна выражается в почти синхронном и близком по величине понижении меженных уровней воды. Нередко механическое понижение отметок дна, вместе с эрозией, создают предпосылки для усиления процессов разрушения речных берегов. К рекам, на которых в последние несколько десятилетий изменения русла проявились особенно сильно, создав кризисные экологические ситуации, относятся нижняя Томь, верхняя Ока, нижняя Белая, верхний Чулым и некоторые другие. Меженные уровни нижней Томи в Томске и верхней Оки в Кашире понизились по сравнению с естественным состоянием почти на 2 м, нижней Белой в Уфе – на 1,5 м, Чулыма в Ачинске и Иртыша в Омске – на 1 м. Понижение отметок дна верхней Оки охватило участок от Калуги до устья р. Москвы (Коломна), длиной более 200 км, на нижней Белой распространилось более чем на 100 км. Средняя скорость понижения отметок дна этих рек составляла от 5 до 20 см в год.

Наиболее остро этот фактор действует на участках рек с зарегулированных стоком воды и наносов – в нижних бьефах гидроузлов. К таким рекам относится средняя Обь ниже Новосибирского гидроузла, где разработка русловых карьеров усилила развитие глубинной эрозии. Это привело к тому, что понижение меженных уровней более чем втрое превысило проектные расчеты, что сказалось на состоянии инженерных сооружений г. Новосибирска и ландшафтном облике поймы Оби. При разработке карьеров в пределах каскадов водохранилищ (Кама) понижения уровней, как правило, не происходит, однако изменения морфометрии русел способствуют разрушению берегов.

Дноуглубительные работы на судоходных реках также вносят механические нарушения в рельеф русел, не меняя при этом режим рек. Они заключаются в разработке землечерпательных прорезей сравнительно небольшой длины, ширины и глубины, при которой извлеченный грунт искусственно переносится из одной части русла в другую. При длительном, в течение нескольких десятилетий, землечерпании морфометрия русла несколько меняется, но русла рек сохраняют естественные размеры и форму, не меняется также сток наносов. Накопленные изменения сказываются в увеличении глубины и, реже, уменьшении активной ширины русла. По прекращении регулярного землечерпания, что было характерно для 1990-х гг, русла рек возвращаются в исходное или близкое к нему состояние.

Радикальное уменьшение ширины и закрепление подвижных форм руслового рельефа достигается строительством выправительных сооружений, которое в России применяется сравнительно мало; к рекам, на которых выправление было основным средством увеличения судоходных глубин,

относятся нижняя Белая, верхняя Лена, Тобол, Тура и некоторые другие. В большинстве случаев выправление ограничивается созданием единичных сооружений, сопровождающих наиболее ответственные землечерпательные прорези.

Увеличение судоходных глубин имеет свои пределы – это так называемая гидравлически допустимая глубина, достижение которой не приводит к понижению меженных уровней. В практике принято, что допустимым является понижение уровней при разработке прорезей не более 10 см, что соответствует точности промеров глубин. Такое изменение уровней практически не вносит нарушений в природную обстановку окружающих территорий и не влияет на инженерные сооружения. Стремление достичь глубин, больших, чем допустимые, приводит к серьезным нарушениям режима грунтовых вод, прибрежных ландшафтов и работы инженерных сооружений. Примером может служить верхняя Лена, где в результате чрезмерного углубления русла и несмотря на строительство выправительных сооружений меженные уровни понизились в Усть-Куте на 1,9 м.

Одним из наиболее негативных факторов, влияющих на экологическое состояние русел горных и полугорных рек, является разработка аллювиальных россыпных месторождений, при которой происходят необратимые изменения русел и пойм и экосистем рек в целом. Поскольку в научной литературе этой проблеме практически не уделяется внимания, она рассматривается более подробно по сравнению с другими антропогенными факторами.

Воздействия, вызванные обработкой россыпей, можно разделить на косвенные и прямые. Косвенные влияют на весь бассейн реки: вырубка леса, изъятие сельскохозяйственных и охотничьих угодий, местообитаний животных и растений. Эти процессы описаны в литературе; вследствие происходящих изъятий, изменений среды жизни коренного населения, ухудшения общего экологического состояния бассейнов созданы общегосударственные и региональные инструкции по рекультивации обработанных земель (Зубченко, Сулин, 1980; Геоэкология..., 1992). Однако в них практически не рассматривается основной из подверженных механическому изменению элементов – русло реки, хотя при обработках россыпей именно ему наносится непоправимый ущерб, вплоть до фактического уничтожения.

Существует три основных способа обработки аллювиальных месторождений, каждый из которых приводит к определенным изменениям русел рек – гидравлический, шахтный и дражный. Первые два оказывают меньшее влияние на русла, при дражном способе оно из естественного состояния переходит в техногенное. Гидравлический способ применяется при обработке небольших обогащенных участков россыпей на склонах и террасах долин. Воздействие на русло при этом сказывается в заборе воды для работы гидромониторов и спуска пульпы, что в тысячи раз увеличивает мутность воды в реках. На склонах подвергшихся обработке активизируются эрозионные процессы.

Шахтный способ применяют при обработке глубоко залегающих погребенных россыпей. При этом само русло непосредственно не подвергается изменениям. Река служит источником водозабора, а отходы промывочных установок сбрасываются на пойму. При этом возникает техногенный рельеф в виде отвалов разной высоты, сложенных отложениями различной крупности. Весной полые воды частично размывают и сами отвалы, и отстойники. Мутность воды, как и при первом способе, значительно возрастает, причем не только на обрабатываемой реке, в которую сбрасывают отходы, но и реке более высокого порядка. По данным Е.К. Кирилловской и Ю.Т. Гончарова (1989), из бассейна р. Бургуата, в котором проводятся обработки россыпей, в р. Яну выносятся до 100 тонн взвешенных частиц. Это отрицательно влияет на ихтиофауну, особенно – на состояние нерестилищ рыб. Отвалы зарастают, причем скорость зарастания зависит от климатической обстановки и пропорциональна сумме положительных температур. Особенно медленно оно происходит в тундре, где восстановление естественных биоценозов замедленно не только благодаря низким температурам, но и вследствие многолетнемерзлых пород.

При дражном способе обработки изменения русел и пойм являются необратимыми. Для того, чтобы запустить драгу естественный поток отводится в канал. В начале обрабатываемого участка строятся дамбы. Чтобы добраться до обогащенного аллювиального горизонта экскаваторы снимают почвенные горизонты и пустую породу и, хотя по инструкциям после эксплуатации месторождения почвенные горизонты должны быть возвращены, делается это в редких случаях и практически невыполнимо, т. к. драги проходят одни и те же участки по несколько раз, обрабатывая техногенные россыпи

Процесс дражной обработки требует огромного количества воды. При этом водозабор является возвратным, но часть воды задерживается в отстойниках, испаряется. При промывке обогащенной породы также происходит увеличение мутности воды, сбрасываемой в реку из отстойников, насыщенных большим количеством илистых частиц, а иногда даже химических коагулянтов. В соединении с принципиальным изменением рельефа дна эти факторы приводят к полному уничтожению нерестилищ рыб, естественное воспроизводство рыбного стада прекращается. Так, в Алданском районе для адсорбирования мельчайших частиц золота применялись цианиды. В результате таежные реки превратились в потоки коричневато-бурой жидкости, в которой невозможна жизнь организмов.

В Ленском и Алданском районах, а также в бассейнах Колымы, Индигирки, Енисея, Амура дражный способ обработок россыпей является преобладающим на реках III-VI порядков, отличающихся наиболее благоприятными условиями россыпеобразования: россыпи в них распространены практически по всей длине (Шило, 1985). Протяженность участков обработок достигает здесь нескольких десятков километров. Известные россыпигиганты на реках Бодайбо, Ваче, Хомолхо имеют протяженность до 100 км

и более и практически отработаны на всю длину. Реки более низких порядков обычно содержат россыпи в своих устьевых зонах, в которые попутно с отработкой по главной реке заходит драга.

В результате дражных отработок на дне долины возникает техногенный ландшафт. Между отвалами естественное русло распадается на отдельные, часто не соединенные друг с другом фрагменты причудливой формы – «техногенные старицы» (рис. 3.5), озера, не исчезающие после прекращения отработок. Высота отвалов достигает 10 м и более. Со временем они покрываются растительностью, а в зоне распространения многолетнемерзлых пород сковываются мерзлотой. Интересный пример приводит А.А. Лукашов (1979): в Босанских рудных горах (Внутренние Динариды) рельефно выступают над поймами небольших рек отвалы россыпей золота, отработанные еще в эпоху римской колонизации.

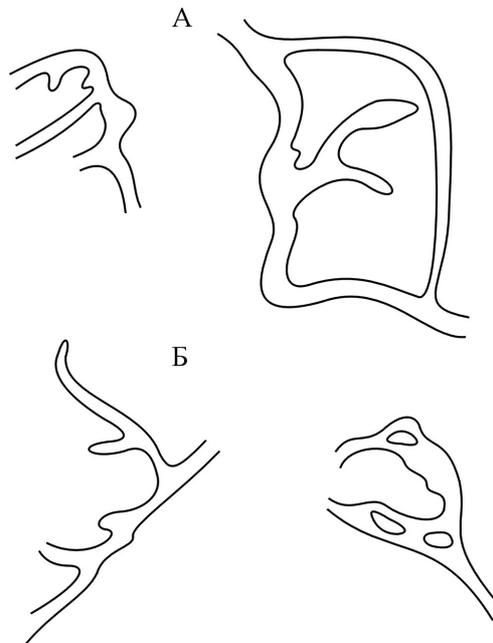


Рис. 3.5. Формы русла, возникшие в результате дражных отработок в Ленском золотоносном районе: А – р. Вача; Б – р. Накатань.

Значительные площади озер, изъятие воды для технических нужд снижают сток воды; водоемы – озера в присклоновой части днища принимают сток притоков, что также способствует снижению водности основной реки. В целом снижение расходов в связи с техногенными отработками составляет до 45% (Хмелева и др., 1995). В Ленском районе в естественном состоянии площадь, занятая современным руслом, составляет от 3 до 10 %

от площади днища. Площади водной поверхности в искусственно созданных в процессе разработки россыпей водоемах, увеличивается в 30-40 раз, занимая в некоторых случаях до 40-50% от площади днища.

После отработок и под их влиянием происходит перестройка русел. Так, в одной из долин Ленского района драга прошла вдоль левого и правого бортов днища, образовав две искусственные прямолинейные борозды, отгороженных от основного русла отвалами. После отработки россыпей и прорыва в верхней части участка дамбы поток пошел по этим бороздам, образовав техногенные рукава. В.Н. Новиков (устное сообщение), наблюдал картину раздвоения русла в устьевой зоне крупного притока, куда дважды заходила драга; ее отвалы служат перемычкой между рукавами.

После окончания работ производится прорыв перегораживающих русло дамб. При этом часто возникает своеобразная техногенная «четковидность»: пересекая дамбу, поток собирается в узкое русло, а при выходе из нее растекается несколькими рукавами, образующими в межень «техногенные» старицы.

Взвешенные наносы сточных вод дражных разработок находятся в сильно измельченном состоянии, почти не осаждаются при отстаивании. Для интенсификации этого процесса применяются коагулянты. Вредные вещества и огромное количество мелких илистых частиц попадают в приемные бассейны и реки. Имеются данные, что дражный флот и другие механизмы золотодобывающей промышленности Сибири сбрасывают ежегодно около 2 млн. м³ сточных вод с большим содержанием взвесей (Геоэкология..., 1992).

3.3. Экологическая неоднозначность последствий техногенных воздействий на эрозионно-русловые системы

Использование водных и земельных ресурсов и происходящие при этом изменения естественного состояния ЭРС, их превращение в природно-техногенные системы обычно оценивается с точки зрения отрицательных экологических последствий.

Действительно, во многих случаях непродуманные или не обоснованные материалами специальных исследований решения по использованию ресурсов оборачиваются неблагоприятными экологическими ситуациями, охватывающими значительные по протяженности площади водосборов и ЭРС в целом. Однако в современных условиях длительного и разнопланового воздействия человека на окружающую среду, хозяйственную деятельность человека нельзя считать только негативной, влекущей за собой разрушение природы и последующий рост экологической напряженности. Уже сам факт использования природных ресурсов связан с обеспечением жизни и деятельности людей. Поэтому взаимодействие природных и антропогенных факторов при функционировании современных ЭРС оказывается достаточно сложным и неоднозначным в отношении их экологических последствий.

Одной из причин вмешательства человека в природные процессы является необходимость активно защищаться от неблагоприятных проявлений природных процессов, для чего ему приходится прибегать к механическому вмешательству в их функционирование. Примером инженерной защиты с целью сохранения приемлемого экологического состояния приречных территорий является искусственное укрепление размываемых речных берегов, препятствующее их разрушению и уничтожению приречных земель, лесов, возведенных на них объектов. К такому же «защитному» эффекту приводит и разработка дноуглубительных прорезей для обеспечения работы водозаборов, подвергающихся регулярной заносимости, или нормальных условий судоходства, не говоря уже о самом водозаборе, который воздействует на реки, но в то же время является необходимым для жизнеобеспечения людей. На Лене, Северной Двине, Кубани и других реках прекращение дноуглубления в связи с экономическим кризисом и сокращением перевозок грузов и пассажиров водным транспортом, обернулось катастрофическими наводнениями и экологическими бедствиями для населения. Таким образом, без техногенного вмешательства в жизнь рек природная экологическая напряженность на их берегах оказывается достаточно высокой.

В условиях роста населения и экономического развития увеличение антропогенной нагрузки на ЭРС неизбежно, причем она осуществляется в целях обеспечения жизни человека. Так, распашка земель и включение их в сельскохозяйственный оборот прямо связано с производством продуктов питания для людей. Однако любое вмешательство в каждое из звеньев ЭРС обуславливает потенциальную опасность возникновения экологически неблагоприятной ситуации, поскольку может сопровождаться непрогнозируемой и, возможно, неблагоприятной в экологическом отношении реакцией остальных звеньев системы. Усиление антропогенного воздействия на водосборы и русла сопровождается ростом числа факторов, определяющих экологическое состояние систем и форм воздействия на них. Эти факторы могут быть как чисто антропогенными, так и природными, но в ряде случаев усиленными или спровоцированными антропогенным воздействием. Так, искусственное увеличение водоносности рек-приемников коллекторных вод при орошении, приводит к усилению на них глубиной и боковой (размывов берегов) эрозии. Эрозия почв является природным фактором, однако, ее ускоренный (антропогенный) вариант при распашке земель вызывает не только снижение почвенного плодородия и необходимость осуществления противозерозионных мер, но и целую цепь природных процессов и явлений, резко ухудшивших экологическое состояние во всех звеньях ЭРС, в частности, заиление и деградацию малых рек.

Сложное взаимодействие и взаимовлияние различных природных и антропогенных факторов эрозионных и русловых процессов привело к тому, что многие эрозионно-русловые системы из природных превратились в природно-техногенные. В них уже возникли новые устойчивые связи между составляющими их элементами, имеющими как естественный, так и искус-

ственный генезис; система достигла устойчивого равновесия. Поэтому прекращение антропогенного воздействия может нарушить это равновесие, прервать устоявшиеся на протяжении десятилетий, а иногда и первых столетий связи, вызвать новую перестройку морфологии и динамики всех элементов ЭРС, которая, в свою очередь, может весьма неблагоприятно сказаться на экологическом состоянии всей системы. В этом случае прекращение воздействия можно рассматривать как форму антропогенного воздействия с противоположным знаком (антивоздействие).

Современные технологии земледелия – наиболее значимого в экологическом отношении антропогенного воздействия на верхнее склоновое звено ЭРС, обеспечивают резкий рост урожайности, а во многих случаях и уровня плодородия почв благодаря, например, «окультуриванию» дерново-подзолистых почв, химическим и водным мелиорациям и т.п. Высокий уровень урожайности, без которого человеческое общество в его настоящем виде просто не могло бы существовать, на 80 % обусловлен именно применением высоких доз минеральных удобрений, пестицидов и химических мелиорантов. Пропорционально росту урожайности увеличивается подземная и наземная биомасса культур – один из наиболее важных факторов противозерозионной устойчивости склонов. Но эти же необходимые элементы технологии при развитии эрозии и склонового стока потенциально повышают опасность загрязнения нижних звеньев ЭРС. Другие ее особенности (например, увеличение числа и глубины обработок почвы) снижают противозерозионную стойкость почв, а в отдельные фазы развития культуры, и почвозащитную способность растительности. Отдельные обработки, кратковременно увеличивая водопроницаемость почв, в целом разрушают почвенную структуру, приводя к росту поверхностной склоновой составляющей речного стока и усиливая его неравномерность (Коронкевич, 1990), что опять-таки связано с ростом потенциальной опасности загрязнения водных ресурсов.

Это противоречие – необходимость химизации и частых обработок, с одной стороны, и их отрицательное влияние на экологическую обстановку в ЭРС, с другой стороны, не всегда удовлетворительно решается даже в рамках новых «специально» противозерозионных технологий земледелия (минимальных и безотвальных обработок и т.п.). При их использовании наблюдается снижение смыва, но сток воды часто несколько увеличивается, а для борьбы с сорняками приходится использовать повышенные дозы пестицидов – опасных загрязнителей.

Таким образом, экологическая неоднозначность техногенных воздействий земледелия, как и большинства видов использования склоновых земель, всегда заставляло искать компромисс между необходимостью хорошо жить и вообще жить. Этот компромисс имеет еще и чисто экономическую составляющую. Как показали экономические расчеты (Ларионов, Белоцерковский, 1991), в рамках основных современных систем земледелия затраты на противозерозионные мероприятия растут по экспоненте при ли-

нейном росте их физической эффективности (снижения интенсивности смыва). Если достичь снижения темпов смыва в два-три раза дешевыми агротехническими приемами достаточно просто, то дальнейшее снижение смыва становится экономически нерентабельным (для большинства полевых культур). Таким образом, в районах или на отдельных склонах с активной земледельческой эрозией имеются лишь два выхода: или сменить тип использования склоновых земель на менее эрозионно-опасный (например, залужить пашню), или допускать некоторый смыв почвы и сопутствующие ему экологические последствия.

Совершенно очевидно, что величина допустимого смыва – это эколого-экономическая и природно-социальная категория. Общество в целом, и тем более конкретный производитель-землепользователь, не могут позволить нерентабельного производства

Для количественной оценки допустимого смыва, чаще всего, используются два принципа: а) приравнение интенсивности допустимого смыва к темпам почвообразования, что обеспечивает сохранение почвы и «первоначальном» состоянии; б) допустимым является смыв, при котором плодородие ощутимо не снижается в течение «нормативного» периода (50-100 лет). В связи с усиливающимся почвенно-эрозионным загрязнением водных ресурсов необходимо добавить третий принцип – смыв, при котором миграция химических веществ со склонов не приводит к превышению их предельно допустимых концентраций (ПДК) в реках и водоемах, является также допустимым. При выборе того или иного принципа должны приниматься во внимание как природные факторы (например, мощность гумусовых горизонтов почв), так и уровень общего антропогенного давления на ландшафт, свойства самого ландшафта и ЭРС (транспортирующая способность склоновых и русловых потоков, наличие естественных и антропогенных рубежей стока, плотин и т.д.) и степень их трансформированности антропогенными воздействиями.

Сопоставление интенсивности оврагообразования с ростом площади пашни, т.е. использование земель в сельском хозяйстве, показало, что между ними существует прямая связь. Увеличение доли поверхностного стока, снижение противозерозионной стойкости почв при её обработке – все это является компонентами антропогенного фактора овражной эрозии на пашне. В эродированных районах страны овражно-балочные земли занимают 10-17% от общей площади земельных угодий. Количество оврагов, развивающихся около промышленных предприятий, в сельских и городских населенных пунктах несравнимо меньше, чем на пашне в земледельческой зоне. Однако ценность земель и объектов, разрушаемых овражной эрозией на урбанизированных территориях, настолько велики, что привлекают к себе не меньшее внимание, чем образование большого количества оврагов на сельскохозяйственных землях.

Связь овражной эрозии и оврагов как созданных ею форм рельефа с экологическим состоянием территории разнообразно. Образовавшиеся ов-

раги наносят вред на протяжении всего времени своего существования по всей их длине и практически всем комплексом сопутствующих их развитию процессов. В первую очередь, это – сокращение площади пашни и ухудшение качества пахотных угодий. Последнее выражается в том, что на 1 га площади оврага обычно приходится 3-5 га площади приовражных земель, не пригодных для распашки. Если расчетным путем, исходя из данных о площади овражной сети и средней мощности почвенного плодородного слоя, подсчитать безвозвратные потери почвенного горизонта, связанные с оврагообразованием, то за время сельскохозяйственного освоения (около 300 лет) эта цифра составит 65,6 млн. м³. Потери гумусового горизонта усиливаются и с площади овражного водосбора за счет увеличения уклонов по мере развития оврага. В результате образования оврагов в днищах балок, а также заполнения выносами из оврагов днищ балок или их аккумуляция на пойменных плодородных землях происходит сокращение пастбищ и сенокосов. В Ставрополье, например, конуса выноса зарастают полынью, чернобильником, непригодными к качеству кормов для животноводства. В засушливых регионах развитие овражных систем нередко способствует почвенной засухе, поскольку овраги понижают уровень водоносного горизонта, выполняя роль естественных дрен.

Исключительную опасность процесс оврагообразования имеет в областях распространения многолетнемерзлых пород при освоении земель, строительстве коммуникаций, урбанизации. В районе г. Воркуты был отмечен интенсивный рост рытвин, промоин и оврагов при распашке в конце 50-х годов. Рост оврагов в тундре отличается большими скоростями – 10-20 м/год, что представляет серьезную опасность для всех объектов.

Экологическая опасность предусматривает использование оврагов под свалки мусора и отходов всякого рода производств, т.к. овраги становятся источниками поступления вредных веществ вместе с грунтовыми и сточными водами в гидросеть. Склоновые овраги, находясь у кромок полей, являются артериями переноса химических удобрений в балочную и речную системы.

Известен также вред, причиняемый овражными выносами судоходству. Он выражается в перегораживании русла рек овражными выносами и формировании перекатных участков. Такие явления характерны для Дона, Белой и других рек, протекающих по заовраженным районам. Развитие оврагов наносит многочисленные повреждения линейным коммуникациям, коммунальным и промышленным постройкам. При подсчете ущерба, приносимого овражной эрозией необходимо добавить стоимость разработки и осуществления противоэрозионных мероприятий.

В то же время нередко негативные последствия неосмотрительной «борьбы» с оврагообразованием. Засыпка оврагов сопровождается подтоплением городских территорий (например, в Елабуге, Волгограде). К катастрофическим последствиям приводит разрушение плотин, возводимых в балках, имеющих донные врезы. Такие плотины сооружаются хозяйственными

органами часто без проектов и должного обоснования (Ставрополье, Мордовия). В г. Арзамасе произошло «наводнение» – были затоплены дачные поселки в результате прорыва плотины и спуска пруда в овраге.

Нередко к развитию овражной эрозии на склоне приводит организация лесополос для борьбы с водной и ветровой эрозией. При неравномерном распределении запасов снега и запаздывании таяния в лесополосах, создается угроза образования промоин и оврагов (район г. Лысково в Нижегородском правобережье Волги), где междуречья лесополос служат источниками поступления воды в образующиеся промоины.

В то же время овраги представляют собой линейные эрозионные формы, которые вместе с балками и суходолами создают неповторимую, своеобразную прелесть рельефа равнинных территорий нашей страны. Они являются природными заповедниками, местами обитания многих животных и птиц. В условиях, когда распашка территорий центра России достигает 70-80%, овражно-балочные системы представляют собой «островки естественной живой природы».

Велика была положительная роль оврагов как естественных укреплений. Недаром первыми создателями карт овражности были военные картографы. Оврагами как естественными спусками к воде, к причалам люди пользовались с самого начала поселений на крутых берегах крупных рек. К овражно-балочным системам приурочены и скотопрогонные тропы.

В городах овражно-балочные системы можно использовать как рекреационные зоны. В г. Рязани крупная балочная система превращена в парк. В г. Брянске центр города является бассейном двух овражно-балочных систем – Верхний и Нижний Судки, которым в настоящее время присвоен статус «Природного заповедника». Конуса выноса из овражно-балочных систем представляют наиболее удобные для расположения пляжей участки береговой зоны рек и водохранилищ.

В нижних звеньях ЭРС – русловых подсистемах, причины и последствия антропогенного вмешательства также являются далеко неоднозначными. Реки и их ресурсы всегда использовались человеком, подвергаясь искусственным изменениям. Руслу малых рек углублялись еще в XIV-XVI веках, расчищались от завалов, спрямлялись. Для работы мельниц возводились плотины, возникали пруды. Относительно крупные водохранилища создавались около железодельных заводов на Урале и в ряде других мест. Начиная с XVII века (а в Европе еще раньше), строились судоходные каналы, соединяющие в основном, верховья рек разных бассейнов.

При таком вмешательстве экологическое состояние речных русел не ухудшалось, а нередко и улучшалось именно в результате образования природно-антропогенных русловых систем. Так, мельничные пруды регулировали сток таким образом, что весной воды половодья свободно пропускались вниз по рекам, промывая русла от накопившихся в них в меженный период наносов, и обводняя пойменные земли – лучшие для производства кормов и овощных культур. На спаде половодья происходило наполнение

прудов, которые не затопляли пойм, но обеспечивали их обводнение из-за повышения уровня грунтовых вод. В конце лета и осенью, в период уборки урожая, мельницы начинали работать и волны попусков ниже прудов осуществляли осеннюю промывку русел. Мельницы часто строились каскадом, вследствие чего реки оставались полноводными в межень на всем своем протяжении. Это улучшало водоснабжение населения, плодородие пойменных лугов, облагораживало речную фауну. Подобную функцию выполняли и заводские водохранилища, многие из которых просуществовали более 200 лет и стали частью естественного ландшафта. Ниже мельничных и заводских прудов происходили размывы речного дна с образованием глубоких ям – омуты, которые служили местами зимовки для рыб.

Всплеск освоения и использования рек, происходивший во второй половине XIX-XX веков как в России, так и во всем мире привел к такому росту антропогенного вмешательства в жизнь речных русел, что сейчас практически не осталось рек, в той или иной мере не затронутых хозяйственной деятельностью. Безусловно, в современных природно-техногенных русловых подсистемах экологические последствия антропогенного воздействия оказываются более сложными и далеко не всегда такими благоприятными, как это было в период освоения малых рек.

Водоохранилища, помимо того, что выполняют в составе ГЭС положительную функцию по водообеспечению населения и промышленности, выработке относительно дешевой и экологически «чистой» электроэнергии, сопровождаются появлением ряда других позитивных последствий: снижением высоких половодий (паводков), и повышением меженной водности рек. В результате, на зарегулированных водохранилищами реках снижается опасность наводнений, достигаются устойчивое водоснабжение и работа речного транспорта, нивелируются отрицательные последствия засух. Кроме того, водохранилища в современных ЭЭС выполняют функцию своеобразных фильтров для загрязненных речных вод и наносов: вода, проходя через водохранилище, очищается, а загрязняющие вещества вместе с наносами захораниваются на дне водохранилищ, выпадая из массопереноса.

Вместе с тем, с водохранилищами связаны многие экологически неблагоприятные явления: затопление больших площадей пойм и низких террас; возникновение зон осушки и переменного подпора в верхней части водохранилищ, в которых происходит цветение воды и ухудшение ее гидрхимических качеств, замена видового состава фауны и флоры глубоководья на «сорные» виды (Эдельштейн, 1998); абразия берегов водохранилищ, в результате чего разрушаются тысячи гектаров ценных прибрежных земель, уничтожаются поля; перенос населенных пунктов и коммуникаций в том числе и вследствие разрушения берегов. В нижних бьефах гидроузлов экологически неблагоприятны посадки уровней воды вследствие размывов русла. Из-за этого выходят из строя водозаборы, обсыхают причалы, происходит остепнение пойм вследствие понижения горизонта грунтовых вод.

Очевидно, со временем экологически неблагоприятные последст-

вия, вызванные заполнением водохранилищ, должны снижаться, но на протяжении многих десятилетий они сохраняются, вызывая необходимость затрат на их нейтрализацию.

Разработка в руслах и на поймах карьеров строительных материалов также обычно рассматривается как экологически неблагоприятная форма деятельности. От мест массового безвозвратного изъятия донного аллювия вверх и вниз по течению распространяются размывы русла, посадки уровней воды и понижения горизонтов грунтовых вод на поймах; все это влечет за собой ухудшение экологического состояния акваторий и прибрежных участков днищ долин. На особо крупных и глубоких карьерах уклоны водной поверхности снижаются настолько, что в местах их расположения возникают полупроточные водоемы; резко ухудшается качество воды, разрушаются аквальные экосистемы, под угрозой оказываются водоснабжение и санитарное состояние прибрежных территорий.

Однако известны случаи, когда русловые карьеры превращаются в ямы, где зимует и нерестится рыба. В городах и пригородах пойменные карьеры осваиваются как аквальные рекреационные зоны. Кроме того, альтернативой русловых карьеров могут быть карьеры стройматериалов на речных террасах, но это влечет за собой отчуждение ценных земель и сложность их рекультивации, требующей, к тому же, больших материальных затрат.

При обваловании русел достигается снижение угрозы наводнений, поймы осваиваются под овощные и фруктовые плантации, создаются условия для жилищного строительства. Вместе с тем, прекращение затопления пойм и ежегодной подпитки их свежим наилком снижает плодородие пойменных почв, ведет к их деградации. Кроме того, сосредоточение потока половодья в обвалованных руслах стимулирует их размыв, способствует разрушению самих дамб, вызывает посадку уровней воды в реках и понижение зеркала грунтовых вод (Чернов, 1984).

Развитие судоходства, рост перевозок по рекам и повышение требуемых для их обеспечения глубин связано с проведением дноуглубительных работ. При этом активно применялось как землечерпание, так и возведение выправительных сооружений, причем для этого используется грунт, извлеченный из прорезей. В результате в реках увеличивались глубины, возрастала пропускная способность русел. Это привело к решению многих социально-экономических задач, так как обеспечило надежную работу водного транспорта – важного средства сообщения между регионами, экологически самого чистого и не требующего отчуждения земель и создания искусственных коммуникаций. Кроме того, углубление русел на мелководных перекатах повышает интенсивность водообмена между плесами, способствует ускорению процессов самоочищения речных вод. Берегоукрепление или регулирование русла предотвращает разрушительные последствия размыва берегов, сохраняя пойменные луга, поля, прибрежные строения и коммуникации.

Дноуглубительные работы на реках для обеспечения судоходства – это единственное антропогенное воздействие, которое проводится в полном соответствии с естественными закономерностями руслового режима рек. По существу осуществляется управление русловыми процессами, при котором эффект воздействия обеспечивается и поддерживается работой самой реки. При подобном подходе русло практически не меняет свой естественный морфологический облик, а его углубление происходит без безвозвратного изъятия аллювия. Поэтому предпосылок для ухудшения экологической обстановки вследствие дноуглубления на реках нет. Однако, нередко случаи, когда для обеспечения нормальной работы какого-либо объекта требуется такое регулирование русла, которое идёт вразрез с естественным ходом русловых деформаций. Чаще всего это бывает при обеспечении подходов к речным портам и расчистке русел вплоть до разработки прорезей-каналов, у водозаборов, при защите населенных пунктов, инженерных и архитектурно-исторических сооружений от размыва (Иванов и др., 1996).

Часто упоминаемое в критических выступлениях повышение мутности воды при землечерпании, распространяется на короткие участки, не превышающие первых сотен метров ниже земснаряда в виде узкого шлейфа, отмечается только во время производства работ, т.е. в течение нескольких дней, и не превышает естественного увеличения мутности во время половодий и паводков или при размыве берегов (Дегтярев, Тоняев, 1982). Ширина прорезей несоизмеримо мала с шириной русел, и чем крупнее река, тем эта несоизмеримость больше. Лишь при выполнении работ по коренному выправлению русел производство их растягивается на более продолжительный период, увеличивается ширина прорезей; однако последующий эффект (в том числе экологический), оправдывает временные нарушения условий обитания водной биоты. После выполнения таких работ повышаются устойчивость и глубина русел, возрастает их пропускная и самоочищающая способность, ликвидируется опасность исчезновения нерестилищ или зимовальных ям вследствие естественных переформирований русла.

Таким образом, антропогенное воздействие на русловое звено ЭРС было не только отрицательным; оно оказывало положительное влияние на экологическое состояние русел, причем последнее уравновешивало отрицательное и позволяло русловому звену функционировать в режиме (если река не превращалась в водохранилище), достаточно удаленном от критического, после которого в системе наступают необратимые изменения. На многих реках относительно приемлемое экологическое состояние поддерживалось во многом благодаря дноуглубительным работам, а природно-техногенные русловые системы оказались весьма устойчивыми, оказывая благоприятное влияние на все речные экосистемы.

Начиная с 1992 г. дноуглубление на судоходных реках России было прекращено или резко сокращено. Это привело к нарушению сложившегося равновесия между природными и антропогенными факторами. С одной стороны, вследствие обмеления перекатов сократился водообмен между плеса-

ми, что ухудшило качество воды в реках, участились заморы рыбы в зимний период (Чалов, Чернов, 1991). С другой стороны, стали проявляться тенденции «возвращения» русел рек в естественное состояние. Однако полного восстановления вида и интенсивности русловых деформаций, свойственных "дотехногенному" периоду (начало XX века), не произошло – слишком сильным оказалось влияние антропогенного фактора, действовавшего десятилетиями и использующего естественные механизмы русловых процессов для стабилизации русел. Однако на этом фоне одни участки рек, на которых сказывалось стабилизирующее влияние естественных гидравлических предпосылок, сохраняются устойчивыми, (например, при использовании правил «ведущего берега» или «восьмерки» в сопряженных разветвлениях при выправлении русел), на других переформирования ускорились и обострились. Снижение глубины, обмеление перекатов и перекатных участков при прекращении дноуглубления имело одним из следствий повышение вероятности ледовых заторов (на реках, текущих на север) и связанных с ними наводнений.

Характерно, что даже эксплуатация россыпных месторождений, в большинстве случаев негативно влияющая на пойму и русло, в некоторых случаях, особенно в зоне вечной мерзлоты, приводит к положительным последствиям: участки с повышенным дренажем на месте дражных отработок нередко зарастают лугами с высокой, по сравнению с первичной растительностью, продуктивностью или служат «экологическими коридорами», по которым в долины проникают некоторые виды животных.

Таким образом, к ухудшению экологического состояния рек приводит не только усиление антропогенной нагрузки, но и ослабление некоторых ее видов. Поэтому даже при современной экономической ситуации необходимо, в целях поддержания сложившегося равновесия в русловых природно-техногенных подсистемах, продолжать дноуглубительные работы, изменив их функции на экологические (руслоочистительные). Это же относится и к малым рекам, подвергшимся заилению как следствию эрозии почв на водосборах, а также других техногенных факторов. Восстановление заиленных рек может проводиться только с помощью механического вмешательства: искусственного восстановления речных русел с полной очисткой их от ила. Однако при этом возникает проблема утилизации ила, особенно в случае загрязнения его тяжелыми металлами, биогенами и т.д.

3.4. Внутрисистемный перенос вещества как фактор экологической напряженности

Общие положения. Физическая сущность функционирования эрозивно-русловых систем заключается в перемещении и трансформации вещества (воды с содержащимися в ней биогенными, биокосными, химическими элементами и минеральными наносами), а также энергии. За счет переноса этих природных компонентов через преобразования современных

ландшафтов, как благоприятные, так и неблагоприятные для жизни и деятельности человека, осуществляются воздействие на ЭРС и на ее экологическое состояние. Общий эффект заключается в выносе веществ за пределы суши. С речным стоком (объемом около 45 тыс. км³) в моря, океаны и крупные озера, образующие область внутреннего стока, ежегодно поступает 17 млрд. тонн минеральных частиц и 3,5 млрд. тонн растворенных веществ (Маккавеев, 1982). Некоторые из растворенных веществ являются токсичными загрязнителями для животных и человека. Но даже и минеральные частицы, нейтральные по этому признаку, при высоких концентрациях в воде снижают качество водных ресурсов и вызывают дополнительные затраты на очистку воды.

Однако весь объем стока наносов крупных рек составляет лишь первые проценты массы вещества, перемещаемого в эрозионно-склоновых, овражно-балочных и речных подсистемах. Следовательно, физический результат перераспределения вещества в пределах ЭРС (эрозия – аккумуляция) на один-два порядка выше. Поскольку к тому же преобладание одной из компонент единого эрозионно-аккумулятивного процесса зачастую локализовано в пространстве и ландшафтах, значимость внутрисистемного перераспределения вещества преобладает над экологическим эффектом общего выноса, хотя нельзя преуменьшать и значение для экологического состояния морей общего привноса загрязняющих веществ, выпадающих в них реками. В загрязнении южных морей Европейской части России и водохранилищ роль, поступающих из верхних звеньев ЭРС загрязняющих веществ особенно значима. Так, основная масса ДДТ и пестицидов попадает в северную загрязненную часть Каспия и в приустьевую часть Кубани именно с речным стоком. При этом с 1982 по 1987 гг. концентрация пестицидов в Азовском море возросла в 17 раз (Кондрин и др., 1993). Волга является мощным источником загрязнения Каспийского моря, и трудно представить его состояние, если бы не фильтры в виде водохранилищ Волжско-Камского каскада.

Понятно, что экологическая значимость подобного перераспределения прямо зависит от "экологических" свойств и функций перемещаемых веществ: перенос рекой болезнетворных бактерий или токсичных загрязнителей в общем случае трудно сравним с влиянием переноса минерального субстрата, так же как снос плодородного слоя почвы – с размывом речных берегов. В то же время оценки экологических функций и свойств отдельных компонентов стока и процессов должны быть ландшафтно и регионально конкретизированы. Так, интенсивный транспорт и аккумуляция речных наносов, поступающих при размыве берегов на реках юго-восточного Китая, являясь причиной катастрофических наводнений, непосредственно угрожают жизни миллионов людей, тогда как на Русской равнине они в основном связаны с экономическими и социальными потерями и лишь через них с экологическим состоянием ЭРС. Чем больше сток наносов на реках и весомей при этом его бассейновая составляющая, тем больше возникает регио-

нальных (в рамках ЭРС высших рангов – бассейнов крупнейших рек) и местных экологических и технико-экономических проблем. При обратном соотношении (малый сток наносов и сниженная доля бассейновой составляющей) начинают абсолютно преобладать местные задачи, которые ограничены верхними звеньями ЭРС или ЭРС нижних рангов (бассейнов малых рек).

Эрозия почв и химическое загрязнение рек. Эрозия почв как процесс – это смыв и размыв, транспорт и аккумуляция почв и грунтов поверхностными временными пластово-струйчатыми склоновыми водными потоками. В экологическом аспекте эрозия почв – природно-антропогенный процесс, преобразующий ландшафты и перераспределяющий огромные массы веществ, в том числе и загрязнителей. Эрозионный ущерб хозяйству и экологии чрезвычайно многообразен и весьма ощутим. М.Н. Заславский (1979), перечисляя более двадцати его видов, приводит оценки экономического ежегодного ущерба в США, оцениваемые 4 млрд. долларов, от выноса питательных веществ с полей и 17 млрд. долларов от загрязнения окружающей среды. Однако большинство видов ущерба, например, снижение санитарных и буферных экологических функций почв (Добровольский, Никитин, 1986), влияние на опустынивание ландшафтов и т.п., в настоящее время не поддаются не только количественной экономической, но даже и достоверной качественной оценке.

Экологические последствия современной эрозии почв (функционирования эрозионно-склоновых подсистем ЭРС) целесообразно рассматривать в двух аспектах: а) экологические эффекты перераспределения веществ на склонах, т.е. в пределах самой подсистемы; б) эрозия почв как поставщик веществ в нижние звенья ЭРС. В первом случае наиболее важным результатом функционирования является вынос питательных веществ и разрушение (преобразование) самого почвенного покрова процессами смыва и транспорта наносов при подчиненном значении аккумуляции. В целом это объясняется преобладанием в эрозионно-склоновой подсистеме процессов эрозии над аккумуляцией и, что очень важно для оценки миграции загрязняющих веществ, преимущественно рассредоточенным распределением последней на склонах.

Разрушению и смыву подвержены наиболее плодородные верхние слои почвы. Изменение морфологических и физико-химических характеристик почвенного покрова и, как следствие, образование смывтых эродированных почв отрицательно сказывается на наиболее интегральной экологической функции почвы – ее естественном плодородии. В среднем для различных генетических типов почв снижение урожайности зерновых культур на слабосмытых разностях составляет до 20%, на среднесмытых – до 30-35% и на сильносмытых – свыше 50%. Следовательно, показатели эродированности почв могут служить для оценки экологического состояния сельскохозяйственных регионов (Белоцерковский, Бушуева и др., 1993). Другой способ оценки этого состояния основан на соотношении интенсивности со-

временных процессов эрозии и допустимого (по темпам почвообразования) смыва. Мерой экологической опасности почв при этом служат затраты на противоэрозионные мероприятия, снижающие интенсивность эрозии до "допустимой":

$$Дз = (S_1K_1 + S_2K_2 + S_3K_3 + S_4K_4),$$

где S_1 -...- S_4 доля пахотных земель со смывом, превышающим допустимый в 1-2, 2-4, 4-6 и более 8 раз; K_1 -...- K_4 – показатель степени увеличения затрат на противоэрозионные мероприятия в 1, 10, 25 и 50 раз, соответственно. Принято, что экологическая ситуация считается имеющей первичные признаки кризиса, предкризисной и других стадий экологически неблагоприятных ситуаций при значениях $Дз$ равных 0,5-2, 2-6 и 6-14, соответственно (Белоцерковский, Бушуева и др., 1993). Конечно, обе эти оценки достаточно приблизительны, поскольку современная урожайность зависит, прежде всего, от количества вносимых удобрений, мелиорантов и средств защиты растений, а не от естественного плодородия. Во втором случае стоимостные оценки снижения интенсивности смыва до допустимого (при высоких темпах эрозии) должны быть подтверждены практикой.

Физически обоснованными оценками влияния эрозии почв на экологическое состояние склоновых земель и нижних звеньев ЭРС могут служить показатели сноса со склонов почвенного субстрата и содержащихся в нем основных элементов питания растений. Территориальная оценка таких показателей стала возможной благодаря появлению количественных моделей эрозии почв при снеготаянии и ливневом стоке, их модернизации, адаптации к условиям России и разработке методов картографирования интенсивности сельскохозяйственных видов эрозии (Ларионов, 1993).

На основе количественных моделей эрозии была составлена карта "Эрозионноопасные земли России" масштаба 1:1500 000, характеризующая территориальное распределение интенсивности смыва на пахотных и пастбищных склонах (Литвин, 1997). Эта карта, а также почвенные и агрохимические картографические и литературные данные, позволили охарактеризовать интенсивность и объемы сноса с пахотных склонов минерального субстрата, гумуса и основных биогенов (NPK) по административным единицам России (табл. 3.1). Общая масса ежегодно смываемого с пахотных земель минерального субстрата почв оказалась равной 566,2 млн. тонн, что более чем в два раза превышает массу взвешенных речных наносов Европы (Алексеевский, 1998). Со склоновым стоком выносятся 16 млн. тонн гумуса и почти столько же (14,5 млн. тонн) биогенов. Эти массы вполне сопоставимы с общим количеством NPK (около 5,2 млн. тонн), содержащихся в ежегодно вносимых минеральных (1,5 млн. тонн) и органических (112 млн. тонн) удобрениях (Государственный доклад..., 1996). Таким образом, учитывая отчуждение основной части вносимых с удобрениями биогенов вместе с урожаем, можно утверждать, что именно почвенно-эрозионные процессы обуславливают отрицательный баланс биогенов в пахотных почвах. Особенно трудно преодолеть экологические последствия эрозионного вы-

носа в отношении гумуса, поскольку большая часть ЕТР и Сибири уже дефицитна по гумусу, а его положительный баланс отмечается только в Северо-Западном экономическом регионе, где и интенсивность смыва почв меньше, чем в среднем для зоны дерново-подзолистых почв.

Принято считать, что большая часть веществ, выносимых с пахотных склонов, переотлагается в пределах самих эрозионно-склоновых подсистем.

Таблица 3.1. Эрозионный вынос почвенного субстрата и биогенов с пахотных склонов

Экономические Районы	Интенсивность смыва с пашни, т/га*год	Модуль смыва почвы, т/га*год	Масса смывтой почвы, тыс. т/год	Содержание в наносах валовых форм биогенов, (в числителе – тыс. тонн, в знаменателе- кг/га*год)			
				углерод	азот	фосфор	калий
Северный	6,3	0,06	8207,0	<u>95,2</u>	<u>10,7</u>	<u>9,8</u>	<u>147,7</u>
				73,0	8,2	7,5	113,6
Северо-западный	4,6	0,43	8447,1	<u>98,0</u>	<u>11,8</u>	<u>11,0</u>	<u>152,0</u>
				53,0	6,3	6,0	82,0
Волго-Вятский	8,4	2,42	63472,2	<u>1030,8</u>	<u>120,6</u>	<u>95,2</u>	<u>1206,0</u>
				136,4	16,0	12,6	159,6
Центральный	5,0	1,52	73486,9	<u>1150,8</u>	<u>132,3</u>	<u>110,2</u>	<u>1396,3</u>
				78,2	9,0	7,5	95,0
Центрально-черноземный	3,1	2,00	33874,6	<u>1394,9</u>	<u>115,2</u>	<u>67,7</u>	<u>745,2</u>
				127,7	10,5	6,2	68,2
Поволжский	2,5	1,15	62588,3	<u>1742,5</u>	<u>181,5</u>	<u>112,7</u>	<u>1314,4</u>
				70,0	7,3	4,5	53,0
Северо-Кавказский	6,5	3,00	105938,9	<u>3563,8</u>	<u>339,0</u>	<u>264,8</u>	<u>2436,6</u>
				218,6	20,8	16,8	149,5
Уральский	4,0	1,09	89012,8	<u>2839,5</u>	<u>267,0</u>	<u>186,9</u>	<u>1958,3</u>
				127,6	12,0	8,4	88,0
Западно-Сибирский	1,3	0,10	26355,0	<u>817,0</u>	<u>65,0</u>	<u>60,6</u>	<u>553,5</u>
				40,3	3,2	3,0	27,3
Восточно-Сибирский	8,1	0,43	77926,1	<u>2182,0</u>	<u>163,6</u>	<u>148,0</u>	<u>1558,5</u>
				226,8	17,0	15,4	162,0
Дальневосточный*	6,0	0,13	16931,3	<u>370,3</u>	<u>47,4</u>	<u>25,4</u>	<u>338,6</u>
				131,2	16,8	9,0	120,0
Россия	4,3	1,35	566240,2	<u>15284,5</u> 116,0	<u>1454,1</u> 11,0	<u>1092,3</u> 8,3	<u>11807,1</u> 89,7

* В Дальневосточный район вошли только Амурская область, Хабаровский и Приморский края.

Этому способствуют, прежде всего, особенности структуры агроландшафтов. В большинстве случаев так называемые "присетьевые" земли и нижние части склонов заняты естественными кормовыми угодьями, растительность которых обуславливает интенсивную аккумуляцию поступивших

сверху наносов. Значительная часть склоновых наносов переотлагается на днищах сухоходольной сети, и лишь малая доля попадает в реки. Эта доля, величина которой зависит от расчлененности рельефа, структуры гидрографической сети, соотношения талой и ливневой эрозии и т.д., обычно оценивается "коэффициентом поступления наносов (Kn)". Общий вид зависимости величины этого показателя от площади бассейна: $Kn = aF^{0,2}$ – оказался сходным для весьма контрастных в ландшафтном отношении равнин США и Европейской части России (Эрозия почв, 1984; Сидорчук, 1995) при чрезвычайной региональной изменчивости коэффициента "а", например, для бассейнов Днестра и Волги среднее значение "а" составляет 0,25, для бассейнов Днестра и Дона – 0,75.

Наличие таких зависимостей дает возможность оценить эффект перемещения наносов, и главное, загрязняющих веществ из эрозионно-склоновых подсистем в реки. Достоверность оценок почвенно-эрозионной миграции загрязняющих веществ в ЭРС, помимо адекватности оценок интенсивности эрозии и коэффициентов поступления, зависит от точности и достоверности оценок территориального распределения загрязнителей и учета их химико-физических свойств. Для большинства загрязняющих веществ – тяжелых металлов, нефтепродуктов и других веществ, поступающих из точечных или локальных источников, отмечается чрезвычайная территориальная вариабельность концентраций в почвах (Государственный доклад..., 1996). Не менее важна сила сорбции загрязняющих веществ почвой: чем они прочнее связаны с почвой, тем вероятнее ожидать их одинаковой концентрации в почвах и наносах, и тем больше отношение их концентрации в наносах и стоке воды. Представляется важным, какой фракцией минерального субстрата почвы сорбируется то или иное загрязняющее вещество и степень селекции этой фракции при транспортировке наносов в речные русла. Установлено, что большинство тяжелых металлов, а также биогены – фосфор и калий – прочно сорбируются преимущественно тонкими фракциями. Такие фракции легче транспортируются потоками, и поэтому теоретически их относительное содержание в наносах нижних звеньев ЭРС должно расти. Однако широко распространенная точка зрения о селекции наносов по гранулометрическому составу еще в процессе эрозии на пахотных склонах далеко не всегда подтверждается натурными данными (Голосов, Литвин, 1987). Возможно, что такая селекция может быть эффективной на опесчаненных почвах при ливневой эрозии.

В качестве индикатора оценки миграции в ЭРС прочно сорбируемых почвой загрязняющих веществ может служить почвенный фосфор, которому принадлежит ведущая роль в евтрофировании водоемов (Кудеярова, 1993). Его дефицит в наибольшей степени ограничивает развитие водорослей. Имеются сведения о прямой пропорциональной зависимости плотности бактерий от содержания в воде фосфора (Парфенова и др., 1993). Территориальное распределение фосфора в почвах и его геохимические свойства детально изучены агрохимиками. Установлено, что с поверхностным сто-

ком с сельскохозяйственных угодий в реки и водоемы привносится преобладающая часть общих поступлений фосфора – до 60-90% (Кудеярова, 1993; Кузнецов, 1982; Хрисанов, Осипов, 1993).

Для оценки миграции фосфора в крупных ЭРС России были использованы карты "Эрозионноопасные земли России", «Почвы СССР», данные почвенных и агрохимических исследований территориального распределения и содержания фосфора в почвах. Количество валового фосфора, вовлекаемое в поверхностный сток с продуктами эрозии, определялось на основе среднего содержания его в пахотном слое почв, составляющих основной фонд пашни конкретного региона. При этом принималось, что его содержание одинаково как в пахотном горизонте, так и в наносах (Бойченко и др., 1985; Жилко и др., 1999). Среднее содержание валового фосфора в дерново-подзолистых и светло-серых лесных почвах составляет 0,05-0,16, в серых лесных – 0,10-0,20, темно-серых лесных – 0,12-0,28, черноземах оподзоленных, выщелоченных, типичных и обыкновенных – 0,17-0,35, южных – 0,14-0,19, в каштановых почвах 0,03-0,16%. Общее количество выносимого фосфора тесно связано с распаханностью территории, поскольку поверхностный смыв с прочих угодий (лес, пастбища) на один-три порядка меньше, чем с обрабатываемых земель.

В качестве критерия приближенной оценки потенциальной опасности загрязнения водоемов фосфором использована величина его условной концентрации ($УКФ$) в мг/л, которая представляет собой отношение массы валового фосфора, содержащегося во всем объеме стока наносов, сформированного на водосборе, к среднемуголетнему речному стоку:

$$УКФ=10\cdot A\cdot S\cdot P/H;$$

где $УКФ$ – условная концентрация валового фосфора, мг/л; A – интенсивность смыва на пашне, т/га; S – доля пашни на водосборе, %; P – содержание валового фосфора в пахотном слое, %; H – среднемуголетний слой стока, мм, который определялся по карте "Среднемуголетний сток рек" (Инструкция, 1982).

Разумеется, «истинная» концентрация растворенного фосфора в водах реки будет значительно ниже $УКФ$, так как речные воды «осветлены» по сравнению со склоновыми потоками – модули стока наносов на хозяйственно освоенных территориях в подавляющем большинстве случаев (73,5%) обратно пропорциональны площади бассейна (Дедков, Мозжерин, 1996). С другой стороны, $УКФ$ не учитывает смыв удобрений, который составляет в среднем 1-5% от вносимой на поля массы (Кудеярова, 1993), а в случаях разбрасывания по снежному покрову может достигать 80%. В отдельных регионах существенно и поступление фосфора из несельскохозяйственных источников. Тем не менее, этот показатель – $УКФ$ – позволяет провести относительную оценку различных регионов по опасности почвенно-эрозионного загрязнения водоемов.

С целью дифференциации и возможностей дальнейшего географического анализа территориальной оценки опасности почвенно-эрозионного загрязнения вод в бассейнах крупных рек были выделены водосборы средних рек-притоков по принципу однородности природных условий. Всего в пределах освоенных территории выделено около 300 таких водосборов.

Расчеты показали, что *УКФ* сильно варьирует – от сотых долей до десятков мг/л. Зональные изменения слоя речного стока, ландшафтные условия, а также степень и виды сельскохозяйственного использования земель обуславливают главные особенности территориального распределения загрязнения поверхностных вод почвенно-эрозионным фосфором. В Европейской части России, где большинство из перечисленных факторов, включая типы хозяйственного освоения, имеют ярко выраженную тенденцию широтной зональности, аналогичной тенденцией, с заметным аazonальным влиянием геоморфологического фактора, характеризуется и распределение *УКФ* (табл. 3.2). При этом поверхностные воды, формирующиеся на водосборах лесостепной и степной зон, отличаются наиболее высокими значениями *УКФ*, а водоемы и русла рек – большей опасностью евтрофирования и зарастания. Это обусловлено, главным образом, высокой степенью распаханности и более низкими величинами среднегодового слоя стока воды по сравнению с лесной зоной. На расчлененных возвышенностях всех зон опасность загрязнения водоемов возрастает, так как здесь увеличивается интенсивность эрозии и возможность доставки склоновых наносов в водоемы.

Таблица 3.2. Эрозионная характеристика природных зон Европейской части России и средние *УКФ* в речном стоке

Зона-рельеф	Число водосборов	Интенсивность смыва на пашне, т/га*год	Модуль смыва с пашни, т/га*год	Годовой слой стока воды, мм	<i>УКФ</i> , мг/л
Лесная	86	6,7	2,4	225	1,4
равнинный	73	6,4	2,1	228	1,1
возвышенный	13	8,8	4,8	202	3,2
Лесостепная	37	4,6	3,2	150	4,1
равнинный	21	3,4	1,8	166	2,3
возвышенный	16	6,2	5,0	126	6,6
Степная	33	3,6	3,0	57	10,2
равнинный	24	2,2	1,8	50	8,2
возвышенный	9	6,5	5,6	72	13,0

Зональные характеристики могут быть использованы для оценки потенциального загрязнения фосфором малых и отчасти средних рек. Оценка же его миграции в крупных ЭРС должна быть индивидуальна, поскольку такие системы, как правило, отличаются контрастностью внутреннего рас-

пределения природно-антропогенных факторов стока воды и наносов. Обобщенные характеристики крупных бассейнов представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3. Эрозионная характеристика бассейнов рек и среднее УКФ в речном стоке

Бассейны рек, озер	Число водосборов	Интенсивность смыва на пашне, т/га·год	Модуль смыва, т/га·год	Годовой слой стока воды, мм.	Условная концентр. фосфора, мг/л
Финский залив	2	3,0	0,3	260	0,1
оз. Ладожское	6	3,3	0,2	287	0,1
оз. Ильмень	7	5,2	1,9	246	0,9
Западная Двина	9	5,0	1,5	233	0,7
Северная Двина	5	7,8	0,9	265	0,5
Днепр	9	6,3	4,2	158	3,6
Волга	85	6,4	2,8	196	2,0
Ока	17	6,7	3,8	166	3,6
Кама	10	8,2	3,8	192	2,6
Дон	34	4,0	3,4	85	6,6
Северский Донец	4	7,5	6,3	95	11,8
Азовское море	2	5,2	4,7	30	25,4
Кубань	5	8,1	4,7	220	4,0
Терек	2	13,5	10,3	99	22,0
Кума	4	10,9	9,1	68	30,0
Урал	4	1,9	1,2	72	2,7
Обь	39	2,6	1,0	126	1,9
Иртыш	12	0,4	0,1	40	0,5
Озера Барабинской и Кулундинской степей	6	0,6	0,4	15	3,4
Енисей	16	6,6	1,9	117	3,2
Лена	3	18,2	2,8	126	4,0
оз. Байкал	3	15,8	3,2	43	6,0
Амур	10	11,5	1,7	66	3,8

Сами по себе величины концентрации фосфора в поверхностных водах не дают представления о значимости этого важного экологического фактора. Для оценки степени опасности почвенно-эрозионного загрязнения водоемов фосфором необходимо определить "экологически пороговые" значения фактической концентрации и их влияние на евтрофирование. Установлено, что при содержании растворимого фосфора в воде до 0,01 мг/л водоросли не развиваются. Цветение вод может наблюдаться при содержании фосфора 0,01-0,025 мг/л. (Кудеярова, 1993), а оптимальный рост водо-

рослей – при концентрациях 0,09-1,8 мг/л. Таким образом, за первое пороговое значение концентрации фосфора в водоемах (начало цветения воды) можно принять концентрацию равную 0,01 мг/л. Пороговые значения расчетной *УКФ* должны быть приняты гораздо более высокими, поскольку не вся смытая почва достигает водоемов и не весь фосфор, содержащийся в наносах, переходит в раствор. Считается, что на равнинных территориях в реки попадает в среднем не более 10-20% от общего объема склоновых наносов (Дедков, Мозжерин, 1984; Маккавеев, 1955). Выявлена достаточно высокая корреляция между содержанием в почве валового и минерального фосфора. В воде в растворенной форме находится приблизительно около 10% от валового фосфора (Леонов и др., 1996). Исходя из сказанного, первым экологически пороговым (по евтрофированию) значением *УКФ* можно считать 1 мг/л, а вторым (кризисным) – 20 мг/л. На территории России было выделено 5 категорий земель по степени опасности загрязнения вод почвенно-эрозионным фосфором – отсутствием ее (или очень слабой), слабой, средней, сильной и очень сильной при значениях *УКФ*: 0-1, 1-5, 5-10, 10-20 и более 20 мг/л, соответственно.

Средневзвешенная величина *УКФ* для большинства крупных рек невысокая (0 -5 мг/л), за исключением рек Северного Кавказа. Но для водосборов их притоков (ЭРС средних и малых рек) *УКФ* может сильно превышать среднебассейновые (табл. 3.3). Ежегодное поступление наносов из малых рек и их накопление в руслах и на поймах может в конечном итоге сказаться и на качестве воды крупных рек.

На Европейской территории к районам средней опасности отнесены эрозионно-русловые системы Вазузы, Упы, верховьев Оки (до г. Белева), Суры, Мокши и Сызранки (бассейн Волги), Вороны, Хопра (до г. Павловск), Чира, Иловли, Потулани, Тихой Сосны, Сала, Чардыма (бассейн Дона) и Сейма (бассейн Днепра). Сильную экологическую опасность создает эрозия почв на пахотных землях ЭРС, соответствующих бассейнам рек Псел, Оскол, Северский Донец с Айдаром, Черная Калитва, Богучар, Калитва, Егорлык (бассейн Дона), Терешка (приток Волги) и Кума (до Зеленокумска). К категории наиболее опасных отнесены эрозионно-русловые системы Северного Кавказа (Маныча, Мечетки, Калауса; Рагули, Чагроя, Мокрой Буйволы, Горькой балки, Терека), где отмечены максимальные значения *УКФ*. На равнинной территории Сибири опасность загрязнения вод почвенным фосфором, поступающим с пахотных земель, отсутствует или слабая, что обуславливается невысокой степенью распаханности и достаточно большим слоем стока воды. К категории средней опасности отнесены эрозионно-русловые системы Алея, Большой речки и Петровки (бассейн Оби), Ангары (от Усть Уды до Усоляя Сибирского) и Абакана (бассейн Енисея), Хилка и Туглуя (бассейн Селенги), Онона (бассейн Амура).

Миграция радионуклидов в верхних звеньях ЭРС. Экологические последствия перераспределения радионуклидов в ЭРС должны рассматриваться обособленно и не столько из-за специфичности самого процесса, сколько

из-за особого характера воздействия (радиоизлучение) на биологические объекты и специфичность самого вещества – способности к самораспаду. Проблема оценки перераспределения радионуклидов в ландшафтах и ЭРС в полной мере обозначилась после аварии на Чернобыльской АЭС, когда огромные площади в центре Европейской части России (55,2 тыс. км²) были загрязнены изотопами цезия. Больше всего пострадали Брянская, Тульская и Орловская области, где площади загрязнения составили 11968, 12147 и 10132 км², соответственно (Государственный доклад..., 1996), а плотность загрязнения – от 1 до 40 Ки/км². Радионуклиды практически одновременно были выброшены в атмосферу, затем распространялись воздушными потоками и выпадали на земную поверхность. Локальные максимумы концентрации связаны, в основном, с дальнейшим перераспределением изотопов, а точечные с выпадением макрочастиц продуктов горения.

Радиоактивные загрязняющие вещества, поступившие в почву после аварии на ЧАЭС – цезий-134 и цезий-137, составляют 80-90% общего выброса аварийных радионуклидов. Они относятся к химическим элементам, прочно сорбируемым почвой по типу обменно-ионного поглощения, и очень мало мигрируют в почвенном профиле. Даже в почвах с промывным типом водного режима более 90% цезия-137 вскоре после выпадения сосредотачивается в пахотном горизонте (Острова и др., 1990). Незначительно также и отчуждение цезия с урожаем, если не считать выноса вместе с почвой при уборке корнеплодов, при которой с полей (при существующей технологии) удаляется 0,5-2,0 т/га почвы (Белоцерковский, 1987). На естественных кормовых угодьях цезий-137 не проникает глубже нескольких верхних сантиметров почвы.

Эти особенности адсорбции цезия обуславливают первоначальное несоответствие плотности загрязнения и интенсивности излучения, которое на естественных кормовых угодьях и в лесополосах всегда выше, чем на пашне. Особенно относительно высока интенсивность излучения на днищах балок. На Среднерусской возвышенности в бассейне р. Плавы излучение в балках в несколько раз превышает фоновое излучение на пахотных склонах – 20 и 60-80 микрорентген, соответственно.

Благодаря разовому выпадению аварийного цезия и его сосредоточенности в пахотном горизонте при эрозии от года к году происходит постоянное снижение концентрации изотопа в склоновых наносах (рис.3.6). Это снижение обуславливается радиоактивным распадом и, в меньшей степени, подпашкой более глубоких радиоактивно "чистых" слоев почвы по мере эрозионного смыва и размыва "первичного" пахотного горизонта. Поэтому в долговременном плане экологические последствия сноса и аккумуляции одного и того же количества минерального субстрата неравнозначны – со временем в ловушки наносов и русловую сеть поступает почвенный субстрат со все меньшей и меньшей концентрацией загрязнителя. Плотность загрязнения в ареалах аккумуляции увеличивается, а интенсивность излучения на поверхности может снижаться, так как нижние более радиоак-

тивные слои погребаются новыми склоновыми наносами, а в балках также и овражными выносами, не содержащими цезия (Голосов, 1998).

В связи с этими особенностями прогноз экологических последствий перераспределения радиоактивного загрязнения в эрозионно-русловых системах должен учитывать: а) снижение концентрации на эродируемых склонах каждого конкретного изотопа в связи с естественным распадом и подпахиванием чистых слоев; б) снижение мощности излучения при погребении наносов в ловушках при росте плотности загрязнения (увеличении массы изотопов); в) особенности аккумуляции по всей территории, включая небольшие по площади ареалы на склонах, что обуславливается опасностью самого излучения; г) различия в мощности и концентрациях изотопов на пахотных землях и пастбищах, из-за чего желательна дифференцированная оценка обоих типов эрозии почв; д) селективность смыва по гранулометрическому составу наносов в связи с преимущественной сорбцией изотопов самыми тонкими фракциями почвы; е) возможность залпового выброса загрязнителя из ловушек наносов, размещенных в овражно-балочной сети (пруды и плотины), в реки и водоемы при прохождении катастрофических паводков.

Исследования эрозионной миграции радионуклидов, проведенные на Среднерусской возвышенности в бассейне р. Локны – левого притока р. Плавы (Литвин и др., 1996), включали составление карты эрозионноопасных земель масштаба 1:25000 на основе использования расчетной интенсивности смыва по методике МГУ (Ларионов, 1993), почвенно-эрозионное профилирование пахотных склонов, оценку мощности коррелятных отложений в днищах ложбин и балок. Аккумуляция склоновых отложений в балках фиксировалась с помощью шурфов и бурения мелких скважин по поперечным профилям днища. Датировка аккумулятивных толщ проводилась по содержанию радионуклидов с интервалами по глубине 5-10 см. При этом благодаря специфическому соотношению в чернобыльских выбросах изотопов цезия-137 и цезия-134, отличному от их соотношения в ранее выпавших "бомбовых" осадках, аккумулятивные толщи удалось расчленить на отложения агрикультурного периода, наносы 1954-1986 гг. и послечернобыльские отложения.

Бассейн р. Локны отличается большой густотой балочного расчленения с преобладанием радиально-сходящихся и радиально-расходящихся выпуклых и прямых склонов, что предопределяет рост интенсивности смыва сверху вниз по склону и большую транзитность наносов в их пределах. Расчетные интенсивности среднегодового смыва на нижних частях выпуклых склонов достигают 80 т/га-год, что составляет около 7 мм снесенного слоя. Суммарный эффект снижения плотности загрязнения от естественного распада и подпашки "чистых" горизонтов, обусловленных эрозией, был рассчитан для загрязнения цезием-137, период полураспада которого равен 30 годам. При расчетах принимались следующие допущения: мощность эроди-

руемого слоя и, соответственно, подпашка нижних горизонтов равна среднелетней годовой интенсивности смыва; средняя глубина вспашки – 25 см (поступлений цезия после 1986 г не было). Расчеты показали, что эрозийное снижение относительной концентрации цезия-137 достаточно существенно. При интенсивности смыва в 20 т/га-год через 30 и 50 лет происходит ее снижение (по сравнению с участками отсутствия смыва) в 1,25 и 1,5 раза, а при интенсивности эрозии в 60 т/га-год – в 2 и 3 раза, соответственно. Площади пахотных склонов с такими темпами эрозии даже для расчлененного рельефа бассейна р. Локны относительно невелики, но они непосредственно примыкают к прибалочным склонам, т.е. служат основными источниками наносов для сухоходольной сети.

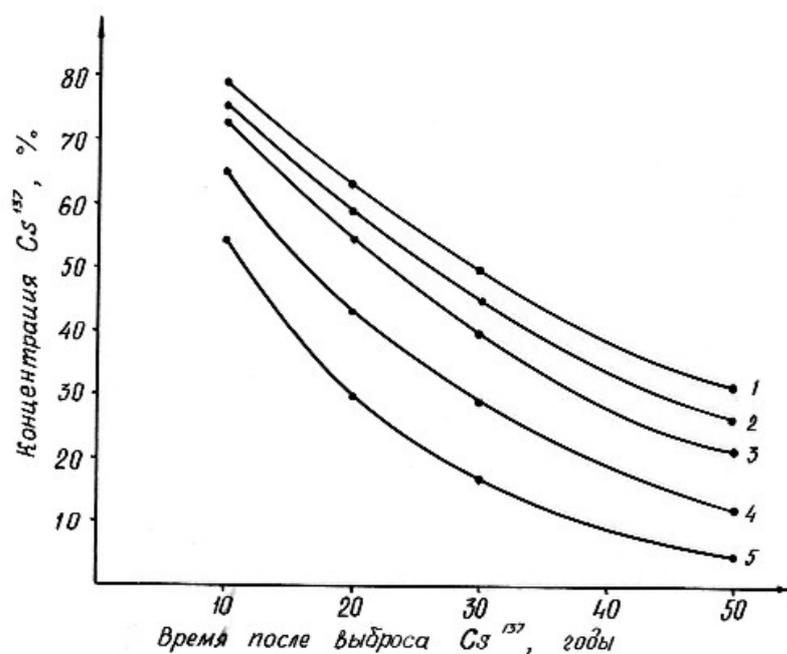


Рис. 3.6. Динамика концентрации ^{137}Cs в почве, обусловленная эрозией и естественным распадом (в % к концентрации ^{137}Cs в 1996 г.). Интенсивность смыва: 1 – 0; 2 – 10; 3 – 20; 4 – 50; 5 – 100 т/га/год.

Отложение наносов на самих пахотных склонах, в связи с их выпуклой формой, невелико, за исключением узких полос, примыкающих к напашам у нижних кромок полей. Не отмечено также активной аккумуляции и в лесополосах. На залуженных балочных склонах наносы отлагаются рассредоточено и неравномерно: более активно – в полосе ниже границы

пашни, максимально (иногда до 1-2 см/год) – в потяжинах, верховья которых начинаются на распаханной части склона.

Сосредоточенная аккумуляция приурочена к днищам ложбин и балок. В результате картирования мощностей аккумулярованных наносов и точной их датировки цезиевым методом было установлено, что современные (1986-1991 гг.) темпы накопления почвенного субстрата в лощинах и балках на севере Среднерусской возвышенности достигают 1,5-2,0 см/год. Скорость аккумуляции в ложбинно-лощинном звене (в притоках балок), как правило, снижена по сравнению с накоплением на днище самой балки. Эта закономерность имеет, вероятно, более обширный региональный характер. Анализ трансформации стока наносов на склонах и в верхних звеньях гидрографической сети, выполненный по результатам многолетних наблюдений в Курской области, показал, что резкое снижение модулей стока наносов (в 3-3,5 раза) происходит именно при переходе от ложбинно-лощинного звена к балочному (Тимофеев, Чернышев, 1994).

В исследованной эрозионно-руслевой системе четко проявляется изменение темпов и объемов аккумуляции в пределах основного ствола – балки Часовенков Верх. Верхний участок характеризуется равномерным снижением уклонов днища вниз по течению и его некоторым расширением. Темпы аккумуляции наносов послечернобыльского периода составили 1,75 см/год. В центральной части наблюдаются четкообразные расширения днища с заметным нарастанием ширины вниз по течению. Темпы аккумуляции максимальны – в среднем 2,0 см/год, местами – до 6-7 см/год. Ниже располагается участок с выраженным донным врезом, фрагментами "поймы" в его пределах и комплексом балочных террас. Склоновые наносы в донном овраге и на "пойме" перемешаны (или переслаиваются) с овражными, тогда как на балочных террасах аккумуляруются только наносы с прилегающих склонов. В целом на днище главного ствола балочной системы накопилось 38 тыс. м³ загрязненных наносов со средней концентрацией цезия-137 1800 Бк/г (беккерели/грамм).

Современная экологическая опасность оценивается по картам плотности радиоактивного загрязнения и картам интенсивности излучения. Однако для обоснованного проведения мероприятий, снижающих радиационное загрязнение, необходимо учитывать долговременные эффекты перемещения радионуклидов в ЭРС (Литвин и др., 1996). Прогнозная карта миграции радионуклидов в бассейне р. Локны (на срок 40 лет после аварии) показывает, что относительное снижение плотности загрязнения под влиянием смыва почв будет максимально на склонах, примыкающих к ложбинно-балочной сети. Здесь оно может составить в среднем до 7%. Гораздо более значителен эффект накопления наносов на пойме реки и, главное, на днищах ложбин и балок. В балках плотность загрязнения превысит первоначальную максимально в 2,5-4 раза. Это, конечно, не значит, что во столько же раз повысится мощность излучения. Скорее всего, она будет снижаться за счет погребения первичного поверхностного слоя с максимальной

концентрацией загрязнителя, который к настоящему времени уже "погрузился" на глубину 25-35 см (Голосов, 1998). Подобные темпы аккумуляции в балках отмечаются и в других регионах лесостепной и степной зон ЕТР, хотя в сельскохозяйственно освоенных балочных водосборах лесной зоны ЕТР они, по-видимому, несколько ниже (Ларионов и др., 1990).

Таким образом, натурные исследования свидетельствуют о сложной картине почвенно-эрозионной миграции и перераспределения радионуклидов в верхних звеньях ЭРС с расчлененным рельефом возвышенных равнин. Еще сильнее территориальная дифференциация миграции радиоактивных изотопов на задровых равнинах (запад Брянской области), где склоновый смыв и аккумуляция имеют преимущественно мелкоочаговый характер. Интенсивная эрозия приурочена здесь к отдельным распаханым склонам возвышенностей и речных долин в местах их пересечения. Совершенно неэрозионноопасны широкие и плоские днища ложбин ледникового стока, характерные для этой части задровой равнины. В результате мелкие ареалы почвенно-эрозионного выноса цезия разбросаны по равнинной территории. Интенсивность выноса в таких ареалах достигает 20-40 мКи/км² в год, а максимальная локальная аккумуляция – 0.2 – 0.4 Ки/км² в год (Кузнецов и др., 1995).

Наибольшие трудности представляет собой оценка доли поступления радионуклидов со склонов и из сухоходольной сети в реки, а также наблюдения за их дальнейшей «судьбой» в речных потоках. Представляется достаточно ясным, что миграция склоновых наносов и радионуклидов в реки максимальна на расчлененных возвышенностях и невелика на задровых равнинах с их широкими заболоченными ложбинами, в которых задерживается подавляющая масса наносов. Опасность загрязнения водных ресурсов и здесь представляется, однако, более высокой, чем может показаться, исходя из средних по территории скромных оценок интенсивности эрозии почв, благодаря близости интенсивно эродируемых участков к руслам основных рек.

Микробиальный сток и экологическое состояние ЭРС. Наиболее достоверная картина экологического состояния речных вод, а также потребительских качеств водных ресурсов, может быть выявлена оценкой состояния речных биоценозов и выявлением закономерностей формирования биостока в эрозионно-руслевой системе. Само понятие "биосток" сейчас трактуется неоднозначно: одни ограничивают его только органической частью стока наносов, другие в состав биостока включают как растворенные в воде биогенные элементы, так и коллоидные органические вещества. Во всяком случае, микробиальная составляющая стока является одним из ведущих звеньев биостока рек, и ее пространственно-временные изменения адекватно отражают экологическое состояние речных экосистем, давая возможность оценить степень их загрязнения и характеризуя способность водных биоценозов поддерживать гомеостаз.

В лотических экосистемах большинство химических и физико-химических реакций протекает при непосредственном участии микроорганизмов, способных минерализовать сложные органические вещества, осуществлять биодеструкцию ядохимикатов, способствовать очистке сточных вод, извлекая из них не только азот, фосфор, серу, но и ионы тяжелых металлов и радиоактивных элементов (стронция-90 и цезия-137). Благодаря полифазности речного потока и наличия в нем широкого комплекса микросред в русле рек обеспечивается существование самых разнообразных таксономически групп микроорганизмов, что дает возможность развитию в нем самых разнокачественных и иногда противоположно направленных процессов. Речной поток можно рассматривать как банк, содержащий богатейший микробный генофонд. Здесь встречаются и некоторые специфические группы, ускоряющие коррозию гидротехнических сооружений или вызывающие их разрушение при взрывах метана, скопившегося благодаря бурному развитию метанообразующих бактерий (Rozhanskaya et. al., 1989). Поэтому не следует забывать и о негативных последствиях биохимической деятельности микроорганизмов.

Даже по абсолютной величине своей биомассы микробиальная составляющая стока – значимый экологический фактор. Так, на юге лесной зоны Европейской части России (р. Протва) она достигает 0,2% стока наносов в половодье (при бактериальной плотности 6-8 млн. клеток/мл), повышаясь до 19-20% в период осенней межени (при плотности до 17 млн. кл./мл). Максимальные измеренные суточные расходы бактериального стока в половодье составляют 2,5 тонны. (Добровольская и др., 2001).

Исследования пространственно-временных распределений микробиальной составляющей речного стока и их взаимосвязей с основными гидрологическими характеристиками стока воды и наносов проводились на малых реках таяжной зоны центра ЕЧР (Протве – притоке Оки, Медвенке – притоке р. Москвы, реках Рене, Зване и Шарице, впадающих в Рыбинское водохранилище) и малых горных реках. Водосборы этих рек в слабой и средней степени затронуты хозяйственной деятельностью. Особое внимание уделялось характеру динамики численности бактериопланктона по продольному профилю рек (как функции расстояния от истоков).

Полученные результаты свидетельствуют, что как для равнинных, так и для горных рек со слабо освоенными водосборами наблюдается постепенное нарастание плотности бактериопланктона от истока к устью. На рисунке (рис. 3.7) отражена положительная корреляция между этими параметрами для ряда рек в меженный период, при заметной согласованности хода кривых и плавном нарастании плотности.

Аналогичные изменения бактериальной численности прослеживаются на этих реках и в другие сезоны, причем закономерность сохраняется независимо от методов количественного учета микроорганизмов (прямой счет люминесцентной микроскопии или посев на питательные среды). Подобное распределение бактериопланктона с равномерным увеличением

плотности по мере снижения уклонов реки при отсутствии "урбанистического эффекта" зафиксировано и для вод более крупной реки Арга в Испании (Goni-Urriza et. al., 1999). Однако в реках, в русла которых поступают промышленные и селитебные стоки с высокой концентрацией биогенных веществ и микроорганизмов, например в водах Оки и Чапаевки (Приволжская возвышенность), отмечаются заметные подъемы и спады плотности микроорганизмов. Какие-либо закономерности в распределение плотности по продольному профилю потока в таких случаях отсутствуют (Терехова, Семенова, 1997). При исследовании бактериопланктона вод р. Лены в среднем течении на участке Якутск – Покровск был установлен резкий скачок численности гетеротрофных бактерий в районе г. Якутска. В 20 км выше города Якутска в местах удаленных от населенных пунктов в водном потоке насчитывалось 10-11 тысяч колониальных единиц (КОЕ) в мл, тогда как в черте города число их возрастало до 780-940 тыс. КОЕ/мл. Резкое нарастание биомассы бактерий в районе города отмечалось и для донных аллювиальных отложений, представленных кварцевыми песками, – 2400 тыс. КОЕ/г, в то время как на "чистых" участках выше города оно не превышало 700-800 тыс. КОЕ/г. Очевидно, что такие существенные различия связаны с поступлением городских и промышленных сточных вод, содержащих значительные количества органических веществ и взвесей, способствующих активизации жизнедеятельности микроорганизмов. Подобных резких скачков на всем остальном участке среднего течения Лены (протяженностью свыше 100 км) нигде не наблюдалось.

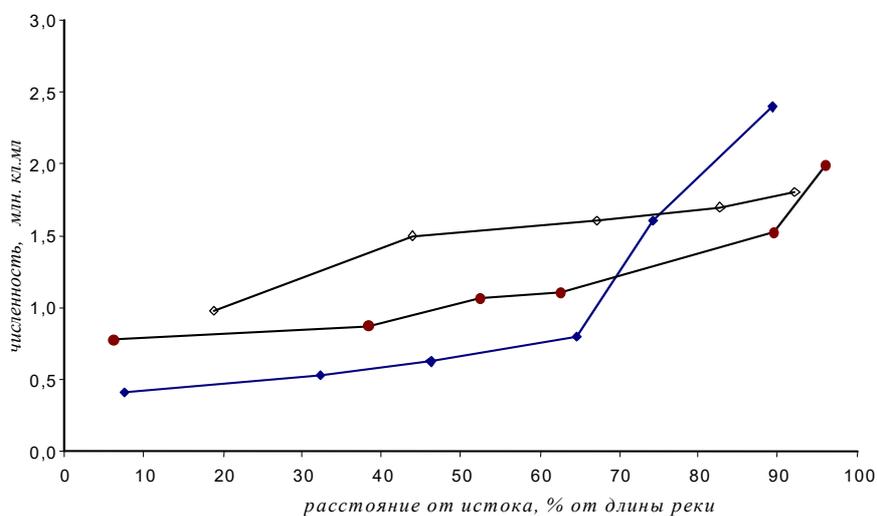


Рис. 3.7. Динамика численности бактериопланктона по продольному профилю реки (1 – р. Реня; 2 – р. Звана; 3 – р. Шарица).

Таким образом, по характеру пространственной динамики численности бактериопланктона исследованные малые реки таежной зоны Европейской части России можно отнести к водотокам с ненарушенным естественным режимом микробиального стока, а по их обилию – к рекам со средней плотностью микроорганизмов. То есть по комплексу двух показателей эти реки относятся к экологически безопасным.

Главной особенностью бактериального стока малых рек является его тесная связь с ландшафтами водосборов и перемещением вещества в верхних звеньях эрозионно-русловых систем. Эта связь сказывается, прежде всего, в формировании структуры микробиоты речного потока, представленной как аборигенным микронаселением, присущим данному потоку, так и привнесенным с водосборной площади аллохтонным. Доля аллохтонной микрофлоры представляется достаточно существенной, особенно в период половодья, когда на большей части территории России формируются основные объемы стока воды и наносов. Наглядным подтверждением является соотношение плотности микроорганизмов в период зимней межени и в половодье. Несмотря на небольшую разницу в температуре воды зимой и при прохождении пика половодья, плотность бактериопланктона в последнем случае заметно увеличивается (на р. Протве в несколько раз). Данные, полученные при ультразвуковой обработке проб воды, свидетельствуют, что при большой мутности речных вод значительная доля бактериальных клеток (приблизительно 45-60% всех учтенных) адгезирована тонкими частицами взвешенных наносов. Бассейновая же составляющая взвешенных наносов рек Русской равнины достигает 26-60% в лесной зоне и 80-90% в лесостепной и степной зонах (Алексеевский, 1998).

Миграционное происхождение значительной части бактериопланктона подтверждается внутрисезонной положительной корреляцией между мутностью (концентрацией взвешенных наносов) и численностью бактерий, особенно четко проявляющейся в половодье и в начале летней межени (рис. 3.8). Однако внутригодовые максимумы мутности и плотности бактериопланктона могут не совпадать. Пик плотности приходится и на осеннюю межень, что связано с обильным поступлением в речные воды наземного растительного опада и отмиранием фитопланктона, служащих питательным субстратом для микроорганизмов. Внутрисезонные зависимости численности бактериопланктона от мутности могут быть использованы для приближенного расчета бактериального стока с использованием гидрографа стока воды и временных кривых хода мутности.

Генезис бассейновых составляющих стока речных вод и наносов принципиально ясен – "чтобы существовала река, в ее русло должны поступать дождевые, талые и грунтовые воды" (Маккавеев, 1955), несущие с собой определенное количество минеральных частиц и растворенных веществ. Для оценки микробиальной составляющей необходимо, прежде всего, определить плотность микроорганизмов в источниках различного генезиса. Между тем подобные данные единичны или отсутствуют.

Бактериальное опробование атмосферных осадков свидетельствует о значительности содержания микроорганизмов как в дождевых водах, так и в снеге, а также о зависимости их численности от степени хозяйственной освоенности территории и ландшафтной обстановки формирования снежного покрова. Бактериальная плотность в дождевых водах региона, удаленного от крупных населенных пунктов (лето 2001 г) не превышала 0,15 млн. клеток в мл, но в черте Москвы составляла 0,26 млн. кл./мл. Свежевыпавший снег в сельской местности Московского мегаполиса (бассейн р. Медвенки) содержал: на пойме 0,23, на полевом склоне – 0,28 и в смешанном лесу 0,63 млн.кл./мл, соответственно. Те же тенденции прослеживались и в удаленных от городов лесистых местностях (бассейн р. Шарицы, северо-восток Тверской области) – бактериальная плотность в снеге на пойме не превышала 0,09 млн. кл./мл, в поле – 0,15 млн. кл./мл и заметно увеличивалась в хвойном лесу – 0,83 млн. кл./мл. Повышенное содержание бактерий в снеге мегаполиса объясняется, вероятно, высокой запыленностью воздуха, а в лесах поступлением микроорганизмов с крон деревьев.

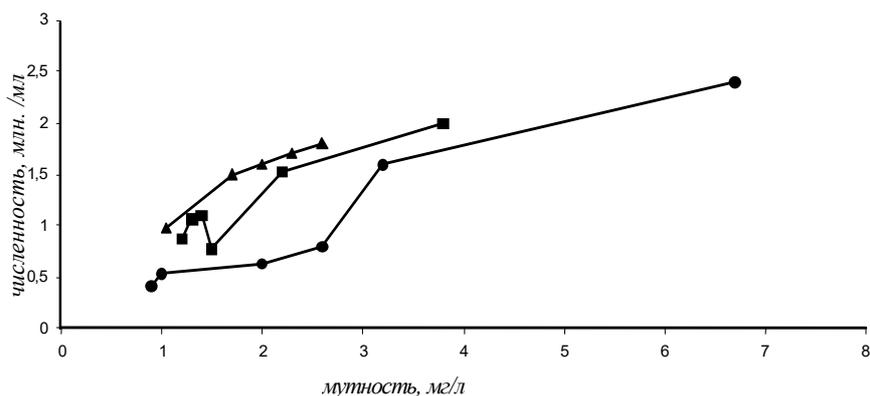


Рис. 3.8. Связь численности бактериопланктона с мутностью речных вод (1 – р. Реня; 2 – р. Звана; 3 – р. Шарица).

Атмосферные воды, просачиваясь в грунт и стекая по склонам, контактируют с почвами, содержащими огромное количество микроорганизмов – как правило, миллиарды клеток в грамме. В грунтовых водах, стекающих в русло р. Протвы по склонам и оврагам, содержание бактерий осенью и зимой составляло 0,46-0,75 млн. кл./мл, возрастая летом до 1,2-2 млн. кл./мл, тогда как в кооптированном источнике (весной) не превышало 0,17 млн. кл./мл.

Еще более обсеменены микроорганизмами поверхностные воды эрозивно-склонового и овражного звеньев ЭРС даже при слабом развитии эрозийных процессов. В результате бактериальная плотность здесь выше, чем в это же время в водах реки. Так, общая плотность в водах устья Егоро-

ва оврага на пике половодья 2001 года составила, с учетом адгезии на минеральных частицах, 5,1 млн. кл./мл, тогда как в водах р. Протвы – 4,3, а в водах р. Исьмы (приток Протвы) – 3,2 млн. кл./мл, соответственно. В связи с тем, что эрозионные процессы на склонах в этот период уже затухали (мутность не превышала 0,6 г/л), бактериальная плотность в водах, поступающих с полевой части водосбора Егорова оврага, составляла 60-90% плотности в его устье.

Таким образом, бактериальный сток в период половодья определяется поступлением аллохтонной микрофлоры с водосборной площади, тогда как в меженный период большую роль в морфологической структуре и количественном составе микробиоты играют температурный режим и поступление элементов питания непосредственно в русло реки, в том числе и биогенных веществ.

Заиление и деградация малых рек. Из всего нижнего звена эрозионно-русловых систем лишь малые реки непосредственно контактируют со склоновыми и овражно-балочными звеньями. Поэтому развитие эрозии почв и овражной эрозии является важнейшим фактором, определяющим их существование и специфику русловых процессов. Последние характеризуются особыми условиями взаимодействия потока и русла, определяемыми соизмеримостью ширины и глубины русел. Это, в свою очередь, обуславливает быструю реакцию малых рек на природные и антропогенные изменения в их бассейне. Горизонтальные деформации русел малых равнинных рек крайне замедлены по сравнению с большими (средними) реками. Скорость размыва берегов лишь на отдельных, очень коротких участках составляет 1-2 м/год; на значительном их протяжении размывы происходят только во время высоких половодий. Ручьи и реки 1-2 порядков имеют, как правило, относительно прямолинейное неразветвленное русло из-за малой величины стока руслообразующих наносов, врезанное в днище долины на 1-3 м. На остальном протяжении малые реки в условиях свободного развития русловых деформаций меандрируют, образуя крутые петлеобразные излучины, спрямляющиеся только за счет встречного размыва берегов на их крыльях. Зависимость $r_{mod} = f(Q_{cp.max})$, где r_{mod} – модальное значение радиуса кривизны свободных излучин, $Q_{cp.max}$ – среднемаксимальный расход воды, характеризуется наибольшими величинами коэффициента и показателя степени (Завадский, Чалов, 1997). Конфигурация врезанных русел малых рек чаще всего предопределена локальными препятствиями или трещиноватостью подстилающих пород.

Основными видами хозяйственной деятельности, влияющей на состояние малых рек, являются: распашка водосборов, забор воды из рек на орошение или сброс в их русла сточных и коллекторных вод, перекрытие русел плотинами для накопления весеннего стока, механическое изменение русел при их канализовании, пересечении мостами и трубопроводами, при добыче полезных ископаемых, замусоривании русел на урбанизированных, селитебных и промышленных территориях. Все они вызывают про-

странственно-временное перераспределение переноса вещества между звеньями эрозионно-русловых систем, т.е. между водосборами, поймами и руслами малых рек. Это перераспределение направлено в сторону увеличения количества материала, поступающего из эрозионных в русловые подсистемы. Наиболее заметным в этом отношении является влияние распашки водосборов. Известно, что в доагрикультурный период 80-90 % от всех взвешенных наносов в реках формировалось за счет эрозии дна и берегов русел, т.е. имело русловое происхождение. По мере увеличения пахотных площадей (возникавших в лесной зоне за счет вырубки лесов), смыв почвы и поступление его продуктов в русла рек резко увеличился и преобладать стала бассейновая составляющая стока наносов (Дедков, Мозжерин, 1996). В результате произошло нарушение равновесия между транспортирующей способностью малых рек и объемом поступления в них смытого почвенного материала с водосборов. Вместе с тем, согласно исследованиям в бассейнах верхнего Дона, в течение последнего столетия (конец XIX – конец XX вв.) большая часть малых рек не изменила своего состояния, и лишь примерно пятая часть перешла от заиленного к отмирающему (Иванова, 1995). В 60-90-е годы XX века темпы заиления малых рек снизились во всех природных зонах. Это объясняется уменьшением ввода новых пахотных площадей (в 90-е годы – их уменьшением), снижением количества смытого материала. Однако случаи обратной эволюции (улучшения состояния) и, тем более, самовосстановления малых рек не отмечены, несмотря на практически полное прекращение деградации речной сети в этом регионе.

Часть избыточного материала с водосборов стала поступать на их поймы. Накопление ила на поймах – естественный процесс, однако, при возросшем поступлении материала с водосборов происходит увеличение суммарной мощности ежегодно откладываемого ила, т.к. теперь она складывается из ила, принесенного во время половодья рекой, материала, поступившего с водосборов и склонов долин во время снеготаяния и ливней, а также дополнительного его количества, поступившего в реки. Исследования Г.П. Бутакова, С.Г. Курбановой и др. (2000) показали, что если средняя скорость илконакопления на поймах лесных малых рек (находящихся в естественных условиях) составляет 0,3-0,5 мм/год, то при распашке водосборов она увеличивается до 5-25 мм/год. На высоких поймах рек лесостепной и степной зон востока Русской равнины антропогенно обусловленный ил привел к погребению верхних горизонтов пойменных почв слоем мощностью от 30 до 80 см.

Другая часть смытого со склонов материала либо непосредственно, либо через овражно-балочную сеть стала поступать в малые реки, что вызвало необратимые изменения в морфологии русел, выразившиеся в их заилении. Этому способствовало в лесной зоне предшествовавшее распашке сведение лесов, приведшее к сокращению речного стока и его внутригодовому перераспределению (Дедков, Мозжерин, 1996).

Для оценки баланса внутрисистемного переноса вещества на границах водосборов и речных русел А.Ю. Сидорчук предложил показатель OTC – отношение транспортирующей способности малой реки к стоку наносов, поступающему с водосбора (Бутаков и др., 1996). Если обе подсистемы (водосбор-русло) находятся в равновесии, то $OTC=1$, если оно >1 , то происходит вынос наносов за пределы руслового звена ЭРС и углубление русла, при $OTC<1$ материал, поступивший в реку, оказывается избыточным, аккумулируется и приводит к заилению русел.

Заиление начинается с отложения избыточного материала в руслах возле берегов; здесь же при химическом загрязнении реки начинается зарастание русла. Со временем, процессы заиления постепенно захватывают всю площадь русла, плащеобразно перекрывая побочни и гребни перекатов и накапливаясь в плёсовых лощинах слоем ила мощностью от первых сантиметров до одного метра. При сезонных колебаниях уровней воды ил частично перераспределяется в русле, но его транзитное перемещение затрудняется из-за быстрого уплотнения.

Для развития водных растений наиболее благоприятные условия возникают сначала на перекатах; в результате русла превращаются в цепочку проточных озёр – плёсов (аналогов бочажин) и заросших перемычек – перекатов. Транспортирующая способность потока при этом резко снижается. Дальнейшее заиление и зарастание приводит к полному прекращению поверхностного стока и превращению долины малой реки в балку.

Массовому заилению ручьев и малых рек за счет поступления продуктов смыва почв, сокращение рек первых порядков в центре Русской равнины способствовало снижение количества осадков и сокращение объемов речного стока, вызванные естественными колебаниями климата (Панин и др., 1997). Об этом свидетельствует несовпадение по времени пиков освоения лесостепи (XVIII в.) и максимального отмирания (на 59%) верхних звеньев речных систем в середине – конце XIX века, когда после периода повышенного увлажнения территории наступили ксеротермические условия.

Сокращение стока малых рек приводит к деградации русел без их заиления. При этом отмечается как абсолютное сокращение стока, так и перераспределение стока по сезонам в сторону увеличения расходов весеннего половодья и сокращения меженных расходов воды. В лесостепной, степной и полупустынной зонах это вызвано отъемом стока на орошение, а также переходом части поверхностного стока в подземный. В лесной зоне причиной усыхания является сведение лесов, вызвавшее сокращение подземного стока как источника питания рек в меженный период и перераспределением стока в пользу половодий (Дедков, Мозжерин, 1996). В результате, многие бывшие лесные реки пересыхают в летние месяцы. В то же время, подобное перераспределение поверхностного стока привело к усилению эрозии почв весной в период снеготаяния и во время сильных ливней (Сафина, 1995).

Масштабы заиления русел малых рек последовательно сокращаются сверху вниз по мере увеличения их водоносности. Сопоставление картографических материалов XIX-XX веков и реального состояния речной сети бассейнов верхнего Дона и Красивой Мечи в середине 90-х годов показало полное исчезновение в результате заиления рек 1-4 порядка, в то время как протяженность рек 5-го и более высоких порядков не изменилась. Соответственно трансформировалась и структура гидрографической сети. В конце XVIII в. максимум суммарной протяженности водотоков приходился на реки 1-го порядка, через полвека он сместился на реки 3-го порядка, а к середине XX столетия – 4-го порядка.

А.Ю. Сидрочук (1996) приводит данные по малым рекам 18 бассейнов, расположенных в лесной и лесостепной зонах центра и востока Русской равнины (табл. 3.4.). Объем наносов, смытых со склонов и переотложенных на поймах и в руслах малых рек, как и их слой, сокращаются по мере роста длины реки: при увеличении длины реки на 100 км объем отложений в днище долины уменьшается на величину от 4 до 35 раз, причем резкость снижения объемов увеличивается по направлению от увлажненного запада на засушливый восток. Уменьшение опасности заиления по мере увеличения водоносности рек объясняется, во-первых, ростом транспортирующей способности потока в этом же направлении, а во-вторых, с сокращением модуля стока наносов с водосборов по мере увеличения площади последних (Ржаницын, 1985). Тем самым, по мере увеличения водоносности и снижения модуля стока наносов изменения обоих членов ОТС направлены на увеличение этого отношения.

При повышенных уклонах и достаточной водности малых рек в их верховьях обеспечивается перенос поступающего материала вниз по течению в реки более высоких порядков, имеющих большую водность, но значительно меньшие уклоны. В результате, рост водности реки не компенсирует снижение скорости потока и происходит заиление русел высоких порядков (Иванова, Ларионов, 1996).

Особенности переноса вещества на границе водосборы-русла малых рек, их заиление и деградация видоизменяются при проведении осушительных мелиораций и использовании при этом малых рек в качестве каналов. С целью увеличения пропускной способности русел, и увеличения кривизны депрессионных воронок осуществляется спрямление русел, что приводит к врезанию рек и уменьшению их уклонов. Вследствие этого в канализованных руслах остается значительная часть продуктов размыва берегов.

Кроме того, врезание русел означает снижение базиса эрозии для притоков и проводящей сети, врезание которых сопровождается увеличением поступления наносов в русло главной реки; по регулирующей и проводящей сети в русла поступает материал с осушенных полей. Все это приводит к заилению русел малых рек продуктами как бассейновой, так и вторичной русловой эрозии, ухудшению мелиоративных качеств и снижению эффективности осушительных систем (Ковальчук и др., 1996).

Таблица 3.4. Распределение наносов, поступивших со склонов в реки разных размеров за период интенсивного землепользования (300 лет) (в числителе – объём наносов на поймах и в руслах малых рек, км³; в знаменателе – мощность слоя отложений, м) (по А.Ю. Сидорчуку, 1996).

Бассейны рек	Длины рек, км			
	10-25	26-50	51-100	101-200
Днестр	<u>2,6</u>	<u>0,5</u>	<u>0,1</u>	<u>0,2</u>
	5,2	1,2	0,15	0,3
Южный Буг	<u>2,3</u>	<u>0,5</u>	<u>0,1</u>	<u>0,2</u>
	6,6	1,6	0,2	0,2
Днепр выше Припяти	<u>1,7</u>	<u>0,4</u>	<u>0,15</u>	<u>0,1</u>
	2,4	0,6	0,2	0,1
Припять	<u>1,8</u>	<u>0,4</u>	<u>0,15</u>	<u>0,1</u>
	2,4	0,6	0,2	0,1
Десна	<u>1,2</u>	<u>0,3</u>	<u>0,09</u>	<u>0,07</u>
	2,7	0,6	0,2	0,15
Днепр ниже Десны	<u>1,8</u>	<u>0,5</u>	<u>0,5</u>	<u>0,4</u>
	2,9	0,75	0,5	0,35
Дон выше Северского Донца	<u>1,05</u>	<u>0,3</u>	<u>0,25</u>	<u>0,2</u>
	1,25	0,35	0,15	0,09
Северский Донец	<u>0,85</u>	<u>0,25</u>	<u>0,2</u>	<u>0,15</u>
	2,3	0,8	0,3	0,2
Нижний Дон	<u>0,1</u>	<u>0,04</u>	<u>0,03</u>	<u>0,026</u>
	0,6	0,15	0,05	0,03
Волга выше Оки	<u>3,2</u>	<u>0,2</u>	<u>0,15</u>	<u>0,1</u>
	2,3	0,15	0,06	0,03
Ока	<u>4,2</u>	<u>0,25</u>	<u>0,15</u>	<u>0,15</u>
	3,1	0,2	0,1	0,05
Сура	<u>1,15</u>	<u>0,07</u>	<u>0,045</u>	<u>0,035</u>
	2,15	0,15	0,08	0,07
Ветлуга	<u>0,35</u>	<u>0,02</u>	<u>0,015</u>	<u>0,01</u>
	1,1	0,07	0,04	0,035
Вишера	<u>0,075</u>	<u>0,0045</u>	<u>0,003</u>	<u>0,0025</u>
	0,35	0,025	0,015	0,009
Белая	<u>0,5</u>	<u>0,03</u>	<u>0,02</u>	<u>0,015</u>
	0,5	0,035	0,02	0,015
Вятка	<u>2,3</u>	<u>0,15</u>	<u>0,09</u>	<u>0,075</u>
	2,7	0,2	0,1	0,07
Кама (без Вишеры, Белой и Вятки)	<u>2,55</u>	<u>0,15</u>	<u>0,1</u>	<u>0,08</u>
	1,85	0,1	0,07	0,045
Волга ниже Ниж.Новгорода	<u>1,8</u>	<u>0,1</u>	<u>1,07</u>	<u>0,055</u>
	1,65	0,09	0,0454	0,035

Специфические процессы протекают в руслах и на поймах малых рек в районах вырубок лесов на сложенных песком низменностях (Чернов, Киселева, 1999). Русла здесь не заиливаются, а заносятся песчаным мате-

риалом; верхние горизонты пойм опесчаниваются, чему способствует увеличение водности половодий. Это, в свою очередь, приводит к росту скорости размыва берегов рек в 2-3 раза (реки лесного Заволжья) и обмелению перекатов более чем вдвое (в нижнем течении р.Керженца за 70 лет со 120 см до 40-50 см). Однако, занесение русел малых рек песком не приводит к столь масштабному их отмиранию, как заиление. Интерпретация данных Н.Н. Ивановой и др. (1996) по рекам лесной зоны, позволяет предположить, что речная сеть сократилась в результате занесения всего на 1,5 – 2 %.

ГЛАВА 4

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭРОЗИОННО-РУСЛОВЫХ СИСТЕМ

4.1. Эколого-экономическое обоснование выделения бассейнов рек как территориальных единиц ЭРС

Оценка современного состояния эрозионно-русловых систем для создания единой концепции обеспечения их экологической безопасности при использовании водных и земельных ресурсов России с учетом мелкого масштаба работы (1:1500000) обусловила необходимость четкого поэтапного выполнения отдельных ее частей. Прежде всего следовало установить, какие бассейны рек России подлежат оценке. При этом нужно было исходить из главной причины, определяющей экологическую ситуацию в бассейне – антропогенного воздействия.

Действительно, современное состояние ЭРС обуславливается ускоренной эрозией почв (смываемая со склонов почва вместе с удобрениями и ядохомикатами попадает в реки, озера, водохранилища, что ухудшает качество воды и имеет негативные последствия для здоровья людей и состояния окружающей среды); развитием оврагов (разрушение земель, инженерных сооружений, коммуникаций); опасными, в том числе обусловленными хозяйственной деятельностью или влияющими на нее, проявлениями русловых процессов (размыв берегов и дна рек, заиление водозаборов, понижение уровней воды и пр.). Все эти процессы развиваются взаимосвязанно в цепочке звеньев «водосбор-склон-русло реки», составляющих структуру ЭРС.

Как было показано выше, в бассейне малой реки может складываться более напряженная экологическая ситуация, чем в бассейне реки, значительно превосходящей ее по величине, но с большим антропогенным воздействием. Поэтому, если исходить из антропогенного воздействия на экологическую ситуацию, то, очевидно, одним из важнейших критериев выделения бассейнов для последующей оценки экологической напряженности является само присутствие человека, то есть *плотность населения*, которая в первую очередь определяет степень использования земельных ре-

сурсов в сельскохозяйственных целях. В качестве второго критерия может быть принято *влияние промышленности*, учитываемое по группам отраслей в порядке убывания их отрицательного воздействия на водные и земельные ресурсы.

Ниже последовательно излагаются ход создания общей методики выделения речных бассейнов по величине антропогенной нагрузки для последующей оценки сложившегося состояния ЭРС. При этом за основу взяты ЭРС, соответствующие бассейнам наиболее крупных рек, самостоятельно впадающих в море.

1. Исходными для расчетов антропогенного воздействия на ЭРС приняты данные о площадях речных бассейнов (Ресурсы поверхностных вод СССР..., 1963-1973), «Экономическая карта» м-ба 1:16000000 и карта «Население» м-ба 1:16000000 из «Атласа СССР...» (1984).

2. В целях осуществления выделения речных бассейнов были использованы методы математической статистики (Гмурман, 1977). Величина R (результат) является двумерной дискретной величиной, которая зависит от порядка (ранга) P рассматриваемой реки или притока, а также от коэффициента D антропогенной нагрузки на бассейн. Ее распределение было составлено на основе следующего подхода. Как известно (Баврин, Матросов, 1989), двумерная дискретная величина может быть задана таблицей ее значений. Ее практической реализацией явилась номограмма между вышеуказанными величинами R , P и D . Аналитическое же выражение для величины R , которое соответствует построенной номограмме, имеет вид следующей формулы:

$$R = 5 - D + (D/5) + (D/7) - P, \quad (4.1)$$

где R – результат: если результат отрицательный, то рассматриваемый бассейн выделять не следует, если результат нулевой – бассейн следует выделить целиком, если положительный – следует исследовать бассейны притоков данной реки по той же методике; P – ранг данной реки или притока (главная река имеет нулевой ранг); D – коэффициент антропогенной нагрузки на бассейн, учитывающий плотность населения и влияние промышленности; квадратные скобки означают взятие целой части числа, т.е. с округлением в меньшую сторону.

Как следует из общего вида формулы (4.1), она структурно состоит из четырех компонентов: $5 - D$, $(D/5)$, $(D/7)$ и $-P$. Первый и четвертый компоненты позволяют учесть «вклад» коэффициента антропогенной нагрузки на бассейн, учитывающего, в свою очередь, плотность населения в бассейне и влияние промышленности, и «вклад» ранга исследуемой реки или притока, соответственно. Знаки параметров D и P отрицательны, что соответствует обратной зависимости между каждым из них и итоговым результатом R .

Второе и третье слагаемое представляют собой поправочные элементы (первого и второго порядка, соответственно), позволяющие оценить «вклад» совокупного коэффициента антропогенной нагрузки в определение

экологической ситуации в бассейне. Знаменатель поправочного элемента первого порядка соответствует коэффициенту из первого компонента формулы 5 – D ; знаменатель поправочного элемента второго порядка соответствует числу выделенных градаций для коэффициента D .

3. Коэффициент антропогенной нагрузки D определяется по таблице 4.1, в которой он имеет значение от 1 до 7 в зависимости от величины произведения KS , где S – средневзвешенная плотность населения по бассейну (чел./км²); K – коэффициент влияния промышленности. При этом сама величина KS представляет собой собственно антропогенную нагрузку в соответствии с принятыми показателями.

Таблица 4.1. Исходные данные для определения коэффициента антропогенной нагрузки D на бассейны рек

Категория антропогенной нагрузки на бассейн (KxS)	Коэффициент антропогенной нагрузки (D)
>200	1
100-200	2
50-100	3
25-50	4
10-25	5
1-10	6
<10	7

4. Средневзвешенная плотность населения определяется следующим образом. Бассейн разбивается на области с площадями E_i , в пределах каждой из которых средневзвешенная плотность населения принимает постоянное значение S_i . При этом следует использовать именно средневзвешенную величину, а не среднюю арифметическую, иначе будет получен неверный результат. Средневзвешенная плотность населения в бассейне определяется по формуле:

$$S = \frac{\sum S_i E_i}{\sum E_i} \quad (4.2)$$

5. Для вычисления коэффициента влияния промышленности учитываются следующие группы отраслей промышленности: 1) целлюлозно-бумажная и химическая (индекс I); 2) черная и цветная металлургия (индекс II); 3) легкая (индекс III). В границах рассматриваемого бассейна выделяются города, имеющие промышленные предприятия указанных отраслей. Для каждого из таких городов по таблице 4.2 определяется промежуточный коэффициент k , характеризующий различные сочетания этих групп отраслей.

Коэффициент влияния промышленности вычисляется по формуле:

$$K = 1/7 \times \sum k_i n_i / \sum n_i + 1, \quad (4.3)$$

где n_i – число городов в пределах данного бассейна с промежуточным коэффициентом k_i . Фактически при этом вычисляется средневзвешенное значение промежуточного коэффициента (с последующей нормировкой), что

обеспечивает достоверное среднестатистическое значение показателя развития промышленности в бассейне.

Таблица 4.2. Промежуточный коэффициент k , учитывающий сочетание в городах предприятий отраслей промышленности разных групп

Группы отраслей	Промежуточный коэффициент (k)
I, II, III	7
I, II	6
I, III	5
II, III	4
I	3
II	2
III	1

Для практического применения удобнее использовать номограмму (рис. 4.1), составленную в соответствии с формулой (4.1). Это позволяет избежать вычислений по формуле (4.1) и облегчить определение правомерности выделения бассейна данной реки (или притока соответствующего ранга) в зависимости от соотношения между средневзвешенной плотностью населения, коэффициентом влияния промышленности и рангом притока.



Рис. 4.1. Номограмма для определения условий выделения бассейнов (ЭРС) – притоков главной реки.

Порядок расчетов по номограмме следующий: 1) определяется ранг исследуемой реки или притока (главная рек имеет нулевой ранг); 2) берется столбец номограммы, соответствующий рангу реки; 3) определяется строка, которая с ним пересекается по выделенной ячейке; 4) вычисляется коэффициент влияния промышленности K по таблице 4.2 и формуле (4.3); 5) вычисляется средневзвешенная плотность населения S в бассейне реки; 6) если величина $K \times S$ попадает в диапазон, соответствующий найденной строке номограммы, то бассейн следует выделить для последующих экологических оценок; 7) если величина $K \times S$ меньше значений для данной строки, то бас-

сейн не следует выделять; 8) если величина $K \times S$ больше значений для данной строки, то нужно исследовать притоки данной реки по той же методике. Алгоритм расчетов может быть представлен в виде блок-схемы (рис. 4.2).

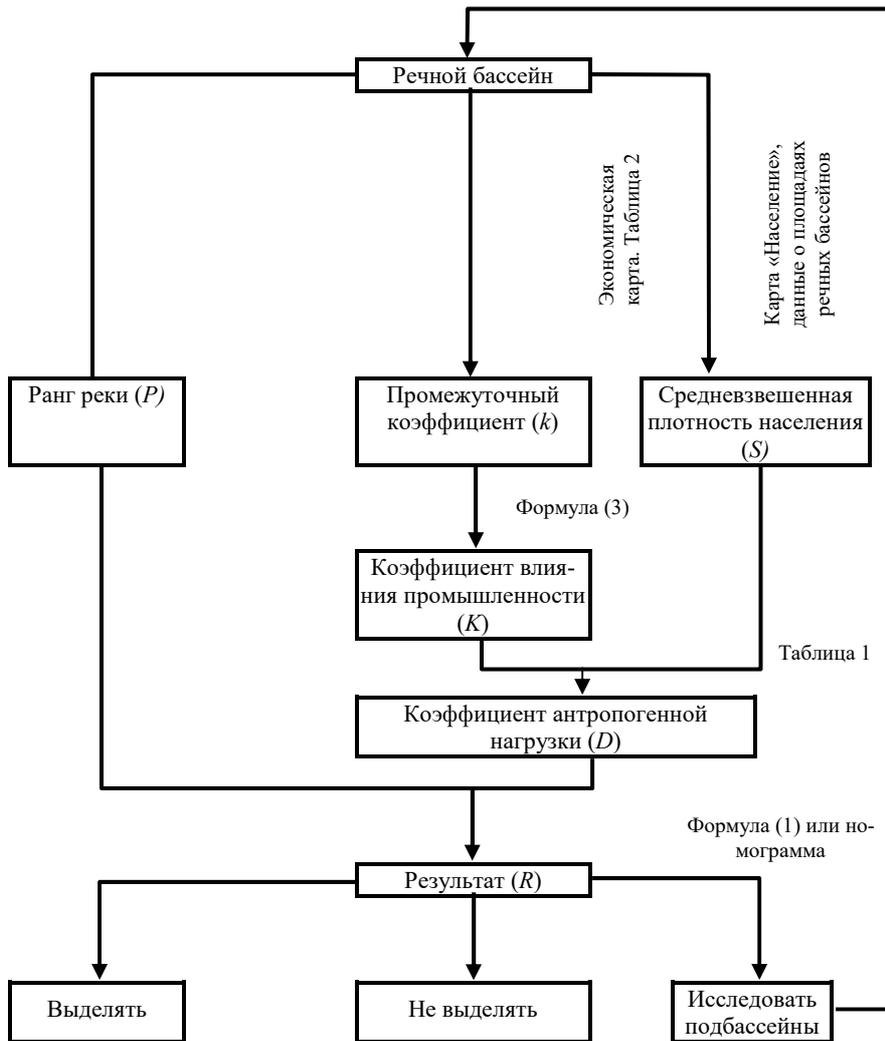


Рис. 4.2. Блок-схема выделения речных бассейнов для оценки современного состояния ЭРС

Предложенная методика основывается на традиционном гидрографическом подходе к определению ранга реки в речной системе (Маккавеев,

1955; Важнов, 1976): реки, впадающие в главную реку, называются притоками первого порядка (ранга, класса); реки, впадающие в притоки первого порядка – притоками второго порядка и т.д; при этом главная река имеет ранг 0.

Представляется, что рассмотренные методические рекомендации по выделению речных бассейнов для оценки современного состояния ЭРС могут оказаться полезными и при разработке других характеристик речных бассейнов, связанных с хозяйственной деятельностью. Для более детального исследования методика может быть усовершенствована: например, при подсчете коэффициента влияния промышленности возможен учет других ее отраслей (горнодобывающей и др.).

Результаты расчетов по выделению бассейнов рек России для оценки современного состояния эрозионно-русловых систем приведены в табл. 4.3. Они показывают, что из всех ЭРС высшего ранга (бассейнов рек, самостоятельно впадающих в море) России вследствие антропогенной нагрузки на них подлежат более дробному делению бассейны Волги, Дона, Днепра, Кубани, Терека, Кумы, Урала, а также группы ЭРС, замыкающихся на Азовском море и составляющих области внутреннего стока Барабинской и Кулундинской равнин. Соответственно, в бассейне Волги выделены для дальнейшего анализа эрозионно-русловые системы Оки и Камы, а в бассейне Дона – Северского Донца. Остальные ЭРС дальнейшему анализу антропогенной нагрузки не подвергались в основном из-за масштаба исследований, а ряд из них (Днепр, Урал) – вследствие расположения значительной их части за пределами России.

В настоящее время широкое распространение получили другие принципы составления порядковой классификации речных сетей и их бассейнов, в частности учитывающие изменение порядка река от истока по мере впадения притоков. Такова, например, схема Р. Хортон – А. Стралера, согласно которой возрастание порядка на единицу происходит при слиянии двух однопорядковых рек.

В связи с этим на основе изложенного подхода был разработан модифицированный вариант методики выделения речных бассейнов для оценки экологического состояния ЭРС, что дает возможность при проведении исследований использовать тот или другой вариант методики, который в данной ситуации будет признан предпочтительным.

Основой модифицированного варианта является формула, аналогичная формуле (4.1):

$$R=5 - D + (D/5)+(D/7) - (4P/P_0) \quad (4.4)$$

Позволяющая осуществить выделение речных бассейнов на основе схемы Р. Хортон – А. Стралера. Здесь R – результат: если результат отрицателен, то рассматриваемый бассейн выделять не следует, если результат нулевой – бассейн следует выделить целиком, если результат положителен, следует разбить бассейн на части, соответствующие бассейнам порядкообразующих притоков, а также оставшуюся часть бассейна, и исследовать по

Таблица 4.3. Характеристика бассейнов рек России

№	Бассейн	Коэффициент влияния промышленности, К	Средневзвешенная плотность сельского населения, S	K*S	Коэффициент антропогенной нагрузки на бассейн, D	Ранг реки, считая от устья, P	Результат, R
1	Части (в пределах России) Баренцева и Белого морей	1,4	3,70	5,18	6	0	0
2	Ладожского и Онежского озер (северная часть)	1,5	11,6	17,4	5	0	0
3	Балтийского моря	1,3	19,4	25,2	5	0	0
4	Онега	1,4	6,30	8,82	6	0	0
5	Северная Двина	1,5	6,30	9,45	6	0	0
6	Мезень	1,1	2,80	3,08	6	0	0
7	Печора	1,5	2,80	4,20	6	0	0
8	Волга (весь бассейн)	1,6	25,7	41,1	4	0	1
	Волга (без Камы и Оки)	1,6	23,4	37,4	4	1	0
9	Ока	1,5	44,9	67,4	3	1	1*
10	Кама	1,6	19,4	31,0	4	1	0
11	Днепр	1,3	48,6	63,2	3	0	2**
12	Дон (весь бассейн)	1,5	35,0	52,5	3	0	2
	Дон (без Сев. Донца)	1,5	32,2	48,2	4	1	0
13	Северский Донец	1,7	51,5	87,6	3	1	1*
14	Азовского моря	1,0	52,6	52,6	3	0	2*
15	Кубань	1,7	64,7	110	2	0	3*
16	Терек	1,5	25,7	38,6	4	0	1*
17	Кума	1,4	23,0	32,2	4	0	1*
18	Урал	1,5	14,5	21,7	5	0	1**
19	Надым, Пур, Таз и реки п-вов Ямал и Гыданский	1,1	0,80	0,88	7	0	0
20	Обь	1,5	4,80	7,20	6	0	0
21	Барабинской и Кулундинской равнин	1,0	11,6	11,6	5	0	1*
22	Енисей	1,4	2,50	3,50	6	0	0
23	Хатанга, Анабар, Оленек и реки п-ва Таймыр	1,0	0,60	0,60	7	0	0
24	Лена	1,5	1,30	2,00	6	0	0
25	озера Байкал	1,2	3,70	4,40	6	0	0
26	Яна	1,0	1,20	1,20	6	0	0
27	Индигирка	1,0	1,00	1,00	6	0	0
28	Колыма	1,1	1,00	1,10	6	0	0
29	Яно-Индигирской и Колымской низменностей	1,0	0,60	0,60	7	0	0
30	Чукотки, Камчатки и Охотского моря	1,2	1,00	1,20	6	0	0
31	Амур	1,4	3,80	5,30	6	0	0
32	Сахалина и востока Сихотэ-Алиня	1,3	5,40	7,00	6	0	0

* – не подлежат дальнейшему разделению из-за масштаба карты (1:15000000)

** – не подлежат дальнейшему разделению, т.к. в расчет принималась только часть бассейнов, расположенных в границах России.

той же методике; P_o – наибольший порядок притоков (считая от устья), которые могут быть выделены на карте данного масштаба; P – порядок данной реки (притока), считая от устья (величина $(4P/P_o)$ в этом случае является нормированным порядком притока); D – коэффициент антропогенной нагрузки на бассейн, определяемый, как и раньше, по таблицам 4.1 и 4.2.

Соответствующая формуле (4.4) номограмма имеет по оси ординат категории антропогенной нагрузки и по оси абсцисс – нормированный порядок притока (по Р. Хортону – А. Стралеру), что отличает ее от номограммы на рис. 4.1 при совпадении численных значений.

4.2. Методика комплексной оценки экологического состояния ЭРС и районирование территории России

Экологическое состояние эрозионно-руслowych систем определяется совокупностью определяющих его эрозионно-аккумулятивных процессов и форм их проявления в разных звеньях сети водных потоков. Оценка экологической значимости для ЭРС их отдельных компонентов производится по разным критериям, причем роль какого-либо одного фактора можно оценить в единицах измерения, показателях или характеристиках, описывающих его функционирование. Комплексная оценка экологического состояния эрозионно-руслowych систем предполагает получение обобщающего показателя, который учитывает степень влияния каждого отдельного явления или процесса. Поэтому ее наиболее целесообразно давать в баллах (Чалов, Чернов, 1993), равно как применять балльный подход к оценке экологической значимости каждого компонента, присваивая определенным диапазонам единиц их измерения соответствующий балл.

Для комплексной оценки экологического состояния ЭРС России выбрано восемь факторов, характеризующих основные неблагоприятные и опасные проявления естественных процессов, антропогенные изменения, созданные ими формы рельефа или степень искусственной трансформации природных объектов: интенсивность смыва почв, почвенно-эрозионное загрязнение поверхностных вод фосфором, густота овражной сети и плотность оврагов, заиление и деградация малых рек, размывы берегов рек, механическая измененность русел, антропогенная измененность пойм, измененность рек в районах россыпных месторождений. Для каждого из этих факторов разработана шкала перевода оценки их состояния в собственных единицах или качественных характеристиках в баллы экологической напряженности (в интервале от 1 до 5 по усилению воздействия).

Оценка факторов производилась по основным эрозионно-руслowym системам России, соответствующим бассейнам крупных рек или группам смежных бассейнов малых и средних рек, самостоятельно впадающих в моря. Отдельная оценка производилась по бассейнам рек Оки, Камы и Северского Донца, выделенных из бассейнов, соответственно, Волги и Дона по

описанной выше методике, учитывающей промышленную и сельскохозяйственную освоенность территории.

Экологическая напряженность, возникающая в ходе эрозии почв, оценивалась по интенсивности смыва почв (в т/га в год), осредненной по территории конкретного бассейна. Загрязнение поверхностных вод фосфором, как результат смыва почв (почвенно-эрозионное загрязнение) оценено в условной концентрации (мг/л) как масса фосфора в речных наносах склонового происхождения (бассейновая составляющая), отнесенная к объему поверхностного стока. Для характеристики экологической напряженности, связанной с овражной эрозией, применялись два показателя: густота овражной сети (км/км²) и плотность оврагов (ед./км²). Заиление малых рек, которое служит одним из основных факторов экологической напряженности в нижних звеньях эрозионно-русловых систем, отражается в величине сокращения протяженности речной сети, выраженной в % от исходной. Природным фактором, оказывающим большое влияние на экологическое состояние прибрежных территорий, инженерных сооружений, объектов жизнеобеспечения, являются размывы берегов рек. Они оцениваются для малых рек качественно, для средних и крупных рек – в м/год. Эти факторы экологической напряженности образуют динамическую группу, поскольку связаны непосредственно с эрозионно-аккумулятивными процессами.

Вторая группа факторов охватывает антропогенную измененность речных русел и пойм. Это, в первую очередь, механическая измененность русел рек в результате создания инженерных сооружений, проведения гидротехнических, водохозяйственных и мелиоративных работ. Она оценивается по длине механически измененных участков в % от общей длины реки. Антропогенная измененность ландшафтного облика пойм, возникающая в результате механического изменения сельскохозяйственными и мелиоративными работами или при антропогенно обусловленных проявлениях русловых процессов, оценивается качественными критериями. Такие же критерии применены для оценки измененности рек в результате разработки россыпных полезных ископаемых, в основном, на горных и полугорных реках.

Критерии и баллы экологической напряженности, присвоенные отдельным факторам, приведены в табл. 4.4. Одновременно на экспертном уровне в качестве дополнительной характеристики учитывались сведения о почвенно-эрозионном радионуклидном загрязнении верхних звеньев ЭРС и специфике микробиального стока рек как факторов экологической напряженности. Поскольку степень изученности этих факторов весьма неоднородна по разным ЭРС и даже их составным частям, а иногда на современном этапе просто недостижима (таковы, например, исследования микробиальной составляющей речного стока), они не входят пока в число определяющих экологическое состояние ЭРС. Однако в перспективе они должны быть учтены наравне с другими. Соответственно, со временем потребуются уточнение предложенных схем.

Таблица 4.4. Критерии оценки экологической напряженности

Баллы	Эрозия почв		Овражная эрозия	
	Интенсивность смыва почв, т/га в год	Почвенно-эрозионное загрязнение по- верхностных вод фосфором, мг/л	Густота овражной сети, км/км ²	Плотность оврагов, ед./км ²
1	0 – 2,5 очень слабая или отсутствует	0 – 1 очень слабая	< 0,011 очень слабая	≤ 0,011 очень слабая
2	2,5 – 5 слабая	1 – 5 слабая	0,011- 0,02 слабая	0,011 – 0,1 слабая
3	5 – 10 средняя	5 – 10 средняя	0,021 – 0,1 умеренная	0,11 – 0,5 умеренная
4	10 – 20 сильная	10 – 20 сильная	0,11 – 0,5 значительная	0,51 – 2,0 значительная
5	> 20 очень сильная	> 20 очень сильная	0,51 – 1,3 сильная	2,1 – 5,0 сильная

по факторам, их определяющим

Русловые процессы				
Заиление малых рек (сокращение протяженности речной сети, %)	Размывы берегов рек, малые реки/ крупные реки (м/год)	Механическая измененность русел рек (% от длины участка реки)	Измененность рек в районах россыпных месторождений	Антропогенная измененность пойм
< 10 слабое	неразмываемые < 1 м/год	< 10	неосвоенные месторождения, незначительные изменения	слабая
до 20 % умеренное	слабо размываемые 1-2 м/год	слабо измененные 10-25	незначительные изменения с очаговым промышленным загрязнением	средняя
до 35 % сильное	средне размываемые 2-5 м/год	средне измененные 25-50	средняя степень изменения с промышленным загрязнением	сильная
> 40 % очень сильное	сильно размываемые 5-10 м/год	сильно измененные 50-90	высокая степень изменения с промышленным загрязнением	очень сильная
> 65 % катастрофическое	очень сильно размываемые > 10 м/год	очень сильно измененные > 90	высокая степень изменения с длительной историей освоения и высокой степенью нарушения всего бассейна	механическое изменение пойм в пром. узлах и районах добычи полезных ископаемых

Для комплексной оценки территории России по экологическому состоянию эрозионно-руслowych систем, учитывающей влияние всех перечисленных факторов, применен способ суммирования оценивающих их баллов. Эта задача решалась с применением картографического метода. На карте масштаба 1: 15000000 вся территория в пределах выделенных ЭРС разбивалась на квадраты 0,5x0,5 см, что соответствует участкам местности 75x75 км. В каждом квадрате подсчитывалась сумма баллов отдельных факторов, причем считалось, что влияние всех оцениваемых факторов на общее экологическое состояние ЭРС равнозначно, т.к. каждый из них определяет состояние того или иного звена системы.

Сумма полученных баллов затем ранжировалась по пятибалльной шкале от 1 до 5. Учитывая максимальную величину суммы (40), первому интегральному баллу соответствует сумма от 1 до 8, второму – от 9 до 16, третьему – от 17 до 24, четвертому – от 25 до 32, пятому – более 32. В результате получена картограмма, отражающая оценку современного состояния территории России, связанной с естественными и антропогенными неблагоприятными и опасными проявлениями эрозионно-аккумулятивных процессов, в пределах выделенных крупных эрозионно-руслowych систем России в баллах экологической напряженности. На ее основе, используя метод изолиний, проведено районирование территории России с выделенными на ней эрозионно-руслowymi системами по степени антропогенной нагрузки на них (рис.4.3).

Затем для каждой эрозионно-русловой системы в зависимости от доли («веса») их частей, имеющих различную степень экологической напряженности, определялось среднее значение по формуле

$$\mathcal{E}N_{\text{эрс}} = \Sigma \mathcal{E}N_i * P_i / 100, \quad (4.5)$$

где $\mathcal{E}N_{\text{эрс}}$ – осредненная характеристика экологической напряженности эрозионно-русловой системы, $\mathcal{E}N_i$ – экологическая напряженность (в интегральных баллах) отдельных частей ЭРС, P_i – доля последних, в % от площади ЭРС. Таким образом, если схема районирования территории России с выделенными на ней ЭРС позволяет выявить региональные различия в пределах всех крупных ЭРС экологического состояния, определяемого естественными и антропогенными неблагоприятными и опасными проявлениями эрозионно-аккумулятивных процессов, то расчет по формуле (4.5) дает возможность дать сравнительную оценку экологической напряженности ЭРС между собой (рис. 4.4).

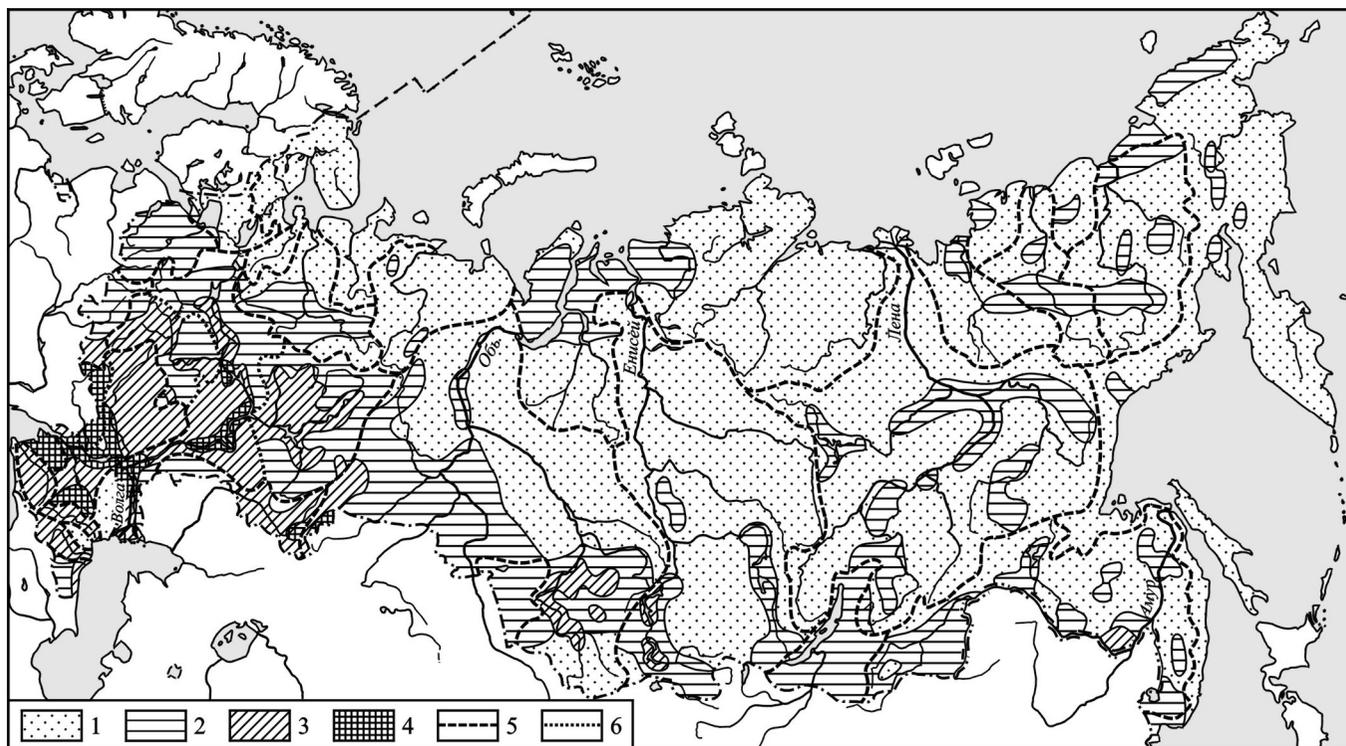


Рис. 4.3. Экологическая напряженность эрозионно-русловых систем России (в баллах): 1 – фоновая (1); 2 – слабая (2); 3 – средняя (3); 4 – высокая (4); 5 – границы бассейнов основных рек; 6 – границы бассейнов выделенных притоков

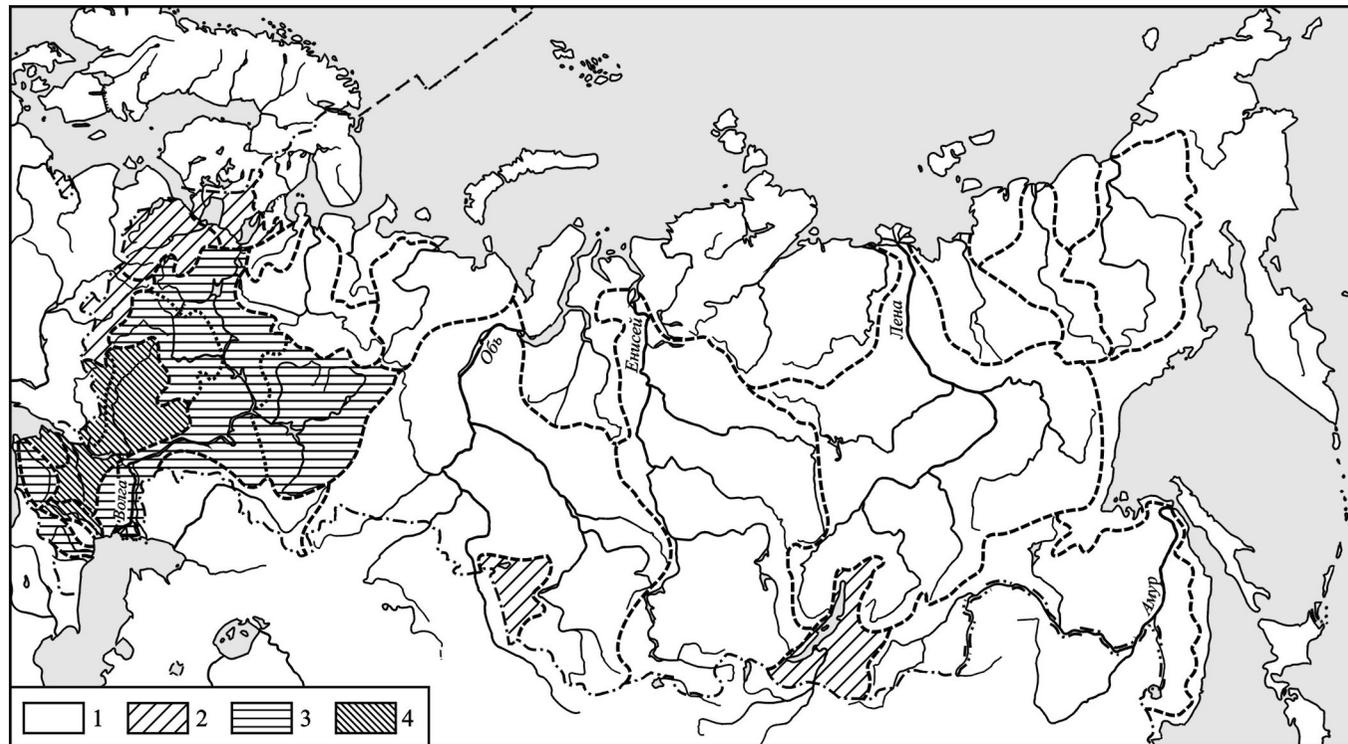


Рис. 4.4. Осредненная экологическая напряженность ЭРС России (в баллах): 1 – фоновая (1); 2 – слабая (1-2); 3 – средняя (2-3); 4 – высокая (3-4).

4.3. Характеристика экологического состояния эрозионно-русловых систем России (бассейновый подход)

На территории России не обнаружено ЭРС с максимальной экологической напряженностью, оцениваемой в 5 баллов. Наибольшая по площади территория с минимальной (или фоновой) экологической напряженностью в 1 балл охватывает ЭРС севера Европейской территории, Западной и Восточной Сибири и Дальнего Востока. Это – бассейны рек Кольского полуострова, Онеги, Мезени, Печоры, Надьма, Пура, Таза, среднего и нижнего течения Оби и Енисея, Хатанги, Анабара, Оленека, Лены, бассейны рек Чукотки и Камчатки и побережья Охотского моря. В бассейнах Яны, Индигирки, Колымы, в верховьях Лены и Алдана и некоторых других, характеризующихся минимальной экологической напряженностью, выделяются ареалы с повышенной напряженностью (2 балла), приуроченные к районам добычи россыпных месторождений полезных ископаемых, где произошли серьезные антропогенные нарушения ЭРС.

ЭРС средней части Европейской территории России, Северного Урала, юга Западной и Восточной Сибири характеризуются слабой степенью экологической напряженности (2 балла).

Наиболее острая экологическая ситуация в ЭРС (4 балла) наблюдается в бассейнах малых рек, впадающих в Азовское море, нижнего Дона, Северского Донца, Кубани, Кумы, что объясняется наиболее интенсивным использованием водных и земельных ресурсов, а, соответственно, значительным антропогенным нарушением естественных эрозионно-аккумулятивных процессов в этих бассейнах. Интересно отметить, что в бассейнах крупных рек (Волга, Ока, Кама, Дон, Урал), характеризующихся средней степенью экологической напряженности, четко прослеживается тенденция ее увеличения от периферии бассейнов к центру по основному направлению стока. Так, в бассейне Камы в верховьях реки и ее притоков экологическая напряженность оценивается в 2 балла, а к центру увеличивается до 3, в бассейне Волги она изменяется от 2-х баллов в верховьях до 4 баллов по основному руслу, где оно системы полностью преобразовано в результате создания водохранилищ.

Бассейны рек западной части Баренцева (в пределах России) и Белого морей. Территория бассейнов расположена в зоне очагового земледелия. Пашни в их пределах характеризуются высокой интенсивностью смыва благодаря слабой эрозионной устойчивости господствующих дерново-подзолистых почв. Однако доля пахотных земель здесь настолько мала (доли процента от общей площади), что эрозия почв, несмотря на расположение пашни в придолинных участках, не оказывает влияния на экологическое состояние водных объектов. С этим же связана очень слабая (или отсутствие) опасности почвенно-эрозионного загрязнения водных объектов фосфором: условная концентрация фосфора, привнесенного со стоком наносов, в поверхностных водах составляет десятые и сотые доли мг/л.

Расположение бассейнов на денудационно-грядовой равнине, сложенной трудноразмываемыми плотными глинами на скальном основании, и озерно-морской равнине, заболоченной и с обилием озер, объясняет слабое развитие овражной эрозии: густота овражной сети – менее 0,011 км/км², плотность оврагов менее 0,011 ед/км². Малые реки находятся в естественном состоянии, но могут встречаться отдельные очаги заиления их русел в пределах распахиваемых территорий.

Размывы берегов рек незначительны или отсутствуют, т.к. берега сложены валунными суглинками или скальными породами. Антропогенная измененность речных пойм невелика, как и механическое изменение русел, наблюдается только в районах разработки полезных ископаемых и на участках отвалов горнорудных предприятий. На многих реках построены низконапорные плотины с водохранилищами, местами – каскады водохранилищ (р. Кемь).

Бассейны рек Ладожского и Онежского озер. На большой территории ЭРС этого района экологическая напряженность, обусловленная эрозионной опасностью пахотных земель, низкая (1 балл), т.к. это – зона очагового земледелия, и доля пашни не превышает 1% общей площади бассейнов. Однако в южной части района, где увеличивается доля пахотных земель, экологическая напряженность возрастает до 2 баллов (ЭРС северного берега Финского залива) и до 3 баллов (ЭРС бассейна р. Свирь), где интенсивность смыва достигает 2,5-5 т/га год. Несмотря на относительно высокую интенсивность смыва, эрозия в этих бассейнах не представляет серьезной опасности для рек по фосфорному загрязнению благодаря незначительной распаханности и высоким величинам среднегодового слоя стока поверхностных вод (более 200 мм).

Овражная эрозия развита очень слабо, т.к. территория представляет собой плоскую залесенную равнину, сложенную твердыми глинистыми и суглинистыми породами.

Малые реки находятся в естественном состоянии, процессы заиления развиты очень слабо, но местами изменены благодаря низконапорным гидроузлам и каскадам небольших водохранилищ, а также лесосплавным сооружениям. Иногда пропускная способность русел уменьшена накопленными за время молевого сплава стволами деревьев. Размывы берегов на реках слабые.

Бассейны рек Балтийского моря. Экологическая напряженность, обусловленная эрозионной опасностью пахотных земель, оценивается здесь в 2 балла, а в бассейне р. Великой – 3 балла; соответственно, интенсивность смыва почв равна 0,1-2,5 т/га год и 2,5-5 т/га год. С увеличением эрозионной опасности пахотных земель возрастает опасность загрязнения поверхностных вод фосфором, хотя средний балл экологической напряженности по этому показателю в районе равен 1; в бассейнах рек Великой и Ловати выделяются ЭРС более низкого ранга, где экологическая напряженность по этому показателю равна 2 баллам.

Экологическая напряженность, обусловленная развитием овражной эрозии, для большей части территории невысокая – 2 балла; в центральной части района, в бассейнах рек Волхова и Ловати, расположенных на озерно-ледниковой, заболоченной малорасчлененной низменности, уменьшается до 1 балла.

Малые реки почти не подвержены заилению, но в пределах городов их русла и поймы механически изменены, как и на участках добычи сланцев и торфа. Русла крупных рек местами слабо изменены дноуглубительными работами, в городах – набережными и причалами. Река Волхов перекрыта плотиной крупной гидроэлектростанции, построенной в 1926 г.

Экологическая напряженность, обусловленная размывами берегов рек в этом районе в среднем составляет 2 балла, что связано с тем, что реки протекают среди позднечетвертичных морен и озерных глин и суглинков. Исключение составляют реки Калининградской области, текущие по низменности, частично сложенной морскими и древнеаллювиальными отложениями. Здесь экологическая напряженность по этому показателю возрастает до 4 баллов, что соответствует скорости размыва берегов до 7 м/год.

Бассейн р. Онега. Эрозионная опасность пахотных земель низкая – 1 балл: бассейн расположен в зоне очагового земледелия (доля пахотных земель не более 1%). Лишь в южной части бассейна (южнее оз. Лача) она возрастает до 3 баллов: здесь доля пашни возрастает до 5%, интенсивность смыва почв – до 5 т/га год. Загрязнение фосфором отсутствует или незначительно, составляя лишь десятые и сотые доли мг/л.

Экологическая напряженность, обусловленная овражной эрозией оценивается в 2 балла, т.к. бассейн представляет собой слаборасчлененную холмисто-морскую равнину, сложенную суглинистыми отложениями.

Малые реки не заилены, находятся в состоянии, близком к естественному. Механические изменения русел и пойм невелики, связаны с молевым лесосплавом, лесоразработками и, местами, добычей строительных материалов (нижнее течение Онеги).

Бассейн Северной Двины. Эрозионная опасность неоднородна по территории бассейна. В северной и восточной частях, расположенных в зоне очагового земледелия с очень низкой эрозионной опасностью пахотных земель (1 балл), доля пашни не превышает 1%. В бассейне р. Сухоны этот показатель увеличивается до 2 баллов, в бассейнах рек Ваги и Вели – до 3 баллов, что объясняется увеличением площади пахотных земель. Опасность загрязнения поверхностных вод фосфором отсутствует или очень слабая. Овражная эрозия развита слабо (2 балла).

Малые реки практически находятся в естественном состоянии, однако местами их русла изменены лесосплавом и лесоразработками. На крупных реках (Северная Двина, Вычегда, Сухона) в течение десятилетий проводились дноуглубительные работы, в том числе капитальные, в результате которых были значительно увеличены судоходные глубины; со временем объемы необходимого землечерпания сокращались из-за стабилизации

русел. Однако прекращение землечерпательных работ вызвало обмеление рек, что сказалось в усилении вероятности образования ледовых заторов, активизации переформирований русел, ухудшении судоходных условий, обмелении водозаборных сооружений и пр.

Размывы берегов на крупных реках достаточно интенсивны, особенно на Вычегде и Северной Двине, нередко представляют опасность для населенных пунктов и архитектурно-исторических памятников.

Бассейн р. Мезени. Экологическая напряженность ЭРС по всем показателям соответствует фоновым значениям (1 балл). Лишь по фактору овражной эрозии выделяется район полуострова Канин, представляющий собой расчлененную возвышенность, сложенную тяжелыми суглинками. Появлению оврагов и их развитию способствует вытаивание мерзлых пород. Экологическая напряженность, обусловленная овражной эрозией оценивается здесь в 3 балла. Однако малая площадь этого района по отношению к площади бассейна не влияет на степень экологической напряженности ЭРС в целом.

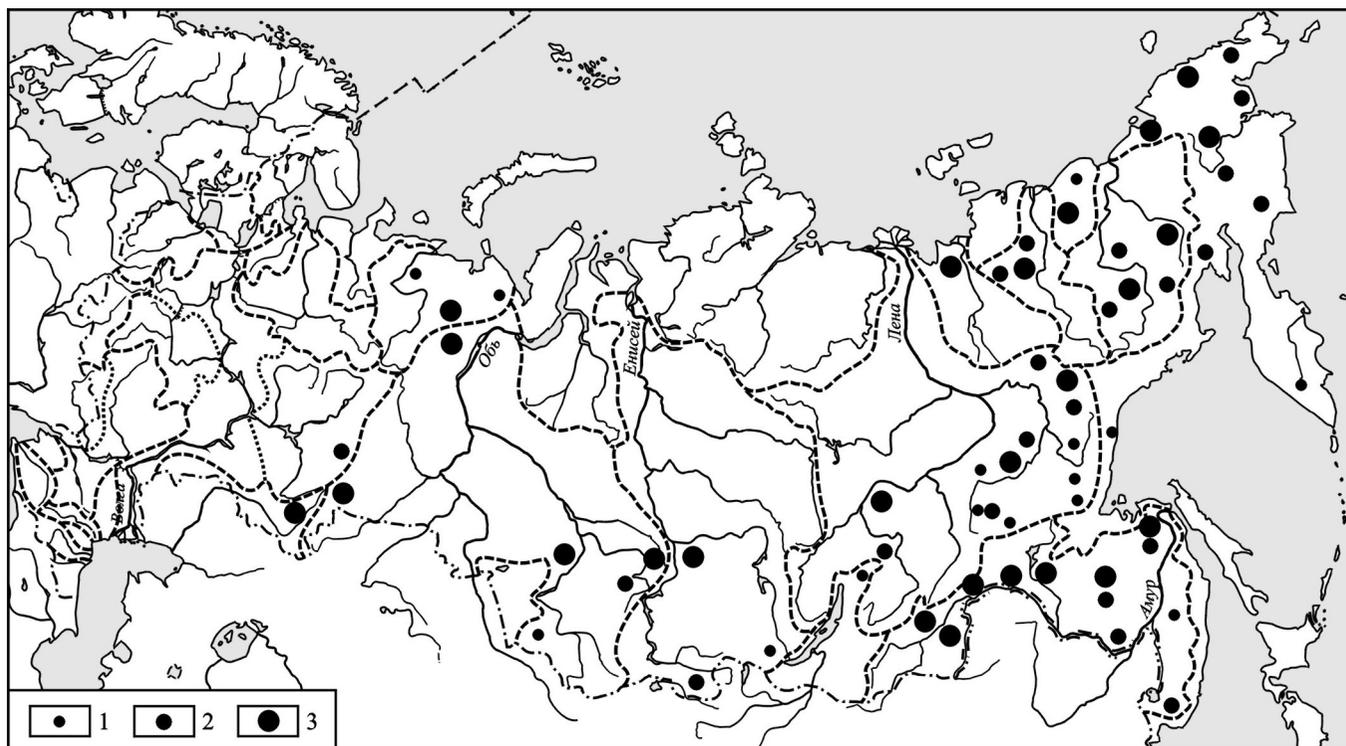
Бассейн р. Печоры. В целом экологическая напряженность ЭРС бассейна соответствует фоновой, но выявляется значительная неоднородность и неоднозначность факторов, ее определяющих. Так, эрозионная опасность пахотных земель практически отсутствует, в том числе из-за ничтожной доли пахотных земель. Интенсивность развития овражной эрозии оценивается в 2 балла в верхнем течении Печоры и верховьях левых притоков и 3 балла в среднем и нижнем течении реки в пределах Большеземельской и Малоземельской холмисто-грядовых равнин.

Большие и средние реки и их поймы практически не изменены антропогенным воздействием, незначительную роль до 1990-х гг. играли дноуглубительные работы, полностью теперь прекращенные.

Значительные скорости размыва берегов наблюдаются у рек – левых притоков Печоры в верхнем и среднем течении, протекающих по Печорской низменности. Мало подвержены размыву берега рек бассейна Усы и всех притоков нижней Печоры, врезанных в моренные отложения.

Большинство малых рек бассейна находятся в естественном состоянии. Однако на территории района выделяются ареалы с повышенной, хотя и слабой (2 балла) экологической напряженностью, где ЭРС низких рангов подвергаются воздействию добычи россыпных полезных ископаемых (рис. 4.5), лесосплава и лесоразработки, а также на участках отвалов угледобывающих предприятий, нефтепромыслов и переходов нефтепроводов.

Бассейн р. Волги. Средняя по бассейну величина интенсивности смыва почв составляет 6,4 т/га год, эрозионная опасность изменяется от 2 до 4 баллов. Однако этот показатель сильно варьирует по территории. В северной части бассейна, расположенной в лесной зоне, интенсивность смыва изменяется от 4 до 12 т/га год, в то время, как в лесостепной части бассейна она составляет от 3,7 (на равнинах) до 6,7 т/га год (на возвышенностях).



111

Рис. 4.5. Расположение основных районов обработок россыпей и уровень их трансформации. Уровень трансформации: 1 – минимальный; 2 – средний; 3 – максимальный

Наиболее высокие показатели интенсивности смыва отмечаются в бассейнах рек Казанки, Илети, Кокшенги, Суры, Свяги (4 балла). Для степной части бассейна (низовья Волги в пределах Прикаспийской низменности) характерна невысокая интенсивность смыва из-за плоского рельефа и засушливости.

Столь же сильно меняются и характеристики загрязнения поверхностных вод фосфором. Так, в среднем по бассейну условная концентрация фосфора составляет 2 мг/л, в северной части бассейна на равнинах – от десятых долей до 2,5 мг/л, на возвышенностях – 5,2 мг/л, наибольшая величина характерна для бассейна р. Вазузы. К югу концентрация фосфора увеличивается: в лесостепной части бассейна она составляет 2,1-6,5 мг/л, в степной, в связи со снижением годового слоя стока, 2,6-7,5 мг/л.

Характеристики овражности сильно меняются по территории бассейна. В верховьях бассейна (до слияния с р. Окой по правобережью и впадения р. Казанки – по левобережью) овражная эрозия слабая и умеренная (2-3 балла). Максимальное развитие овражная эрозия получила на правобережье средней Волги до Волгограда (бассейны рек Суры, Свяги, Терешки), в бассейнах р. Казанки (5 баллов) и на левобережье до устья р. Еруслана (4 балла). В пределах Прикаспийской низменности овражность отсутствует.

Малые реки в северной части бассейна (в лесной зоне) находятся в естественном состоянии. Наиболее заилены малые реки в средней части бассейна. Например, в бассейне р. Самары протяженность речной сети из-за этого сократилась с начала XIX века на 40 %. Высокая степень заиления малых рек (4 балла) характерна для левобережья бассейна ниже г. Самары и правобережья – в районе Приволжской возвышенности.

Реки бассейна верхней и средней Волги отличаются устойчивыми к размыву берегами, что определяется широким распространением морен. Скорость размыва берегов рек, протекающих в песчаных флювиогляциальных отложениях, достигает 5 м/год. Исключение составляют реки лесного Заволжья (ниже устья р. Унжи), где песчаные берега отстают в среднем со скоростью до 7 м/год и более. В нижней части бассейна берега рек размываются со скоростями около 5 м/год.

Бассейн Волги относится к регионам с достаточно сильной измененностью речных русел и пойм. Особенно это относится к правобережной части бассейна и главной реке. Волга на протяжении более 2500 км превращена в каскад водохранилищ; их строительство началось еще в 1930-е и закончено в 1970-е годы. Благодаря этому сток Волги полностью зарегулирован, в подпоре находится большинство притоков реки. Только два участка реки не затоплены водохранилищами: нижние бьефы Горьковской и Волгоградской ГЭС, где развиваются процессы размыва русла, последнее трансформируется, приспособившись к новым условиям стока воды и наносов. Часть стока Волги перебрана в бассейн Оки по каналу им. Москвы. Плотины сооружены на некоторых притоках Волги (Костроме, Шексне). Низконапорные плотины и земляные дамбы имеются на многих реках в южной

части правобережья (бассейн р. Суры), в верховьях малые реки часто превращены в каскады прудов. Благодаря большому количеству крупных городов значительная нагрузка связана с урбанизацией: намыв территорий, добыча строительных материалов (Ржев), мостовые переходы, набережные, техногенное загрязнение аллювия.

Дноуглубительные работы на реках сосредоточены в настоящее время только на незатопленных участках, причем особо заметное влияние на изменение русла они оказывают в районе г. Нижнего Новгорода.

Бассейн р. Оки. В бассейне Оки эрозионная опасность пахотных земель варьирует от высокой (4 балла) в верховьях бассейна (до устья р. Москвы), в бассейнах рек Нерли и Теши до слабой (2 балла) в средней части бассейна в бассейнах рек Пры, Гуся, Цны и Мокши. Средняя концентрация фосфора в поверхностных водах составляет 3,6 мг/л, увеличиваясь в верховьях бассейна и в бассейнах Упы и Мокши до 5,6-7 мг/л, что связано с увеличением интенсивности смыва на пашне до 7-15 т/га в год.

Овражная эрозия развита в бассейне неравномерно: от полного отсутствия в Мещерской низменности до максимальной (5 баллов) в бассейне р. Жиздры, расположенном на западных отрогах Средне-Русской возвышенности, сложенных лессовидными суглинками и относящихся к районам интенсивного и давнего сельскохозяйственного освоения.

Протяженность сети малых рек за последние 100 лет сократилась на 21,5%, хотя при этом в результате мелиоративных мероприятий появились новые водотоки; типично чередование заиленных и незаиленных рек.

Многие реки, в том числе большие, их русла и поймы, подверглись достаточно интенсивному механическому изменению. В верховьях малых рек русла перегорожены земляными дамбами с устройством прудов, плотина сооружена на р. Оке в г. Орле. В среднем течении Оки и нижнем течении р. Москвы существует каскад низконапорных гидроузлов. Сток р. Москвы зарегулирован Можайским водохранилищем, увеличен переброской воды по каналу им. Москвы из верхней Волги. Русло реки канализовано в черте города. Сильно изменено, особенно в верховьях, русло Клязьмы. В русле р. Оки в течение нескольких десятилетий разрабатывались русловые карьеры стройматериалов, наиболее сильное механическое изменение испытало русло в верхнем течении (выше устья р. Москвы), а также в районах Коломны и Рязани. Разработка карьеров привела к понижению меженных уровней на 1,0 (Калуга) – 2,0 м (Кашира).

Скорости размыва берегов рек сравнительно невелики и на крупных реках (Ока ниже Рязани) достигают 2-4 м в год. Значительному изменению подверглись поймы, они часто застроены и распаханы.

В бассейне р. Камы отмечена довольно высокая интенсивность смыва на пашне – 8,2 т/га год, но пахотные земли занимают менее 50 % территории. Максимальной интенсивностью смыва характеризуются бассейны рек Ижа, Иньвы, Обвы (5 баллов). Опасность загрязнения водотоков и водоемов фосфором слабая, в предгорных районах отсутствует. Средневзвешен-

ная концентрация фосфора в речных водах составляет 2,6 мг/л, на отдельных водосборах она изменяется от 1,4 до 4,2 мг/л.

Степень развития овражной эрозии варьирует по территории бассейна. Наиболее развита она в бассейнах рек Белой, Уфы, в нижней и средней части бассейна Вятки, в бассейне р. Чепцы (4-5 баллов). В верховьях Камы овражная эрозия развита слабо. Остальная территория характеризуется умеренным развитием овражной эрозии.

Малые реки характеризуются умеренной заиленностью, связанной с отсутствием сплошной распашки водосборов и небольшой продолжительностью периода сельскохозяйственного освоения. Однако увеличение заиленности отмечается в верховьях малых равнинных рек бассейна средней и нижней Белой и Ика (на левобережье бассейна) и Ижа (на правобережье).

В верхней части бассейна реки протекают во врезанных долинах с устойчивыми к размыву берегами. В среднем и нижнем течении рек берега размываются со скоростью до 5 м/год.

Реки верховьев бассейна практически не изменены механически (верхняя Кама, Вишера, верхняя Вятка). Главная река бассейна на протяжении более 1000 км, до впадения Вишеры, затоплена водохранилищами крупных гидроэлектростанций. Единственный участок, оставшийся свободным – нижний бьеф Воткинской ГЭС, в пределах которого с конца 1960-х гг развивается глубинная эрозия, а меженные уровни понизились более чем на 1 м. Подтоплены устья многих притоков Камы – Чусовой, Вятки, Ика, Белой. В средней и нижней частях бассейна реки изменены в большей степени. На правобережье механическому изменению, правда незначительному, подверглись русла рек Удмуртии, где сооружены плотины для создания заводских прудов, русло р. Вятки, в котором многие годы проводились дноуглубительные работы и разрабатывались русловые карьеры стройматериалов. Значительному изменению подверглось русло среднего и нижнего течения рек Белой и Уфы. На этих реках в течение десятилетий разрабатывались русловые и пойменные карьеры, проводились дноуглубительные работы, строились плотины (р. Уфа, верховья Белой). В результате разработки карьеров уровни воды понизились на р. Белой в г. Уфе на 1,7 м. Мостовые и подводные переходы, набережные (в городах), берегоукрепления дополняют механическую измененность русел. В горной части ряд рек сильно изменен в результате разработки россыпных месторождений (рис. 4.5).

Бассейн р. Днепра. Интенсивность смыва почв в российской части бассейна изменяется от 0,1 до 10 т/га год. Наибольшее значение она приобретает в бассейнах рек Псла, Ворсклы и Сейма (7-10 т/га год). В этих же бассейнах условная концентрация фосфора достигает 5-10 мг/л, в остальной части бассейна Днепра она существенно ниже.

Бассейн характеризуется активным развитием овражной эрозии. Густота оврагов составляет 0,51-1,3 км/км², плотность оврагов – 2,1-5,0 ед/км² (5 баллов). Особенно развита овражная эрозия в бассейнах рек Сожа, Псла, Сейма. В бассейне Десны она меньше (до 3-4 баллов).

В верховьях Днепра отмечается чередование незаиленных рек и рек с сильным заилением в зависимости от сочетания степени антропогенной нагрузки и природных условий. Наиболее высокой заиленностью (4 балла) характеризуются реки бассейнов Сейма и Десны, где она обусловлена сильной распаханностью, длительностью периода освоения и крутыми склонами водосборов.

Берега рек верховьев бассейна размываются сравнительно слабо, так как реки протекают среди моренных отложений, и только на отдельных участках, где они пересекают песчаные отложения, скорость размыва берегов достигает 2 м/год.

Бассейн р. Дона. Интенсивность смыва почв изменяется от 1-2 т/га в год на Окско-Донской низменности до 7-10 т/га в год в бассейне р. Воронежца, 5-10 т/га в год на Приволжской возвышенности. Условная концентрация фосфора, как следствие почвенно-эрозионного загрязнения максимальна, но сильно варьирует по территории бассейна. На равнинной части в бассейнах рек Сосны, Вороны, Медведицы, Битюга, Елани, Хопра и Иловли она составляет 3,2 мг/л. Для водосборов, расположенных на Среднерусской, Приволжской и Калачской возвышенностях концентрация фосфора возрастает до 6-9 мг/л, достигая в бассейнах рек Черной Калитвы и Быстрой 10-19,5 мг/л. Наибольшую угрозу загрязнения водоемов представляет эрозия на пахотных землях в бассейнах рек Маныча и Калауса (20-40 мг/л), где достаточно высокий уровень интенсивности смыва совпадает со снижением слоя стока поверхностных вод (менее 50 мм).

На большей части бассейна овражная эрозия развита очень сильно: густота оврагов достигает 1,3 км/км², плотность – 5 ед/км². Большинство малых рек, за исключением рек Среднерусской возвышенности, заилено. Это проявилось в наибольшем сокращении их протяженности (до 50%). Размывы берегов рек в верховьях бассейна не превышают в среднем 2 м/год, но на остальных реках достигают 5-8 м/год.

Реки бассейна довольно сильно механически изменены, местами изменения сопряжены с регулированием стока прудами (верховья малых рек) и небольшими водохранилищами (р. Воронеж). Сильно изменены русла рек бассейна Маныча. Хотя их водоносность была увеличена за счет переброски вод Кубани и Терека, сток зарегулирован водохранилищами (Чограйское, Новотроицкое), они практически полностью лишены стока в межень из-за отбора воды на орошение, русла заиляются и зарастают камышом и другой водной растительностью. В значительной степени изменено русло среднего и нижнего Дона, оказавшегося с начала 1950-х годов под влиянием Цимлянского водохранилища. В водохранилище и на участке реки до устья Хопра развивается аккумуляция наносов. Процессы размыва прошли по всему нижнему Дону в нижнем бьефе гидроузла, их результаты особенно заметны выше устья Северского Донца.

Дноуглубительные работы проводились на главных реках бассейна в течение нескольких десятилетий, в результате русло Дона, низовьев Хопра

и Воронежа стабилизировано, однако после прекращения этих работ после 1991 г. реки обмелели. Для рек бассейна, в том числе крупных, характерно закрепление растительностью подвижных форм руслового рельефа.

В бассейне Северского Донца, характеризующегося высокой экологической напряженностью всей эрозионно-русловой системы, практически все показатели достигают максимальных значений. В верховьях бассейна интенсивность смыва почв составляет 5-10 т/га год, в низовьях – 2,5-5 т/га год. Условная концентрация фосфора в поверхностных водах достигает 12,8 мг/л.

В российской части бассейна сильно развита овражная эрозия (5 баллов). Это обусловлено сильно расчлененным холмисто-грядовым рельефом, слабоустойчивыми к размыву поверхностными отложениями (лессовидные суглинки), высокой освоенностью территории.

Малые реки бассейна отличаются высокой степенью деградации (4 балла). Скорости размыва берегов достигают 2 м/год и более.

Измененность речных русел является результатом высокой освоенности территории, нередко связана с отвалами угледобывающих предприятий.

Бассейны рек Азовского моря. Интенсивность смыва почв в бассейнах рек составляет 4-5 т/га год. Концентрация фосфора в речных водах достигает вследствие этого 10-20 мг/л. В результате развития эрозионных процессов придан достаточно высокий балл – 4.

Территория, охватывающая бассейны рек, приурочена к эрозионно-аккумулятивной равнине, сложенной лессовидными суглинками, и интенсивно освоена. Овражность территории умеренная (3 балла).

Малые реки полностью заилены, зарегулированы, разобраны на орошение и спрямлены. Степень их деградации высокая (4 балла). Нередко реки превращены в каскады небольших прудов.

Бассейн р. Кубани очень разнороден по интенсивности смыва почв. Горный рельеф бассейнов левых притоков Кубани обуславливает максимальную интенсивность смыва – до 20 т/га в год (5 баллов). В низовьях реки интенсивность смыва почв снижается до минимальной и полного отсутствия эрозии в дельте. Резким снижением интенсивности смыва от среднегорной к равнинной части бассейна объясняется сравнительно низкая среднебассейновая концентрация фосфора в поверхностных водах (5-10 мг/л).

В целом часть бассейна, приуроченная к наклонной террасовой аллювиально-лессовой равнине, характеризуется умеренной овражностью (3 балла). К устью Кубани она снижается до 2 баллов.

Малые реки равнинной части бассейна заилены, зарегулированы и разобраны на орошение, пересечены мелиоративными каналами, в горной части – находятся в естественном состоянии.

В горах реки текут во врезанных долинах, их берега устойчивы к размыву, однако в предгорьях берега рек крайне неустойчивы, отступают до

10-15 м/год. В равнинной части бассейна скорости размыва берегов, в частности Кубани, не превышают 2-5 м/год.

Часть стока Кубани перебрана по Невинномысскому каналу в бассейн Дона (в р. Бол.Егорлык). Сток реки зарегулирован в нижнем течении Краснодарским водохранилищем, которое вызвало регрессивную аккумуляцию на протяжении нескольких десятков километров вверх по течению и интенсивную эрозию в нижнем бьефе плотины, где меженные уровни понизились с 1974 г более, чем на 1 м. Подпор водохранилища распространился на низовья некоторых притоков (Белой, Лабы), однако недалеко из-за больших уклонов. Русло Кубани в нижнем течении обваловано, пойма полностью превращена в систему рисовых чеков. Освоены поймы и на притоках Кубани. Сток Кубани разбирается в магистральные каналы оросительных систем, для забора воды создан Федоровский гидроузел в низовьях реки. Дноуглубительные работы не играют существенной роли в изменениях русла.

Бассейн р. Терка также разнороден по интенсивности смыва почв. В горной части бассейна и предгорьях интенсивность смыва максимальна и достигает 20 т/га в год (5 баллов). В низовьях реки в пределах низменности и в дельте смыв почв отсутствует. Высокий уровень интенсивности смыва в бассейне совпадает со снижением слоя поверхностного стока, что способствует увеличению концентрации фосфора до 22-44 мг/л (5 баллов).

В верховьях бассейна, приуроченных к отрогам Терского и Сунженского хребтов, где развиты лессовидные породы, овражная эрозия развита умеренно (3 балла). К Прикаспию она снижается до 1 балла.

Малые реки равнинной части бассейна практически прекратили существование, в горной части – не изменены.

В горах реки текут во врезанных долинах, их берега устойчивы к размыву, однако в предгорьях и на равнине отступают со скоростью до 10-15 м/год. Русло Терка в низовьях испытывает направленные деформации, аккумулируя наносы. Для ограничения блуждания русла и защиты прилегающих территорий от затопления русло реки обваловано на большом протяжении.

Притоки Терка зарегулированы небольшими водохранилищами (Баксанская ГЭС и др.), в его бассейне построено большое количество оросительных систем и каналов, использующих воды рек. В среднем течении Терка в конце 1950-х годов построен Терско-Кумский гидроузел, водохранилище которого почти полностью заилено.

В бассейне р. Кумы основные характеристики состояния эрозионно-русловых систем аналогичны бассейну Терка. Большое влияние на русло Кумы в среднем и нижнем течении оказала переброска в нее воды на орошение из бассейна Терка по Терско-Кумскому каналу, в результате чего водоносность реки возросла в несколько раз и русло подверглось размыву.

В бассейне р. Урала в пределах России преобладают площади пашни с интенсивностью смыва 0,5-1,0 т/га год (2 балла) и только в бассейне р.

Сакмары интенсивность смыва повышается до 2-3 т/га год. Так как при этом увеличивается слой поверхностного стока, условная концентрация фосфора в поверхностных водах не превышает 1-5 мг/л. В предгорных районах концентрация фосфора не превышает 1 мг/л.

Территория бассейна характеризуется значительным развитием овражной эрозии (4 балла), которая снижается в западном направлении до 3 баллов.

В горной части бассейна малые реки сохраняют естественное состояние лишь иногда отмечается слабое их заиление (бассейн р. Салмыш). Самая сильная деградация малых равнинных рек отмечена на Урало-Тобольском междуречье, что связано с очень быстрым массовым освоением, предельной распаханностью водосборов и малыми уклонами рек.

Урал и его притоки на большей части своей протяженности текут в размываемых берегах, которые отступают со скоростями до 5 м/год. Исключение составляют горные притоки верхнего Урала и верхняя Сакмара.

Верховья рек бассейна зарегулированы малыми водохранилищами, а также изменены в ходе разработки россыпных месторождений и отвалами горнорудных предприятий. На территории России известно более 80 россыпных районов. Основные районы разработки россыпных месторождений с обозначением уровня трансформации в них русловых систем показаны на схеме (рис. 4.5). Уровень трансформации русловых систем зависит, прежде всего, от длительности разработки россыпей и освоенности территории, доли площадей, испытавших отработку россыпей, в общей площади бассейна. Для рек бассейна Урала степень трансформации русел в целом незначительна, хотя месторождения здесь разрабатывались еще в начале XIX в.

Сток Урала в среднем течении зарегулирован Ириклинским водохранилищем, построенным в начале 1960-х годов.

Бассейны рек Таза, Пура, полуостровов Ямала и Гыданского. Эрозионная опасность практически отсутствует: доля пашни составляет доли процента от общей площади бассейнов. Соответственно, отсутствует и загрязнение поверхностных вод фосфором. Бассейны рек Надьма, Пура и Таза располагаются на плоской морской террасовидной равнине с обилием озер в зоне арктической тундры и вечной мерзлоты. Развитие овражной эрозии очень слабое (1 балл). На полуостровах Ямале и Гыданском овражная эрозия развита сильно и очень сильно, что обусловлено вытаиванием мерзлых пород и ступенчатым рельефом.

Берега рек, особенно крупных (Пур, Таз, Мессо-Яха), характеризуются достаточно интенсивным размывом берегов (до 10 м/год), в чем немалую роль играют термоэрозионные процессы.

Русла малых рек в местах размещения нефтегазовых месторождений и на переходах нефте- и газопроводов изменены, нарушен их рельеф и сток наносов, однако эти изменения локальны. На крупных реках проводились дноуглубительные работы, которые, однако, не достигали больших масштабов.

В бассейне р. Оби, большая часть которого расположена вне земель сельскохозяйственной зоны, средняя интенсивность смыва почв мала. Наиболее интенсивная эрозия наблюдается в верхней части бассейна Оби выше слияния с р. Томью. Максимальные величины смыва характерны для бассейнов правобережных притоков Томи, Ини, Чумыша (3-4 балла), что обусловлено расчлененным рельефом Салаирского кряжа и Кузнецкой котловины. Бассейны левобережных притоков (Алея и др.) отличаются спокойным выровненным рельефом, и величина смыва невелика (1-2 балла). Особые условия сложились в бассейнах рек Бии, Катунь и рек Горного Алтая. Пашни здесь отличаются высокой интенсивностью смыва, но доля пашни в общей площади составляет менее 1%.

Поскольку интенсивность эрозии в целом незначительна, загрязнения поверхностных вод фосфором не происходит. Лишь в степной зоне на Алтае (бассейны рек Барнаулки, Ануя, Чарыша, Песчаной, Катунь), а также на Томи, верхнем Чулыме, Берди, Ини и Оми) этот показатель достигает 2 баллов, а в бассейнах алтайских рек Алея и Большой Речки – 3 баллов.

Большая часть бассейна Оби, представляющая собой аккумулятивную равнину с уклонами менее 1°, заболоченную и залесенную, характеризуется очень слабым развитием овражной эрозии (1 балл). Интенсивное развитие овражной эрозии отмечается на берегах Оби выше Новосибирска, а также в бассейнах рек Тобола (3 балла) и Алея (4 балла), что связано с особенностями рельефа территории.

Умеренное заиление малых равнинных рек местами наблюдается на левобережье р. Иртыша выше устья р. Тобола, в верхнем течении р. Тобола, а также в равнинной части бассейна верхней Оби кроме рек правобережья Томи.

Берега рек в горах Алтая размываются только во внутриворонных котловинах. Берега Оби размываются со скоростью до 10-15 м/год, ее притоков – до 5 м/год. То же относится к Томи и ее притокам. Большая часть рек бассейна Иртыша и притоков Оби в нижнем течении течет в размываемых берегах. Они отступают со скоростью до 10 м/год на Иртыше, до 5 м/год на других крупных реках (Кети, Чулыме). Исключения составляют верховья левых притоков Иртыша и нижней Оби, протекающие в Уральских горах, где берега не размываются.

В целом по бассейну механическая измененность речных русел небольшая, но крайне неравномерная. Сток главных рек – Оби и Иртыша – зарегулирован, однако эффект регулирования сказывается по Оби до Колпашева (600 км), а по Иртышу до Омска (1500 км). Заметному изменению подверглись русла сравнительно крупных рек (Бии и Катунь в низовьях, Оби в пределах Алтайского края и Новосибирской области, Томи, Тобола, Туры). Основные виды нарушений: разработки русловых карьеров стройматериалов, в том числе для намыва городских территорий и коммуникаций, дноуглубительные работы. В результате разработки русловых карьеров

уровни воды на р. Томи понизились в г. Томске более, чем на 2 м, р. Иртыша в г. Омске – на 1,4 м. Сплошному выправлению системами грунтовых сооружений были подвергнуты русла Тобола и Туры. В верховьях рек, стекающих с Урала, русла изменены отвалами горнорудных предприятий и низконапорными плотинами, образующими заводские пруды. Часть рек трансформирована в результате разработки россыпных полезных ископаемых (рис. 4.5), степень трансформации оценивается в 2 балла.

Бассейны рек Барабинской и Кулундинской равнин характеризуются слабым развитием смыва почв (2 балла). Опасность загрязнения поверхностных вод фосфором незначительная, лишь в бассейне р. Кулунды концентрация фосфора достигает в водах 1-5 мг/л (2 балла).

Развитие овражной эрозии очень слабое из-за плоского рельефа; на Предалтайском плато (бассейн р. Кулунды) она увеличивается до умеренной (3 балла). Сочетание неблагоприятных антропогенных (высокая сельскохозяйственная освоенность) и природных (малые уклоны рек) факторов приводит к преобладанию малых рек с умеренным (3 балла) заилением. Размыв берегов рек очень слабый и фрагментарный (до 2 м/год).

Бассейн р. Енисея. В верховьях бассейна земледельчески освоенными являются только речные бассейны котловин межгорных впадин, а также высокие равнины верховьев р. Ангары и правобережья Енисея в Минусинской котловине. Все эти территории в зависимости от расчлененности отличаются высокой интенсивностью смыва – от 2,5 до 10 т/га год (3-4 балла). На большей части бассейна условная концентрация фосфора в поверхностных водах составляет менее 1 мг/л, лишь в бассейнах рек Абакана, Кана, Оки и Ангары (от Усть-Уды до Усоляя Сибирского), где в основном расположены пахотные земли, она увеличивается до 5-10 мг/л (3 балла) из-за высокой интенсивности смыва.

Большая часть бассейна расположена в пределах Средне-Сибирского плоскогорья. Часть территории бассейна, не занятая горами, характеризуется слабым и умеренным развитием овражной эрозии. В бассейнах рек Хаты, Кана и в верховьях Ангары овражная эрозия оценивается в 2 балла, в Минусинской котловине и на побережье Красноярского водохранилища – 3 балла.

Малые реки бассейна преимущественно находятся в естественном состоянии, и только в пределах земледельческих анклавов на отдельных участках отмечается их умеренное заиление. Существенно изменены реки в пределах Норильского горно-промышленного района. Берега рек практически не размываемые, кроме Енисея в Минусинской котловине, его левых притоков в среднем и нижнем течении, а также котловинных участков рек бассейна Ангары.

Степень трансформации рек в результате разработки россыпных месторождений оценивается в 2 балла. Значительно изменены русла крупнейших рек бассейна – верхнего Енисея и Ангары, на которых построены каскады крупных водохранилищ с гидроэлектростанциями. При этом Саян-

ская ГЭС относится к крупнейшим в мире по величине напора у плотины (220 м). Ангара почти полностью затоплена водами водохранилищ за исключением приустьевых участков, расположенного в нижнем бьефе строящейся Богучанской ГЭС. Сток Ангары в устье и Енисея до впадения Ангары, полностью зарегулирован. Русло Енисея в Красноярске и ниже него изменено регуляционными сооружениями, карьерами строительных материалов, местами – дноуглубительными работами. Подпор от водохранилищ распространяется на нижние течения притоков (реки Илим, Ока и др.) и сказывается на их русловом режиме (р. Абакан). Большое водохранилище построено в среднем течении р. Курейки.

Бассейны рек Хатанги, Анабара, Оленка и полуострова Таймыра. Пахотные земли отсутствуют. Развитие овражной эрозии очень слабое (1 балл), только на возвышенных участках в бассейнах рек Пясины и Бол. Балахни развитость овражной эрозии увеличивается до 3 баллов. Реки бассейна не изменены антропогенными факторами.

Бассейн р. Лены. Пахотные земли занимают в бассейне менее 0,15%, эрозионная опасность пахотных земель минимальна. Овражная эрозия на большей части территории бассейна развита слабо; вместе с тем в низовьях Олекмы, на участке долины Лены между устьями Олекмы и Алдана овражность умеренная (3 балла), в низовьях Алдана и Вилюя – 2 балла.

По интенсивности размыва берегов рек в бассейне выделяется центральная часть, приуроченная к Центрально-Якутской низменности, где все реки текут в размываемых берегах, причем на крупных реках (Лене, Вилюе) скорости размыва берегов достигают 10-30 м/год. Притоки верхней Лены, кроме Киренги, реки большей части бассейна Алдана и правобережья нижней Лены имеют неразмываемые берега.

Многие малые реки в верховьях бассейна (бассейна Алдана, Витима) изменены в результате разработки россыпных полезных ископаемых (рис. 4.5). Степень трансформации этих рек оценивается в 3 балла. Другие виды механического нарушения русел рек в целом незначительны за исключением отдельных случаев. На Вилюе создано крупное водохранилище, регулирующее сток реки в нижнем течении. Дноуглубительные работы не играют существенной роли в изменении речных русел, несмотря на очень большую протяженность водных путей. Исключение составляет отрезок верхнего течения Лены ниже Усть-Кута, где на протяжении нескольких сотен километров русло превращено практически в канал путем углубления и стеснения выправительными сооружениями. После проведения этих работ в 1970-1980-е годы меженные уровни в реке понизились почти на 2 м, что отрицательно сказывается на работе различных сооружений и в целом на экологическом состоянии реки.

Бассейны рек озера Байкала. Наиболее высокая интенсивность смыва отмечается в бассейне р. Селенги (4 балла). Опасность загрязнения фосфором оценивается в 2 балла в верховьях р. Селенги и 3 балла в бассейне р. Хилка.

В пределах межгорных котловин в бассейне р. Селенги малые реки характеризуются средней степенью заиления (3 балла). Часть рек изменена в результате разработки россыпных месторождений, но степень их трансформации невелика (1 балл).

Бассейны рек Северо-Востока России (Яны, Индигирки, Колымы, рек Яно-Индигирской и Колымской низменностей, Чукотки, Камчатки и побережья Охотского моря) характеризуются фоновыми значениями всех показателей. Отклонения от них носят локальный характер и связаны с изменением рек в результате разработки россыпных полезных ископаемых (рис. 4.5). В бассейнах рек располагается большинство основных россыпных районов России. Степень трансформации рек очень велика: в бассейнах рек Чукотки, Камчатки и побережья Охотского моря, а также Яны, она составляет 3 балла, в бассейне Индигирки – 4, в бассейне Колымы – 5 баллов. Другие виды механических нарушений крайне редки и локальны. В среднем течении Колымы имеется высоконапорная (117 м) плотина Колымской ГЭС с водохранилищем.

Бассейн р. Амура. Эрозионная опасность пахотных земель в бассейне достигает максимальных значений в бассейнах рек Ингоды, Онона, Шилки и Аргуни (4 балла), что связано с горным рельефом территории. В среднем и нижнем течении Амура, на равнинах, она не превышает 3 баллов и практически отсутствует на территории Приханкайской равнины. Несмотря на высокую интенсивность смыва почв в отдельных районах, опасность загрязнения поверхностных вод фосфором отсутствует или слабая, т.к. доля пашни составляет не более 20-30% , а в отдельных районах – менее 10% площади территории.

Пораженность оврагами на большей части территории бассейна слабая, за исключением междуречья Шилки и Аргуни (3 балла).

На фоне неизменных водотоков встречаются реки с умеренным заилением (бассейн озера Ханка и левобережья Амура по нижнему течению рек Биджана, Биры и Большого Ина), что связано с интенсивным сельскохозяйственным освоением и резким снижением транспортирующей способности рек при выходе с гор на равнину.

Реки верхней части бассейна Амура, Шилки и Аргуни имеют врезаемые русла с устойчивыми берегами. То же относится к рекам верхней и средней части бассейнов Зеи, Буреи, правых притоков Уссури, верхней Амгуни. Остальные реки, протекающие в пределах Амуро-Зейской, Средне-Амурской и Нижне-Амурской низменностей, включая Амур, отличаются средним по интенсивности размывом берегов (до 3-5 м/год на Амуре и 1-3 м/год на меньших по водоносности реках).

Степень трансформации русел верховьев рек в результате разработки россыпных месторождений достаточно высокая (3 балла). Это относится к бассейнам Шилки, Аргуни, Амгуни, Зеи (рис. 4.5). На Зее сооружено водохранилище, цель которого – регулирование стока для снижения опасно-

сти наводнений в нижнем течении реки. Русло Амура и Уссури местами обваловано для защиты от наводнений.

Бассейны рек Сахалина и восточного склона Сихотэ-Алиня. Эрозионная опасность пахотных земель крайне мала, площадь пашни составляет всего менее 0,1% площади. Большая часть территории занята горами; на севере Сахалина, в пределах заболоченной равнины, отмечена слабая овражность. На юге Приморья, в районе г. Уссурийска, овражная эрозия получила значительное развитие (4 балла), что обусловлено расчлененностью склонов возвышенностей, обильными ливневыми осадками и хозяйственной освоенностью.

Малые реки практически не изменены, за исключением крупных промышленных и горнодобывающих районов. Реки Сахалина субмеридионального простирания имеют размываемые берега, так как текут по котловинам. Остальные реки, как и реки восточного склона Сихотэ-Алиня, врезанные, с устойчивыми берегами. Реки юга Приморья – Партизанская, Раздольная – по выходе из гор отличаются сильными размывами берегов (5-10 м/год).

4.4. Прогнозная оценка изменения экологического состояния ЭРС России

Неустойчивость экономической ситуации в стране не позволяет разрабатывать сколько-нибудь долгосрочные прогнозы изменения экологического состояния ЭРС. За последние 10-12 лет резко уменьшилось промышленное и сельскохозяйственное производство, что привело к общему абсолютному уменьшению антропогенной нагрузки на природные объекты, в том числе на ЭРС. В то же время существенно увеличились удельные (на единицу национального продукта) сбросы промышленных сточных вод и потери земель от эрозии, заиление рек. Старение промышленного оборудования, отсутствие противозерозионных мероприятий приводят к локальному увеличению загрязнения вод и заиления малых рек даже в условиях снижения объемов промышленного и сельскохозяйственного производства. Это создает потенциал для резкого увеличения неблагоприятных антропогенных преобразований в эрозионно-русловых системах.

До 90-х годов XX столетия в Европейской России преобладала склоновая эрозия на пашне. Согласно выполненным расчетам, с пахотных земель России ежегодно смывалось около 560 млн. тонн минерального субстрата. За XX столетие масса перемещенной почвы склоновыми потоками (вследствие эрозии почв) составила около 40 млрд. тонн. Существенно меньшее значение имела овражная эрозия (около 500 млн. тонн). Эта огромная масса смытых и перемытых почв аккумулировалась в основном на нижних частях склонов и в балках (до 50% смытого материала), в руслах и на поймах ручьев и малых рек (до 35% смытых почв). Лишь небольшая доля

аккумулировалась на поймах средних и крупных рек и в их дельтах (около 8%) и достигала береговой зоны морей (около 7%).

В условиях резкого снижения сельскохозяйственного производства и уменьшения площади распаханых земель в конце XX – начале XXI веков склоновый смыв существенно уменьшился (экспертно можно оценить это уменьшение в 2-3 раза). В лесной зоне часть пашни зарастает кустарником и лесом, в лесостепной и степной – сорной растительностью. Однако постепенное разрушение противоэрозионных сооружений привело к оживлению овражной эрозии на склонах балок и рек. В целом объем поступления смытых почв в верхние звенья гидрографической сети несколько уменьшился, а в областях активного оврагообразования, напротив, даже увеличился. Эрозионно-аккумулятивные процессы на средних и крупных реках не скоро отреагируют на изменения в пределах водосбора. Поэтому здесь баланс наносов определяется в первую очередь транспортирующей способностью рек.

Главный фактор экологического состояния склоновых земель – это процессы эрозии почв и, прежде всего по отношению к крупным территориям, сельскохозяйственная эрозия. Прогнозирование влияния эрозионно-аккумулятивных процессов на экологическую ситуацию в верхнем склоновом звене ЭРС чрезвычайно трудно вообще, а в настоящее время для хозяйственно освоенных речных бассейнов России достоверный прогноз не реален. Современная эрозия почв – географическое явление природно-антропогенного генезиса с примерной равнозначностью обеих составляющих, и поэтому необходимо прогнозировать как изменения природных факторов (климатических, геоморфологических, почвенных), так и технолого-экономических и социальных. Однако климатические события последних полутора десятков лет свидетельствуют, что даже климат – один из наиболее консервативных (в среднесрочном плане) факторов – подвержен непредсказуемым изменениям. Так, потепление холодных сезонов в Европейской части России привело к росту повторяемости и продолжительности зимних оттепелей, снижению средних глубин промерзания и, тем самым, к резкому снижению поверхностного весеннего стока воды и темпов талой эрозии почв. В свою очередь, снижение интенсивности последней должно было привести к сдвигу границ преобладания ливневого смыва в северном и северо-восточном направлении. Но остается открытым вопрос – что это такое: кратковременная флуктуация климата или ярко проявившаяся устойчивая тенденция? В этих условиях ответ на вопрос о возможности прогнозной оценки эрозии почв можно дать, если проблема будет решена климатологами.

Еще большие трудности представляет прогноз антропогенной составляющей. Настоящий период – время социально-экономической революции в сельском хозяйстве России. В связи со сменой собственности на землю и интеграцией страны в мировую экономику для долгосрочного прогноза развития сельского хозяйства нужен прогноз мирового соотношения

цен на его продукцию и энергоносители, таможенной политики и законодательства в области продовольственной безопасности и т.п.

Для относительно среднесрочного прогноза необходим хотя бы ориентировочный учет изменения такого динамичного фактора как структура посевных площадей, т.е. изменений почвозащитной способности культурной растительности, и еще более значимого фактора – структуры земельных угодий, прежде всего соотношения площадей пашни и пастбищ. Вариабельность интенсивности смыва почв в Европейской части России, связанная с изменением структуры посевов, составляет в среднем 5-10 раз, тогда как различия в средней интенсивности земледельческой и пастбищной эрозии достигает 2-3 и более порядков.

Динамика соотношения пашни и пастбищ в последнее десятилетие вполне сравнимо с темпами его изменения в период «освоения целины». При этом некоторые региональные тенденции по сути продолжают направленность изменений доперестроечного периода. Так, наиболее интенсивно сокращаются площади пашни на Европейском севере и северо-западе земледельческой зоны – доля «неиспользуемой» пашни составляет здесь 14-10% (Государственный доклад..., 1996). Продолжается сокращение пашни в Дальневосточном регионе и подзоне сухих степей (Волгоградская, Курганская области). При этом в последнем случае доля неиспользуемой пашни гораздо значительней, чем представленная официальной статистикой. Однако падение темпов эрозии не пропорционально снижению доли распашки, поскольку в таежной зоне ЕЧР забрасываются и зарастают лесом отдаленные от населенных пунктов, склонные к заболачиванию и малопродуктивные супесчаные пашни, отличавшиеся слабой интенсивностью смыва и удаленные от речных русел. Большой понижающий эрозионный эффект имеет здесь увеличение доли многолетних трав в структуре посевов. В зоне степей картина снижения эрозии почв аналогична, так как здесь забрасываются прежде всего пашни с засоленными почвами на плакорах. Большой экологический эффект для ЭРС в целом достигается при сокращении распашки в степной и лесостепной зонах, где перестают использоваться неудобные для обработки крутые прибалочные склоны. Площадь их сравнительно невелика, но они размывались наиболее интенсивно, а залужение способствует аккумуляции наносов, поступающих с расположенных выше пашен.

Некоторое оживление сельскохозяйственного производства наблюдается только в самые последние годы. Однако делать детальные прогнозы сложно, так как развитие ситуации будет во многом определяться законодательной базой землепользования. Действующие Земельный кодекс Российской Федерации" (1991 г) и Закон РФ "О плате за землю" (1991 г) не являются основой устойчивого землепользования. Значительное количество региональных подзаконных актов и местных «законов» ситуацию не только не улучшает, но и создает путаницу в подходах. Пользователи земель (как индивидуальные, так и коллективные) заинтересованы в первую очередь в получении прибыли от своей деятельности. Этому полностью подчинены

современные севообороты, вне всякой зависимости от их почво- водоохранной роли. Так, например, в годы с хорошей конъюнктурой на рынке растительного масла резко увеличились посевы подсолнечника на юге России.

Основным методом борьбы с деградацией земель должно быть широкое распространение почво- водоохранных технологий землепользования. Однако ни законодательной, ни методической, ни материальной основы для этого не существует.

Нагрузка на речные подсистемы ЭРС в последнее десятилетие несколько снизилась. Конечно, участки рек, затопленные водохранилищами, и нижние бьефы плотин остаются по-прежнему источником экологической напряженности, однако строительство новых гидроэлектростанций практически не ведется. Состояние же многих крупных гидроузлов и участков рек, находящихся под их влиянием, постоянно ухудшается, в том числе в связи с тем, что размывы в нижних бьефах привели к снижению устойчивости плотин.

Уменьшилось механическое изменение речных русел. Так, пик добычи нерудных строительных материалов из русловых карьеров пришелся на 1991-1993 годы, с тех пор объем безвозвратного извлечения из рек аллювия сократился в несколько раз. Сократилось строительство мостовых переходов, берегоукрепительных сооружений. Наоборот, более активным стало строительство подводных переходов нефте- и газопроводов через реки.

Особое положение сложилось в путевых работах на реках – водных путях. Сокращение финансирования работ по поддержанию и улучшению судоходных условий на 60% с 1991 г привело к значительному сокращению этого вида работ на реках. Вместе с тем эти работы, большей частью обеспечивающие лишь относительно небольшое увеличение пропускной способности русла, играли положительную роль в экологическом состоянии средних и крупных рек, особенно будучи проведены в соответствии с учетом естественных закономерностей русловых процессов. Сокращение объемов путевых дноуглубительных работ привели к тому, что глубины на перекатах многих рек уже уменьшились до состояния 1960-х гг.; эти изменения повлекли и повлекут в большей степени негативные последствия: заиление водозаборов и водовыпусков сточных вод, подмывы трубопроводов на подводных переходах, опор мостовых переходов и линий электропередачи, активизацию размыва берегов, в том числе в населенных пунктах, снижение пропускной способности русла и увеличение вероятности образования ледяных затворов и обусловленных ими наводнений. Под угрозой разрушения оказывается вся хозяйственная инфраструктура, которая создавалась с учетом эксплуатации рек как водных путей.

Вместе с тем, новое промышленное строительство в потенциале может быть более экологически безопасным для эрозионно-русловых систем. Федеральное природоохранное законодательство, при условии его исполнения, способно обеспечить охрану окружающей среды. Впрочем, подобная ситуация в России и бывшем СССР имела место всегда, но также всегда

были исключения, принимались соответствующие решения и утверждались проекты, экологически в должной мере не обоснованные. Правовая база для устойчивого, экологически обоснованного использования эрозионно-руслых систем при промышленном производстве представлена серией Федеральных законов, в том числе: Законом РСФСР "Об охране окружающей среды" (1991 г), Законом РФ "Об экологической экспертизе" (1995 г), Законом РФ "О недрах" (1995 г), «Водным Кодексом Российской Федерации» (1995 г), Законом РФ "О безопасности гидротехнических сооружений" (1997 г) и др.

В соответствии с существующим законодательством каждый проект нового строительства или реконструкции должен содержать раздел по оценке воздействия на окружающую среду, предусматривающий расходы на компенсационные мероприятия и минимизацию ущерба природе.

Примером возможности проводить новое строительство с учетом уязвимости эрозионно-руслых систем является сооружение нефте- и газопроводов – часто встречающийся в настоящее время вид хозяйственной деятельности. Прокладка трубопроводов традиционным траншейным способом оказывает заметное, хотя и временное, влияние на все части эрозионно-руслых систем: эрозию почв и развитие оврагов, обусловленные нарушением почвенно-растительного покрова на склонах, некоторые изменения морфологии русла при переходе трубопроводов через реки. Строительство каждого из таких переходов в той или иной степени вызывает изменения состава речного аллювия, качества поверхностных и подземных вод, почвенного покрова пойм. Это влечет за собой изменения условий обитания пойменных и водных растений и организмов.

Нефте- и газопроводы относятся к объектам повышенной экологической опасности. При их авариях в почвы, на пойму и в реки попадают нефть и нефтепродукты, что приводит к загрязнению аллювия и воды, обеднению флоры и фауны. Поэтому отрицательные экологические последствия их сооружения оцениваются в проектах, рассчитывается экологический ущерб. Определяется степень риска аварий как на трассе, так и на переходах. Разрабатывается система мероприятий по уменьшению воздействия трубопроводов на природную среду при строительстве (рекультивация) и эксплуатации, меры по устранению последствий аварий. Существенным шагом вперед является строительство подводных переходов через крупные реки методом направленного бурения, при котором минимизируется как воздействие строительства на речное русло и прибрежную экосистему, так и влияние русловых перестроений на устойчивость трубопровода (хотя в этом отношении сохраняется проблема прогноза горизонтальных деформаций и, соответственно, смещения русла к местам малого заглубления трубопровода).

Аналогичные проектные решения, учитывающие влияние создаваемых объектов на природные характеристики ЭРС и предусматривающие

компенсационные мероприятия, применяются при проектировании дноуглубительных работ на водных путях.

Другой пример связан с разработками россыпей на горных и полугорных реках. В связи с возрастанием требований к рекультивации нарушенных земель возникает вопрос о возможности и сроках восстановления естественного состояния ЭРС, подвергшихся отработке. Однако о полном возвращении рек, подвергшихся отработке, к естественному состоянию не может быть и речи, поскольку, особенно при дражном способе отработки, в поймах и руслах рек происходят необратимые изменения и можно говорить лишь о частичном их восстановлении. В основных районах отработок россыпных месторождений золота работы по их эксплуатации практически никогда не заканчиваются: при снижении кондиций в них вновь и вновь работает драга, обрабатывающая также техногенные россыпи, и нарушение естественного состояния рек продолжается перманентно.

В районах и на участках прекращения эксплуатационных работ отвалы зарастают растительностью, сначала луговой, потом кустарниковой, затем древесной. Постепенно и росла приобретают все более близкие к естественным формам очертания, выравнивается продольный профиль, места прорыва перемычек постепенно размываются, русло образует меандры, делится на рукава, но на морфологию вновь образовавшихся русел оказывает большое влияние техногенный рельеф – отвалы, карьеры. Поэтому такие русла по существу уже являются природно-техногенными. Вода в них постепенно осветляется, что способствует возобновлению рыбных запасов.

Скорость релаксации русел зависит от степени нарушенности и потенциальной способности русел к самовосстановлению. Энергетическая составляющая определяется уклонами русел и расходами воды в реках, которые, в свою очередь, определяют транспортирующую способность потоков и скорости вертикальных и горизонтальных русловых деформаций. Применяя эти показатели, оцененные в баллах по возрастающей градации, можно сравнить скорости релаксации некоторых рек в различных ЭРС России при прекращении в них эксплуатационных работ. С этой целью предложен коэффициент релаксации отработанных долин, равный отношению суммы баллов расходов и высоты местности к степени отработанности долин (также в баллах). Рост значений коэффициента отражает большую способность русел к релаксации.

Наиболее способными к быстрой релаксации оказались реки бассейнов Енисея, озера Байкала, Лены, Амура (табл. 4.5). Эти реки тяготеют к лесной зоне с умеренно-влажным климатом и горным рельефом. Реки бассейнов Индигирки, Яны, рек Чукотки и побережья Охотского моря имеют низкие коэффициенты релаксации, располагаясь в тундре в условиях низкогорного рельефа. Полученные различия необходимо учитывать при проектировании рекультивационных мероприятий. В то же время, несмотря на большое количество россыпных месторождений в России и давности их отработок, ЭРС России в масштабе выделенных крупных речных бассейнов

не испытывают серьезных изменений. Это определяется расположением россыпных месторождений в верховьях рек, локальностью их размещения и ограниченностью площадей распространения.

Таблица 4.5. Коэффициент релаксации отработанных долин в русловых системах России (все составляющие расчета – в баллах)

Бассейны рек	Степень освоенности россыпных месторождений	Расходы воды	Высота над уровнем моря	Коэффициент релаксации
Обь	2	2	3	2,5
Енисей	2	5	2	3,5
Лена	3	4	3	2,3
оз. Байкала	1	2	2	4,0
Яна	3	3	2	1,7
Индибирка	4	1	3	1,0
Колыма	5	2	3	1,0
Чукотки, Камчатки, побережье Охотского моря	3	1	4	1,7
Амур	3	4	3	2,3

Таким образом, общая ситуация по экологическому состоянию ЭРС России может быть охарактеризована следующим образом: снижение общей нагрузки за счет спада промышленного и сельскохозяйственного производства; увеличение удельной нагрузки и локальный рост абсолютных величин загрязнения и заиления за счет ухудшения качества производства и разрушения системы противоэрозионных сооружений, высокий потенциал увеличения антропогенной нагрузки на ЭРС при росте производства на прежних мощностях и развития сельского хозяйства при отсутствии почвоохранного законодательства; значительное улучшение экологического контроля при проектировании и строительстве новых объектов промышленности.

По эрозионно-русловым системам (бассейнам рек) регионам некоторые тенденции изменения их экологического состояния представлены в табл. 4.6.

Таблица 4.6. Тенденции изменения экологического состояния и факторы, их определяющие

Бассейны рек	Экологическое состояние			Факторы
	улучшение	стабильно	ухудшение	
1	2	3	4	5
западной части Баренцева и Белого морей				горная промышленность, лесосплав, пром. стоки, водохранилища
Ладожского и Онежского озер				лесоразработки, водохранилища
Балтийского моря				урбанизация, портовое хозяйство, прокладка нефтепроводов
Онеги				уменьшение лесосплава
Северной Двины				лесоразработки, смыв почв, прокладка нефтепроводов, сокращение дноуглубления
Мезени				уменьшение лесосплава
Печоры				разработка нефтяных месторождений, прокладка трубопроводов, старение существующих, сокращение дноуглубительных работ
Волги				пром. стоки, добыча стройматериалов, водохранилища, строительство нефтегазопроводов
Оки				смыв почв, пром. стоки, добыча стройматериалов, сокращение дноуглубления
Камы				смыв почв, пром. стоки, водохранилища, добыча стройматериалов, сокращение дноуглубления, строительство нефтегазопроводов и старение существующих
Днепра				уменьшение распашки
Дона				пром стоки, изменение структуры сельского хозяйства (увеличение доли пропашных), водохранилища, сокращение дноуглубления
Северского Донца				горная промышленность, урбанизация, смыв почв
Азовского моря				пром. стоки, строительство и старение существующих нефтегазопроводов, сельхоз. производство, пруды

Продолжение таблицы 4.6.

1	2	3	4	5
Кубани				пром. стоки, строительство и старение существующих нефтепроводов, сельхоз. производство, водохранилище, отбор воды, сокращение дноуглубления
Терека				пром. стоки, старение существующих нефтегазопроводов, сельхоз. производство, военные действия
Кумы				пром. стоки, строительство и старение существующих нефтегазопроводов, сельхоз. производство, отбор воды
Урала				пром. стоки, водохранилища, сельхоз. производство
Надыма, Пура, Таза, п-ов Ямала и Гыданского				нефтегазодобыча, строительство и старение существующих нефтепроводов, сокращение дноуглубления
Оби				нефтегазодобыча, сокращение дноуглубления, добыча стройматериалов
Барабинской и Кулундинской равнин				сельхоз. производство, отбор воды
Енисея				снижение пром. нагрузки, водохранилища
Хатанги, Анабара, Оленька, п-ва Таймыра				На Таймыре – пром стоки.
Лены				снижение нагрузки горной пром, сокращение дноуглубления
озера Байкала				ЦБК
Яны				снижение нагрузки горной промышленности
Индигирки				снижение нагрузки горной промышленности
Колымы				снижение нагрузки горной промышленности
Яно-Индигирской и Колымской низменностей				снижение нагрузки горной промышленности
Чукотки, Камчатки и Охотского морей				снижение нагрузки горной промышленности
Амура				пром. стоки, сокращение дноуглубления, водохранилища
Сахалина и восточного склона Сихотэ-Алиня				уменьшение лесосплава и пром. производства

ГЛАВА 5

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЭРОЗИОННО-РУСЛОВЫХ СИСТЕМ И ЕЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

5.1 Основные принципы обеспечения экологической безопасности ЭРС

Создание условий, при которых, с одной стороны, в процессе хозяйственной деятельности обеспечивается нормальное функционирование эрозионно-русловых систем, а, с другой, нейтрализуются или предотвращаются естественные неблагоприятные и опасные проявления эрозионно-аккумулятивных процессов в их пределах, определяет экологическую безопасность ЭРС. Она достигается выполнением ряда требований при использовании водных и земельных ресурсов и проведением соответствующих мероприятий, нейтрализующих (или компенсирующих) возможные неблагоприятные экологические последствия хозяйственной деятельности, а также способствующих предотвращению опасных проявлений природных процессов. Во всех случаях необходимым условием является проведение изысканий или исследований, предшествующих любой форме хозяйственной деятельности, выполнение расчетов или моделирования возможных ее последствий и оценка риска возникновения экологической напряженности.

Экологическая безопасность ЭРС в целом и отдельных ее звеньев создается благодаря:

- 1) снижению смыва почв на сельскохозяйственных землях до допустимых, эколого-экономически обоснованных значений путем внедрения почвозащитных противоэрозионных агротехнических технологий;
- 2) предотвращению загрязнения водных объектов и рек продуктами эрозии, в т.ч. радионуклидами, биогенными элементами и т.д.;
- 3) недопущению реализации потенциала овражной эрозии посредством использования методов обработки земель, размещения строительных площадок, прокладки дорог, препятствующих концентрации стока в бороздах и понижениях рельефа, направленных вниз по склону;
- 4) рациональному использованию уже существующих оврагов и овражно-балочных систем путем создания в них рекреационных зон в городах и пригородах, заказников и других охраняемых объектов, обеспечивающих развитие естественной растительности, жизнь диких животных, птиц и т.д.;
- 5) недопущению проявления отрицательных последствий ликвидации оврагов, являющихся естественными дренами, при их засыпке, что вызывает подтопление городских территорий, изменения сложившегося режима увлажнения пахотных земель;
- 6) предотвращению заиления и деградации русел малых рек и их рекультивации (природоприближенным восстановлением);

7) снижению поступления минерального вещества (наносов) в реки вследствие эрозии почв или развития оврагов на основе выполнения противоэрозионных мероприятий и, как следствие, предотвращению их обмеления, образования мелководных перекатов и т.д.;

8) управлению русловыми процессами посредством использования закономерностей их проявления в конкретных условиях (руслового режима рек) при разработке схем и проектов регулирования речных русел, что обеспечивает сохранение рек как природных объектов при любых видах хозяйственной деятельности на них;

9) оптимизации выбора мест сооружения переходов коммуникаций через реки, что обеспечивает безаварийное их состояние в пределах расчетного срока эксплуатации;

10) снижению интенсивности или предотвращению (в городах, населенных пунктах, промышленных зонах, в районах ценных сельскохозяйственных, лесных и прочих угодий) размыва берегов, в т.ч. посредством выполнения мероприятий по регулированию русел, на основе долгосрочного прогноза русловых деформаций;

11) проведению компенсационных мероприятий, снижающих отрицательные последствия воздействия гидротехнических, карьерных и других видов работ на факторы русловых процессов и непосредственно на формы русел и формы руслового рельефа. При этом необходимо учитывать и обосновывать связи между нагрузками на эксплуатируемые ландшафты и реки, влияющими на развитие эрозии почв, оврагообразование и русловые процессы, и неблагоприятными изменениями в экосистемах разного ранга, опасностью и риском проявления эрозионных и русловых процессов для жизни и деятельности людей, а также экологическую неоднозначность проведения водоохранных, землеустроительных, водохозяйственных, гидротехнических и других мероприятий.

При решении тех или иных задач, связанных с обеспечением экологической безопасности ЭРС, необходим конкретный подход, учитывающий неодинаковые требования к использованию земельных и водных ресурсов со стороны разных отраслей экономики, земле- и водопользователей. Это позволяет избежать усиления негативных последствий хозяйственной деятельности, предотвратить или принять превентивные меры для предотвращения возникновения естественных и спровоцированных антропогенными факторами неблагоприятных явлений и процессов. Это же дает возможность учесть разнонаправленность тех или иных последствий, что позволяет обеспечить их взаимную нейтрализацию без применения системы мер.

5.2. Устойчивость ЭРС к изменениям природной среды и антропогенным воздействиям

При определенном сочетании природных факторов (геолого-геоморфологическое строение и ландшафтный облик бассейна, гидрологи-

ческий режим, условия формирования стока наносов на водосборе) ЭРС в каждом звене характеризуются определенными соотношениями морфометрических, динамических и гидрологических параметров. Устойчивость саморегулирующейся природной системы определяют ее способность путем внутренней перестройки поддерживать структуру и функционирование в пределах параметров, не превышающих некоторых критических величин, переход через которые приводит к необратимым изменениям самой системы. Условием этого является определенный ограниченный уровень изменений внешних условий, в которых они развиваются. Эрозионно-русловые системы, находящиеся в естественном состоянии, долгое время сохраняют эти соотношения, оставаясь относительно устойчивыми (стационарными), поскольку изменения природных условий (без воздействия хозяйственной деятельности) постепенны и сравнительно невелики в пределах длительных, в том числе исторических отрезков времени. В качестве фактора, обеспечивающего обратную связь, выступает свойство водных потоков саморегулирования транспортирующей способности путем изменения размеров и формы поперечного сечения и рельефа их русел, в том числе микрорусел русловой сети на склонах, промоин, оврагов, уклона продольного профиля (закон автоматического выравнивания транспортирующей способности потока по длине, установленный Н.И. Маккавеевым (1955)). Накопление изменений и превышение параметрами внешних условий критических значений приводит к нарушению устойчивости системы и ее перестройке.

Переход от одного состояния к другому занимает у различных частей ЭРС разное время, что связано со структурой и степенью сложности системы. Время, за которое происходит перестройка системы, называется временем релаксации.

Проблема выделения природной и антропогенной составляющих в изменениях условий функционирования ЭРС очень сложна. Обе они неоднородно и неодинаково влияют на устойчивость ЭРС. Среди природных составляющих следует выделить изменения климата, которые происходят сравнительно медленно и постепенно. Направленные изменения климатических характеристик и следующих за ними изменений ландшафта могут достичь критических для системы значений в течение очень длительного времени, и переход системы из одного состояния в другое будет эволюционным, заметным только на протяжении жизни нескольких поколений людей. Значительно существеннее ежегодные колебания увлажненности, которые определяют величину стока. При этом внутригодовая и многолетняя неравномерность стока являются неотъемлемым свойством системы, что отражается в структуре конкретных ЭРС, и их преобразование сказывается на состоянии самих систем. Более существенную роль в изменениях ЭРС играют экстремальные природные явления (наводнения, связанные с большим количеством осадков или ледовыми заторами, засухи, таяние ледников в особо теплые годы, сели, землетрясения и т.п.), которые определяют возникнове-

ние «порогов» (т.е. резких перестроек) в системе, однако последствия этих редких явлений ликвидируются системой в более или менее короткие сроки.

Эрозионно-склоновые геосистемы (подсистемы ЭРС) – это комплекс процессов стока воды на склонах, разрушения почв, перемещения и основных вещественных компонентов: абиотических (поверхностные и почвенные воды, минеральный субстрат, химические вещества), биокосных (почва) и биотических (растительность). Каждый из этих процессов и материальных объектов представляет собой сложнейшие непознанные системы, устойчивость которых к воздействию эрозионных процессов, также как и самих эрозионно-склоновых систем исследованы крайне слабо.

Формирование поверхностного стока на склонах и его эрозионная работа чрезвычайно переменчивые вероятностные процессы, требующие для оценки параметров, а тем более достоверных и устойчивых их отклонений от «нормы», использования теории случайных процессов, теории вероятности, математической статистики (Мирцхулава, 2000). Между тем длительность рядов наблюдений за этими процессами гораздо короче, чем для более стабильных стоко- и руслоформирующих в нижних звеньях ЭРС – реках. В этой связи для оценки устойчивости эрозионно-склоновых систем приходится использовать в основном географические методы (принципы актуализма, эргодичности), а следовательно, и анализом изменения компонентов, обладающих долгой «памятью» (почв, рельефа).

Эрозионно-склоновое звено ЭРС в наибольшей степени подверглось глубочайшим антропогенным преобразованиям на хозяйственно используемых землях, занимающих около 45% от площади суши (Романова и др., 1993). На пахотных, селитебных, промышленных, части пастбищных и лесных землях эти преобразования привели к замене естественных эрозионно-склоновых геосистем на «новые» природно-антропогенные, в настоящее время территориально достаточно стабилизированные. Функционирование этих двух классов систем должно рассматриваться дифференцировано, хотя физические механизмы смыва и схема взаимодействия факторов остается единой и может быть представлено следующей структурной формулой:

$$W = f(R; K; LS; C);$$

где W – интенсивность смыва; R – климатические факторы; K – почвенные факторы; LS условия рельефа; C фактор растительности.

В естественных условиях климатических ландшафтов эрозионно-значимые характеристики растительности и почвы хорошо согласованы. Отдельные несовпадения, например черноземы под лесами, являются редким исключением, подтверждающим большую, чем у растительности, инерционность почвенных параметров. Еще медленнее изменяются эрозионно-значимые характеристики рельефа и климата. Следовательно, в естественных эрозионно-склоновых геосистемах устойчивость связана прежде всего с возможностью изменения почвозащитных свойств растительного покрова и устойчивостью последнего к внешним воздействиям.

Пороговым состоянием растительного покрова, определяющим существенные изменения гидравлических характеристик и рост эродирующей способности склоновых потоков, является снижение проективного покрытия до 30-50% (Copeland, 1965; Ларионов, 1993 и др.). Отношение истинного проективного покрытия, которое в естественных ценозах часто превышает 100%, к 30 может быть использовано в качестве показателя устойчивости естественных эрозионно-склоновых систем. Снижение его значений до единицы будет указывать на возможность качественного преобразования системы. В природе такие случаи связаны, например, с пожарами горных лесов. Очевидно, что при очень активном смыве на горных склонах полное время релаксации системы будет гораздо более продолжительным, чем релаксация лесного биоценоза. Что касается полузасушливых ландшафтов, где растительность не обеспечивает минимального проективного покрытия в 30%, изменение климатических характеристик оказывает здесь большее влияние, чем изменения растительного покрова (Киркби, 1984).

Различия в функционировании типов природно-антропогенной и антропогенной эрозии почв (Литвин, 1998) неразрывно связаны и определяются типами и технологией хозяйственного использования земель. Следовательно, устойчивость эрозионно-склоновых систем хозяйственно освоенных территорий (на качественном уровне) в среднесрочном плане (десятилетия и сотни лет) полностью определяется «стабильностью» соответствующих технологий. Однако и при стабильности технологии в системе неизбежно накапливаются изменения отдельных компонентов, которые могут привести к перестройке системы, т.е. к снижению или потере устойчивости. Прежде всего, это изменения объекта эрозии – почвенного покрова. Эродированность почвенного покрова обуславливает изменения эрозионно значимых физико-химических свойств почв, ее водопроницаемости, плодородия. Установлены многочисленные факты увеличения коэффициентов поверхностного стока воды и активизации смыва как следствие эрозионного смыва почвы, но нет сведений о пороговых состояниях систем, связанных с этим явлением. Потеря устойчивости (перестройка) конкретных систем обуславливается, чаще всего, сменой типа использования земли при эрозионном снижении мощности верхних горизонтов (плодородия почвы) до «критического» экономически неприемлемого уровня.

Критериями устойчивости почв, а следовательно и природно-антропогенных склоновых систем в целом, могут служить показатели характеризующие как саму возможность снижения мощности верхних горизонтов, так и продолжительность периода в течение которого эта мощность снизится до минимальной или, как предлагает Ц.Е. Мирцхулава (2000), просто соотношение мощностей минимальной и фактической. В двух первых случаях необходимо учитывать и скорость почвообразования, которая в принципе должна также различаться при разных видах хозяйственного использования.

Для оценки возможности потери устойчивости наиболее просто воспользоваться соотношением скорости почвообразования (допустимого смыва) и фактической интенсивности смыва, или, как предлагает Г.В. Бастраков (1993), соотношением сопротивления почвы размыву с эродирующей способностью потока. Последнее предложение относится к предельному и очень редкому для природно-антропогенных эрозионно-склоновых систем случаю отсутствия смыва при наличии водного стока.

Для склоновых систем с активным проявлением эрозии продолжительность периода снижения мощности до критической (или «срок службы почвы») по Ц.Е. Мирцхулава), может быть определен простым выражением:

$$T = (H_1 - H_k) / (W - P);$$

где H_1 и H_k – фактические мощности гумусового (или корнеобитаемого) горизонта и его критическая мощность, соответственно; W – интенсивность смыва, мм/год; P – скорость почвообразования (формирования гумусового горизонта), мм/год. Фактически все эти величины являются функциями нескольких переменных, изменяющихся во времени. Так, скорость формирования гумусового горизонта обратно пропорциональна продолжительности его формирования (Каштанов и др., 1994) и стадии развития почвенного покрова (Ганжара, 1981). Кроме того, имеющиеся способы определения темпов почвообразования относятся по большей части не к антропогенно измененным почвам, а к их естественным аналогам. В этом отношении наиболее достоверным представляется эмпирический метод определения «допустимого смыва» на пахотных землях – метод равновесного профиля (Геннадиев и др., 1987). Величина H_k , вообще, определяется не только биологическими критериями, но и экономическими (уровнем доходности конкретного использования земель и его динамикой).

В масштабах жизни человека и даже нескольких поколений людей не нарушенные хозяйственной деятельностью отдельные части эрозионно-русловых систем находятся в устойчивом состоянии. Они, формируясь в ходе длительного взаимодействия потоков, склонов и русел, отличаются небольшими сезонными и многолетними деформациями, и в них отчетливо прослеживается взаимосвязь между уклоном, относительной шероховатостью подстилающей поверхности или ложа водотоков и стоком наносов (Артамонов, 1986; Крошкин, 1970). Например, выражением устойчивости (стационарности) таких подсистем, как русла рек, являются гидролого-морфологические зависимости между гидравлическими элементами потока и параметрами русла. К.В. Гришанин (1974) различает три вида устойчивости: начальную, статистическую и временную. Для состояния русел рек наиболее важными являются две последние. Статистическая устойчивость характеризует неизменность во времени распределений вероятности морфологических параметров протяженного участка русла. Критерием устойчивого состояния русла реки, понимаемого как сохраняемость в течение ограниченного, но достаточно долгого времени, формы и основных разме-

ров поперечного сечения (временная устойчивость), может служить зависимость (Гришанин, 1974):

$$h (gB)^{1/4} Q^{-1/2} = M = const, \quad (1)$$

где B – ширина русла, Q – расход воды, h – глубина, g – ускорение свободно-го падения. Для русел с песчаным аллювием значение постоянной $M = 0,92 \pm 0,12$, для рек с галечно-валунным аллювием она зависит от относительной шероховатости русла (крупности аллювия): $M = 0,15 \lg. 1000h/d_{50}$, где d_{50} – средний диаметр наносов. В.И. Никора (1992) установил, что для русел, протекающих в связных грунтах, величина M приближается к 2. Им же установлена обратная зависимость относительной ширины русла (B/h) малых рек от числа Фруда, т.е. от степени кинетичности потока. Например, для русел рек Молдавии, протекающих в песчаных грунтах $B/h = 1,52 Fr^{-1}$, в связных грунтах $B/h = 0,063 Fr^{-1}$, где $Fr = v^2/gh$. Пропорциональность относительной глубины числу Фруда установил К.В. Гришанин (1974) для рек, в руслах которых с ростом кинетичности потока не формируется отмостка, т.е. песчаных.

Статистическая устойчивость русла подразумевает, что за отрезки времени в десятилетия-столетия на фоне заметных флуктуаций отдельных структурных уровней (например, формы поперечного сечения, параметров русловых форм и т.д.) его морфодинамический тип и средний уклон, сохраняются постоянными. Только за периоды в несколько столетий и тысячелетия при продолжающемся изменении природных условий можно проследить заметный тренд изменений этих характеристик (Knighton, 1987). Кризисные ситуации, когда происходит резкое ускорение процессов трансформации русел ("пороговые" ситуации), при естественном развитии русловых процессов имеют редкую повторяемость и связаны с экстремальными гидрологическими или геодинамическими явлениями, хотя в ряде случаев бывают обусловлены внутренней периодичностью развития форм русла, соответствуя определенному этапу их развития (например, спрямление излучин).

Для рек обычно характерна неравномерность стока воды и наносов, связанная с прохождением волн половодий и паводков. Особенно она велика у малых рек, что вызывает частую, в течение недель и месяцев, изменчивость русловых форм. Механизмом саморегулирования и сохранения временной и статистической устойчивости русла является изменение поперечного сечения в связи с колебаниями кинетичности потока при изменениях водности (Никора, 1992). Многолетняя изменчивость стока вызывает деформации русла с большим периодом – от несколько лет до сотен лет в зависимости от масштаба русловых форм. Н.Б. Барышников (1990) считает решающим фактором саморегулирования речных систем изменения гидравлических сопротивлений. Интенсивность этих внутрисистемных процессов (деформаций) зависит от относительной подвижности (стабильности) русел.

Русла водных потоков в разных звеньях ЭРС по разному реагируют на антропогенные нагрузки, что зависит от иерархического уровня элемента системы, на котором действует данное сооружение или вид хозяйственной деятельности. Как правило, реакция заключается в возникновении направленных деформаций. Признаком нарушения устойчивости русла реки можно считать заметное и быстрое (в течение лет и десятилетий) изменение среднего уклона продольного профиля. Устойчивость русел к антропогенной нагрузке можно определить как их свойство сохранять при воздействии антропогенной нагрузки исходные тип русла и средний уклон продольного профиля.

Русла крупных рек, как правило, устойчивы по отношению к последствиям бассейновой нагрузки. Увеличение стока наносов, обусловленное эрозией почв на водосборе сказывается на руслах малых рек, в которые поступает большое количество наносов непосредственно со склонов и из овражной сети. Доля продуктов эрозии во взвешенных наносах уменьшается по длине рек, и очень быстро в верхних звеньях сети (Иванова, 1990).

Увеличение размеров поверхностного стока и его неравномерности способствует росту стока наносов. Однако это явление неодинаково проявляется как в разных звеньях речной сети, так и в различных природных зонах. Н.И. Маккавеев (1955) проанализировал продольные профили рек, имеющих одинаковую площадь бассейна, но различающиеся по доли степей в общей площади бассейна: Оки и Дона, Урала и Камы, Иртыша и Оби. Оказалось, что чем больше доля степей в бассейне, тем больше уклон реки. Уклон Дона в 2 раза больше, чем уклон Оки, уклон Урала втрое больше уклона Камы, уклон Иртыша в 1,5 раза больше уклона Оби. Различие уклонов объясняется неодинаковой величиной врезания: чем больше сток наносов, обусловленный систематической эрозией в бассейне, тем меньше врезана река и больше ее уклон.

Природные предпосылки оказываются значимыми при сведении лесов и распашке. Поступление в реки добавочного материала в результате ускоренной эрозии приводит к изменениям в морфологии и динамике речных русел. Эти изменения неодинаковы в разных природных зонах. Для равнинных рек с весенним половодьем (ЭРС Европейской части России) преобладающее значение в формировании стока наносов имеет эрозионная деятельность талых вод, продукты которой поступают в реки со всего бассейна, но размеры их зависят от того, в каком состоянии почвы ушли под снег – промерзшие или нет. Вырубка леса вызывает неравномерное изменение транспортирующей способности потока по длине речной системы. На склонах и в овражно-балочной сети вследствие возрастания модуля весеннего стока эрозионная и транспортирующая способность потоков возрастает. Уже в малых реках относительное приращение мощности половодья убывает, и здесь возможна частичная аккумуляция добавочного материала, обусловленного эрозией почв и овражными выносами. Летние дожди не формируют крупных паводков, но во время дождей происходит интенсив-

ный смыв и отложение наносов в руслах малых рек. А.А. Ажигиров, В.Н. Голосов и др. (1992) определяют сокращение протяженности речной сети до 4-5 порядка включительно на юге лесной зоны на 16-20% за столетие. Максимум распашки этой территории приходится на середину XIX века, хотя известно, что уже в начале XVII века эта территория была распахана.

Иначе обстоит дело на реках лесостепной и степной зон, где сток наносов рек формируется в значительной мере за счет ливневого смыва со склонов. Модули смыва в бассейнах таких рек в несколько раз превышают модули смыва в бассейнах рек лесной зоны (Голосов, 1989). В этих регионах весенний сток с водосбора при распашке резко возрастает. В верхние звенья гидрографической сети выносятся большое количество наносов, которые поток не может вынести полностью. Малые реки заиливаются, исчезают, а аккумуляция наносов перемещается на нижележащие участки речной системы.

Главным критерием устойчивости малых рек по отношению к заилению является их транспортирующая способность (R); при этом степень устойчивости определяется по ее отношению к объему наносов (W_s), поступающих в поток с водосбора (R/W_s). Для расчета транспортирующей способности применяются разные зависимости, в частности формула Е.А. Замарина (1951) для рек с илистыми и мелкопесчаными наносами, характерными для малых рек равнинных территорий:

$$R=0,022 Q (U/w)^{1,5} \sqrt{Ih}, \quad (5.2)$$

где R – транспортирующая способность потока, кг/с, Q – расход воды, м³/с, U – скорость течения, м/с, w – гидравлическая крупность наносов, м/с (формула справедлива в диапазоне $w= 0,002-0,008$), h – глубина потока, м, I – безразмерный уклон. Учитывая гидролого-морфометрические зависимости, полученные Р.А. Нежиховским (1971) на основе обработки большого гидрометрического материала, транспортирующая способность потоков рек длиной более 10 км может быть рассчитана по одной из следующих формул:

$$R= k_1 Q^{1,5} I^{0,5}; R= k_1 (MF)^{1,5} I^{0,5}; R= k_2 M^{1,5} F^{1,3}, \quad (5.3)$$

где M – модуль стока воды, F – площадь бассейна, k_1 и k_2 – коэффициенты (табл. 5.1), значения которых зависят от крупности наносов и ландшафта водосбора (возвышенности, увалы, холмистые равнины, низменности).

Транспортирующая способность потоков рек, протекающих в однородных ландшафтно-климатических условиях, растет с увеличением площади водосбора. При отсутствии изменений на водосборе у этих рек всегда имеется потенциал для самоочищения от наносов, и они в естественных условиях остаются устойчивыми. Вместе с тем, в верховьях, а также на реках длиной менее 10 км транспортирующая способность потока снижается с увеличением размера водотока в связи с быстрым уменьшением уклона. Эти реки даже в естественных условиях неустойчивы, так как могут транспортировать наносы в меньшем количестве, чем в них поступает с бассейна.

В их руслах аккумулируются наносы, отметки продольного профиля повышаются даже при ненарушенных ландшафтно-климатических условиях. Это видно из данных таблицы 5.2, в последней графе которой приводятся значения предельного модуля стока наносов, равного транспортирующей способности потока (расходу наносов).

Таблица 5.1. Значения коэффициентов в формуле (5.3)

Ландшафт					
тип наносов		возвышенности	Увалы	холмистые равнины	низменности
	k_1	k_2			
крупный алеврит	5,29	0,075	0,045	0,019	0,0074
тонкий песок	0,66	0,0094	0,0056	0,0024	0,0009

Таблица 5.2. Обобщенные гидравлические и морфометрические параметры рек Русской равнины (по Н.А. Ржаницыну, 1985)

Порядок реки	Площадь водосбора, км ²	Длина, км	Расход воды, м ³ /с	Уклон	Расход наносов, кг/с	Модуль стока наносов, т/га
1	0,39	0,80	0,0039	0,134	0,38	310
2	1,20	1,50	0,011	0,0492	0,19	50
3	3,60	2,80	0,03	0,20	0,12	10
4	10,5	5,10	0,088	0,0089	0,10	3
5	30,7	9,30	0,25	0,0042	0,10	1
6	89,0	16,9	0,71	0,00216	0,11	0,40
7	262	31,0	2,0	0,00114	0,13	0,16
8	770	57,0	5,65	0,00063	0,19	0,08
9	2260	104	16,0	0,00036	0,30	0,04

Направленность и интенсивность изменений продольного профиля малых рек можно установить по соотношению R/W_s . При $R/W_s > 1$ происхо-

дит очищение рек от наносов. Такие участки рек устойчивы по отношению к заилению, и степень их устойчивости тем больше, чем больше R/W_s . При $R/W_s < 1$ происходит аккумуляция наносов, повышение поймы и русла. Такие участки рек неустойчивы по отношению к заилению. Если модуль стока наносов в ходе ускоренной антропогенной эрозии на водосборе (с учетом коэффициента доставки наносов в реку) превышает указанный в табл. 5.2 предельный уровень для данной категории рек, то русло реки на данном участке неустойчиво по отношению к заилению. Чем меньше R/W_s , тем больше вероятность того, что при увеличении стока наносов с водосбора малая река начнет заиливаться. В ЭРС Европейской части России при средней интенсивности смыва с водосборов 2-6 т/га в год малые реки при коэффициенте доставки 0,1-0,5, не могут транспортировать все поступающие в них наносы и их русла неустойчивы. Фактическая степень неустойчивости при одинаковой антропогенной нагрузке определяется конкретной транспортирующей способностью потока малых рек и зависит от их уклонов и водоносности.

При больших модулях стока воды и уклонах устойчивыми к заилению являются русла малых рек левобережья Печоры, бассейнов Мезени, Северной Двины, верховьев Камы и Вятки. К той же категории относятся горные и полугорные реки (Кольский полуостров, Карелия, Урал, Северный Кавказ). Слабоустойчивыми и неустойчивыми к заилению являются русла рек юга лесной, лесостепной и степной зон, что связано с уменьшением водоносности рек, а местами и с малыми уклонами.

Малые реки обычно неустойчивы к механическим нарушениям их русел, в том числе к тем, которые, казалось бы, направлены на их очистку от наносов. Расширение и углубление русел на отдельных участках, резко увеличивающие площадь поперечного сечения и пропускную способность, одновременно способствуют уменьшению уклона. Обычно эти мероприятия вызывают временную волну регрессивной эрозии, распространяющуюся на верховья и притоки более низких порядков (Simon, 1995). Последние частично очищаются от наносов, однако они отлагаются ниже по течению на немодифицированном участке реки, что впоследствии вызывает новую «волну» аккумуляции наносов. В результате ставятся под угрозу сооружения на берегах рек и переходы через реки. Полного же самовосстановления русла обычно не происходит даже за несколько десятилетий.

Крупные и средние реки отличаются существенно большим потенциалом саморегулирования транспортирующей способности благодаря своей высокой водоносности. Кроме того деформации их русел совместно с изменением шероховатости и перераспределением местных уклонов служат механизмом, обеспечивающим в широких пределах временную и статистическую устойчивость русла по отношению к внешним воздействиям. Неустойчивость, обусловленная резким и внезапно возникшим дисбалансом наносов и проявляющаяся в интенсивных направленных деформациях, в есте-

ственных условиях связана с катастрофическими процессами: экстремально высокими половодьями, большими оползнями.

Если сохранение морфологических характеристик русла и отметок продольного профиля можно считать отражением статистической устойчивости русел, то возможность возникновения направленной трансформации русел под влиянием антропогенных факторов, а также экстремальных природных явлений, свидетельствует о временной статистической неустойчивости (Никора, 1992), при которой в определенном временном интервале происходят направленные изменения отметок дна реки. Скорость русловых деформаций (саморегулирования) можно связать с относительной стабильностью (подвижностью) русла, которая выражается соответствующими коэффициентами, например, отношением динамической скорости к гидравлической крупности (v^*/w), которое отражает расход руслообразующих (донных) наносов и их относительную подвижность, или коэффициентом стабильности русла Н.И. Маккавеева: $K_c = 100 d/Bl$.

Устойчивость русел средних и крупных рек к механическому изменению их рельефа определяется соотношением сил нарушения и сопротивления реки этому нарушению. Сила антропогенного нарушения может характеризоваться некоторой критической величиной механического изменения русла и/или основных факторов русловых процессов и длительностью воздействия. Таковыми являются искусственные изменения морфометрических и морфологических характеристик русла (ширины, глубины, радиуса кривизны, степени разветвленности, амплитуды колебания отметок дна в пределах плеса-переката), а также размеров стока воды и наносов, которые выходят за пределы естественных колебаний, наблюдавшихся на реке длительное время. Превышение воздействием критического уровня вызывает ответную реакцию русла, которая может проявляться локально, но может нарушить временную и статистическую устойчивость всего русла. Сопротивление русла нарушению определяется интенсивностью саморегулирования, которое зависит, в свою очередь, от подвижности (стабильности) русла, т.е. от интенсивности сезонных и многолетних деформаций, нивелирующих возникшие изменения. Д. Брансден и Д. Торнс (Brunsden, Thornes, 1979) предложили показатель изменчивости, выражающий подверженность форм рельефа внутренним и внешним изменениям – отношение среднего времени релаксации к среднему времени повторяемости нарушения. Можно предложить и другой показатель, характеризующий устойчивость русла – отношение времени реакции, за которое объект воспринимает изменения, к времени релаксации. Большое время релаксации, как и малое время реакции, отражают низкую устойчивость объекта к нарушениям.

Нарушение устойчивости русел рек с песчаным аллювием можно зафиксировать по величине параметра $M(1)$: если его значения на участке реки превышают 1,05, то он отличается пониженной транспортирующей способностью, и неустойчивость может реализоваться в аккумуляции нано-

сов. Наоборот, участки русла с $M < 0,75$ характеризуются неустойчивостью, которая проявляется в размыве русла (Гришанин, 1974).

Наиболее устойчивы русла рек к механическому воздействию, которое сосредоточено на уровне песчаных грядовых форм руслового рельефа. По мере перехода воздействия на другие структурные (иерархические) уровни (формы русла, пойма), а тем более при сопутствующем регулировании стока устойчивость русел рек к воздействию уменьшается. Границей устойчивости русел рек с песчаным аллювием к механическому воздействию можно считать величину $K_c = 4-5$. При больших величинах K_c русла рек неустойчивы, при меньших – устойчивы к механическим нарушениям благодаря свободному регулированию своего рельефа при изменяющихся гидравлических условиях. Так, для участка р. Оки от Калуги до Коломны, отличающегося достаточно крупным песчано-гравийным аллювием ($d_{cp} = 3-5$ мм) и коэффициентом стабильности 10-15, были характерны быстрые и большие посадки уровней воды, связанные с разработкой русловых карьеров. В то время в районе Рязани, где русло песчаное и $K_c = 2-3$, тот же вид механической нагрузки долгое время не приводил к изменениям продольного профиля реки.

В гравийно-галечных и галечно-валунных руслах коэффициент M зависит от крупности наносов, убывая с увеличением их размера, и не может служить критерием статистической устойчивости. Такие реки реагируют на механические нарушения русла резкими изменениями уклона, который по окончании воздействия долгое время или вообще не возвращается к исходной величине. Разная реакция песчаных и галечно-валунных рек на изменения их морфометрии и режима стока позволяет выделять эти два главных класса рек по их устойчивости к антропогенным воздействиям. Причиной разной реакции служат (Гришанин, 1992), разные гидравлические сопротивления. В песчаных руслах (крупность наносов < 10 мм) они не зависят от диаметра наносов и очень слабо зависят от формы русла (его относительной ширины); в то же время гидравлические сопротивления галечно-валунных русел сильно зависят от их морфометрии. Таким образом, даже существенное изменение формы русла песчаных рек не приводят к изменению уклона, и, следовательно, не нарушают их устойчивости; изменения морфологии галечно-валунных русел быстро сказываются на гидравлических сопротивлениях и способствуют изменению уклона.

Землечерпательные работы на водных путях приурочены к уровню крупных грядовых форм руслового рельефа и относятся к эпизодическим (или временным) воздействиям. В ходе искусственного понижения гребней перекатов меняется форма поперечного сечения русла – увеличивается его глубина, часто укрупняется аллювий. Вместе с тем на реках с песчаным аллювием даже длительное, в течение нескольких десятилетий, выполнение этих работ не приводит к сколько-нибудь существенным изменениям русловых процессов. Обычно происходит заметное уменьшение подвижности русла, что нередко играет положительную роль в обеспечении экологиче-

ской безопасности. Галечно-валунные реки реагируют на землечерпание по-другому. Разработка перекатов разрушает отмостку, благодаря чему выше и ниже по течению развиваются временные, но интенсивные деформации; уменьшение же относительной ширины приводит к уменьшению уклона и значительным «посадкам» уровней воды. Критической величиной воздействия при землечерпательных работах является так называемая гидравлически допустимая глубина, которая в галечно-валунных руслах существенно меньше, чем в песчаных.

При разработке русловых карьеров, не изолированных от основного русла, критическими величинами служат, прежде всего объем изымаемого грунта, который не должен превышать годового стока руслообразующих наносов, а также глубина добычи и длина карьеров. При этом разработка карьеров, хотя и носит временный характер, но принципиально отличается от землечерпания тем, что аллювий извлекается безвозвратно, что резко нарушает баланс наносов на участке реки. Нередко извлекается древний аллювий, абсолютно невосполнимый в современных условиях. Изменения морфометрии русел намного более существенны, так как размещение карьеров не согласовывается с формой русла и русловыми переформированиями. Реакция русла в виде глубинной эрозии развивается на любых реках, но в песчаных руслах время ее проявления достаточно большое, а после прекращения разработки происходит постепенное занесение отработанных емкостей русла, если только не нарушен баланс наносов другими факторами (нижние бьефы гидроузлов). Этот процесс идет с убывающей во времени интенсивностью, а начальная скорость занесения зависит от подвижности аллювия. В то же время разработка карьеров на галечно-валунных реках приводит к нарушению статистической устойчивости русел. Она сопровождается резкими и быстрыми «посадками» уровней из-за слабой размываемости дна, занесение отработанных емкостей происходит крайне медленными темпами из-за малого стока руслообразующих наносов. Время реакции очень короткое, местные изменения уклонов фиксируются сразу после начала разработки, а время релаксации, судя по современному стоку наносов, может занимать несколько столетий. Для таких рек характерно быстрое уменьшение подвижности русел во времени, что удлиняет срок восстановления после окончания воздействия.

При искусственном регулировании стока воды и наносов статистическая устойчивость русел всегда нарушается. Часто этот вид антропогенного воздействия сопряжен с созданием постоянных сооружений – плотин, перегораживающих реку. Река выше плотин перестает существовать как природный объект. Ниже плотин русла рек сохраняются, но резко трансформируются в зависимости от степени регулирования стока воды и наносов. Во всех случаях она выходит за пределы критических значений. Последствия нарушения статистической и временной устойчивости русла заключаются в возникновении интенсивных направленных вертикальных деформаций, интенсификации естественных горизонтальных деформаций,

изменению ландшафтного облика пойм. Русла рек не возвращаются к исходному состоянию даже в случае искусственного уничтожения причин, вызвавших нарушение устойчивости, т.е. плотин или иных сооружений. Величина трансформации русел в нижних бьефах плотин в значительной степени зависит от состава руслообразующих наносов. На реках с песчаным аллювием размыв происходит быстро, распространяясь на большое расстояние вниз по течению. Процесс адаптации русла к условиям стока воды и наносов занимает длительное время, и на большинстве рек еще далек от завершения, несмотря на то, что гидроузлы существуют уже десятилетия. На реках с галечно-валунным аллювием существенных вертикальных деформаций может не происходить, в русле быстро формируется отмостка, препятствующая размыву.

Важную роль в трансформации русел играет сезонное регулирование стока – уменьшение высоты паводков и паводков и увеличение водности в межень. Оно вместе с глубинной эрозией может привести к изменению их морфодинамического типа. Особенно характерно это для разветвленных на рукава рек, русла которых превращаются постепенно в прямолинейные неразветвленные или меандрирующие. Для большинства рек в нижних бьефах плотин характерно постепенное уменьшение подвижности русел, что приводит к дополнительному понижению уровней.

5.3. Бассейновый подход к использованию земельных, водных ресурсов и предотвращению неблагоприятных природных проявлений эрозионно-аккумулятивных процессов

Эрозионно-аккумулятивные процессы на склонах, в овражно-балочной сети и в руслах рек формируют поток вещества в эрозионно-русловых системах. Соответствуя бассейнам рек, ЭРС развиваются в связи с балансом вещества, который изменяется под влиянием хозяйственной деятельности в их пределах. При этом сами процессы, их зависимость от антропогенных факторов, формы и разнообразие искусственных воздействий неодинаковы в разных звеньях ЭРС – склоновом, связанным с деятельностью нерусловых потоков, овражно-балочном и русловом, функционирующем под влиянием постоянных речных потоков. Л.М. Короткий (2001) в связи с этим, но при более широком подходе, рассматривает водосборный бассейн как интегрирующую природно-хозяйственную систему. При этом «в рамках бассейновой концепции наиболее перспективно решается проблема организации, рационализации, оптимизации, ..., контроля природопользования и управления его процессами» (с. 39). Следуя этим идеям, применительно к ЭРС можно говорить о бассейновом подходе не только к изучению и оценке эрозионно-аккумулятивных процессов, но и к использованию водных и земельных ресурсов, разработке мер по борьбе с эрозией почв и овражной эрозией, регулированию русел и управлению русловыми процессами. Причем все эти прикладные проблемы могут решаться, в зави-

симости от уровня стоящей задачи, как на уровне бассейна конкретной реки, так и элементарного склонового бассейна, для всех звеньев (подсистем) ЭРС в совокупности, так и для каждого звена (подсистемы) в отдельности, но при обязательной оценке последствий антропогенных воздействий в верхних или нижних звеньях системы.

Фоновые типы природопользования (сельское, лесное, водное хозяйство), оказывающие наибольшее влияние на эрозионно-аккумулятивные процессы в *эрозионно-склоновом звене ЭРС*, «тесно связаны с зональными свойствами природы и заинтересованы в сохранении и развитии нужных им воспроизводственных свойств природных ландшафтов» (Рунова и др., 1993; с. 25). Это положение очевидно и бросается в глаза при самом поверхностном анализе любых мелкомасштабных карт землепользования. Но, несмотря на нивелирующее дифференциацию природных факторов влияние технологий использования земель, территориальная структура фоновых типов природопользования тесно связана с дифференциацией природной среды и на более низком, чем зональность, уровне – на уровне ландшафтов, урочищ и даже фаций. Яркие примеры ландшафтной «приуроченности» видов сельскохозяйственного использования земель приведены А.Н. Ракитниковым (1970), который, однако, подчеркивал невозможность оценки земель «вне их отношения к исторически меняющимся формам сельского хозяйства» (с. 208). Последнее положение можно отнести и к размещению видов и технологий использования земель.

Важнейшие экологически значимые характеристики эрозии почв (территориальное распределение типов эрозии, ее интенсивность, доставка продуктов эрозии в русловую сеть и т.д.) также теснейшим образом связаны с природной зональностью и ландшафтно-геоморфологическими условиями (Литвин, 1997). Причины такого соответствия ареалов ландшафтов (аглоландшафтов) и эрозионных ареалов с определенными характеристиками заключаются не только в оговоренных выше особенностях размещения видов и технологий землепользования, но и в территориальном совпадении многих из ландшафтообразующих свойств природных компонентов с комплексом свойств рельефа, почвы и климата, контролирующих тип и интенсивность эрозии. Г.И. Швец (1981) даже предлагал считать моделью эрозионного геокомплекса ландшафтную карту, доминантным признаком при построении которой служила бы эродированность почв. Возможно, это – некоторое преувеличение, поскольку ландшафтные ареалы выделяются по гораздо большему количеству признаков, чем эрозионно опасные земли, и ряд из них не имеет прямого отношения к современной эрозии (например, тектоника или единство генезиса). Так, В.Л. Крутиков (1974), выполнивший оценку и картографирование эрозионноопасных земель Московской области с использованием в качестве территориальных оценочных единиц ареалов природных территориальных комплексов ранга ландшафта, объединил в категорию эрозионнобезопасных и слабоопасных земель ландшафты вне зависимости от их генетической принадлежности.

Таким образом, согласованность территориальной структуры территориального распределения природно-антропогенных факторов эрозии с «ячеистой» (по В.Н. Солнцеву; 1974) структурой ландшафтов и, главное, агроландшафтов, служит объективным основанием для возможности (удобства) региональных оценок эрозии почв и региональности выбора противоэрозионных мероприятий, причем эта региональность включает в себя и основывается на бассейновой структуре самих регионов. Региональный подход к планированию противоэрозионных мероприятий позволяет комплексно учитывать в природоохранных проектах неблагоприятные явления (оползни, суффозию, карст и т.д.), косвенно связанные со склоновым стоком, но приуроченные к определенным ландшафтными выделам. Другой, пожалуй не менее важной, причиной «удобства» регионального подхода к проектированию природоохранных мероприятий в пределах эрозионно-склонового звена ЭРС служит ячеистость территориальной структуры административно-хозяйственных единиц всех рангов (ферма, колхоз, район и т.д.). Именно в рамках таких единиц финансируются и осуществляются подобные мероприятия. Такое разделение сил и средств, разумеется, при хотя бы минимальной согласованности усилий, может считаться удовлетворительным, когда речь идет о борьбе собственно с эрозией почв. Борьба же с негативными последствиями природно-антропогенных эрозионно-склоновых процессов для экологии целостных ЭРС требует существенных дополнений к региональным подходам, прежде всего, деления территории на ареалы водосборов-бассейнов.

Дело в том, что при ячеистости территориальной структуры большинства основных компонентов-факторов эрозии почв, сама эрозионно-склоновая подсистема, также как ЭРС в целом, является векторной каскадной системой. Прямые, направленные от верхних к нижним звеньям, связи и воздействия в таких системах абсолютно господствуют над обратными; «верхними» границами флювиальных систем поверхностного стока служат водоразделы, а ареалами функционирования каждой конкретной системы – водосборы (бассейны). При такой структуре усилия предпринимаемые для стабилизации системы или управлением процессами в нижних звеньях, без учета происходящего в верхних, часто оказываются растратой сил.

Свойства каскадности и векторности достаточно зримо сказываются уже в пределах эрозионно-склонового звена. Для их учета при оценке эрозии и осуществлении противоэрозионных мер еще А.С. Козменко (1954) предложил разделять земли на приводораздельные, склоновые и присетьювые. Осуществление почвозащитных мероприятий по водосборным бассейнам разного порядка и сверху вниз М.Н. Заславский (1987) полагал первым важнейшим принципом построения противоэрозионной системы земледелия. Эти положения вошли во многие инструкции и указания по проектированию мероприятий по защите почв от эрозии. Одновременно тот же М.Н. Заславский (Каштанов, Заславский, 1984) говорил о почвоводоохранном земледелии, имея в виду именно факт заиления, деградации, загрязнения

поверхностных вод продуктами эрозии почв; борьба с эрозией почв в этом случае превращается в систему мер в земледелии не только по защите почв, но и обеспечению качества вод и охране малых рек и водоемов.

Анализ причин *овражной эрозии*, закономерностей развития оврагов на территории и проектирование и размещение противоовражных мероприятий также следует рассматривать в пределах водосборных бассейнов, являющихся ареалами распространения оврагов. При этом определение параметров овражности может рассматриваться на уровне склонового водосбора, на котором развивается овраг, на уровне водосбора балки, суходола или малой реки и, наконец, на уровне большой реки. Этот уровень может быть назван региональным, поскольку крупная река имеет водосборный бассейн, захватывающий зачастую различные по природным условиям территории и их заовраженность характеризуется или осредненными по территории параметрами или оценочными критериями овражности, рассредоточенными по площади крупного водосбора в соответствии с природными особенностями отдельных его частей. Последние различия могут быть в морфологии и морфометрии правого и левого бортов долины реки или водосборов притоков, природные характеристики которых существенно отличаются от средних по бассейну, что не позволяет достаточно корректно делать оценки по средним данным.

Бассейновый подход к оценке овражной эрозии определяется представлением об оврагах как об одном из звеньев ЭРС, промежуточном или самостоятельном в отношении перемещения воды и наносов с водосборной площади со склонов в более крупные звенья эрозионной сети или в реки. В соответствии с «промежуточным» положением оврагов, они в первую очередь воспринимают изменения стока воды и наносов в пределах водосборного бассейна и реагируют на динамику речных русел. Бассейновая оценка количественных характеристик овражности позволяет через это звено оценивать реакцию водного режима рек на изменения условий стока на водосборе и в, обратной связи, при изменении стока давать обоснованную оценку развития линейных эрозионных форм на водосборе и условий формирования стока воды и наносов на плакорных частях водосборного бассейна.

Поскольку овражная эрозия является одним из наиболее ярких неблагоприятных форм проявлений эрозионно-аккумулятивных процессов бассейновый подход к её оценке позволяет для конкретных территорий дать характеристику предельной заовраженности и определить потенциал оврагообразования. Это, в свою очередь, дает возможность: 1) оценить размеры ущерба, который даст оврагообразование за счет потери площадей как самого оврага, так и прилежащих участков полевых угодий, которые, как показывают данные А.Г. Рожкова (1981), в 3 раза превышают площадь овражных форм; 2) оценить разрушаемые овражной эрозией земли в зависимости от их хозяйственного использования (пашня, линии связи, коммуникации); 3) оценить скорости роста оврагов, уже образовавшихся и развивающихся, и дать характеристику изменений во времени их длины, площади, объема; 4)

наметить целесообразный состав и размещение притивозерозийных мероприятий; 5) сопоставить размеры современной завраженности с потенциально возможной, на основе чего определить оврагоопасные водосборы и наметить их планирование для предотвращения возможного начала линейной эрозии, а также обоснованно наметить состав мероприятий по ограничению роста современных оврагов.

Количественная оценка потенциальной опасности овражной эрозии характеризуется следующими параметрами:

1) критическим уклоном склона ($J_{кр}$), превышение которого создает опасность развития оврага:

$$J_{кр} = J_0 + 0,04 \quad (5.4)$$

$$J_0 = Q^{-0,67} V_p^{0,7} n^2 A^{0,67}, \quad (5.5)$$

где Q – расход ливневого или талого стока с овражного водосбора, м³/с; V_p – размывающие скорости для почв и горных пород, слагающих склоновый водосбор, м/с; n – коэффициент шероховатости; A – коэффициент формы потока в русле оврага;

2) потенциалом длины оврага, определяемым по формуле:

$$l = (0,24 - 0,4) \frac{H_0 Q^{0,67}}{V_p^{2,7} n^2 A^{0,67}}, \quad (5.6)$$

где H_0 – глубина базиса эрозии овражного водосбора, м;

3) потенциалом глубины оврага, определяемым по зависимости

$$h = H_0 - H_1 - (L - x) \rho g \beta, \quad (5.7)$$

где h – длина склона, м; β – средний угол наклона поверхности от водораздела до створа бровки склона; x – расстояние от устья оврага до расчетного створа, м; $H_1 = J_0 x$ – превышение отметки тальвега в створе бровки склона над устьевым створом, м;

4) потенциалом площади –

$$\Phi = \left[1,3 \left(\frac{Q}{V_p} \right)^{0,5} + 1,75h \right] l \quad (5.8);$$

5) объемом оврага на выпуклом, средневыпуклом и прямом склонах определяемым в соответствии с зависимостью:

$$W = ah^2l, \quad (5.9)$$

где h – средняя глубина оврага, м; a – коэффициент формы склона, равным соответственно на выпуклом, средневыпуклом и прямом склонах: 0,36, 0,18, 0,05.

Потенциал каждого параметра на уровне овражного водосбора определяется в соответствии с зависимостями (5,4-5,9). Потенциал на уровне водосбора балочных и суходольных форм оценивается удельными параметрами овражности, т.е. отнесенными к единице площади. В этом случае для всех оврагов, которые могут образоваться на водосборе определяются: 1) N – общее их количество с учетом критического уклона, определяемого по зависимости (5,4); 2) Z – сумма длин всех оврагов; 3) F – общая площадь оврагов; 4) общий объем оврагов. Эти параметры в расчете на единицу площади балочного или суходольного водосбора представляют потенциал овражности, выраженный в традиционных показателях: плотности, ед/км², густоты, км/км², доли поражения площади и слоя овражной денудации. В полученных расчетом характеристиках потенциала содержатся и показатели современной заовраженности, представляющие собой его реализованную часть. Материалом для получения характеристик современной овражности являются, как правило, данные инструментальной съемки, выполненной в натуральных условиях, или топографические карты масштаба не менее 1:25 000. Полученные таким образом морфометрические параметры используются и для расчетного определения потенциала по зависимостям (5,4-5,9).

Русловое звено ЭРС при использовании земельных и водных ресурсов в зависимости от размеров рек по-разному реагирует на выполнение в их пределах мероприятий и в разной степени в обратной связи влияет при проведении в них регулировочных работ на состоянии эрозионно-склоновых и овражно-балочных звеньев. Известно, что эрозия почв на сельскохозяйственных землях – один из основных факторов заиления малых рек. Продукты эрозии почв приводят к быстрому заилению прудов в балках и на малых реках, а происходящее по мере этого процесса снижение емкости прудов при сохранении их водорегулирующей роли является фактором опасности разрушения плотин.

В лесной зоне обмеление или занесение наносами малых рек обычно приурочено к районам расположения крупных леспромхозов. Избыточное локальное поступление смытого с лесосек и трелевочных дорог материала – один из факторов формирования перекатов даже на больших реках. Соответственно, противоэрозионные мероприятия являются не только почво-, но и водоохранными (Каштанов, Заславский, 1984). В Китае выполне-

ние огромного количества работ по борьбе с эрозией почв на лессовом плато в бассейне р. Хуанхэ привело, по мнению китайских специалистов, к снижению стока наносов почти на 30 % (Чалов и др., 2000), хотя он остается на этой реке мировым эталоном размера стока наносов. В предгорных районах закрепление склонов, подверженных интенсивной эрозии (посадка растительности, террасирование и т.д.) обеспечивает ликвидацию селевой опасности, а русла рек со временем приобретают неселевой облик.

Обратная связь (русло – склоны) проявляется в основном через овражно-балочное звено. Подмыв коренных берегов рек способствует развитию береговых оврагов, разрушающих приречный земельный фонд или осложняющих сельскохозяйственное использование земель. Берегоукрепление или отвод потока от размываемого берега посредством выполнения регуляционных мероприятий (спрямление русла, разработка ранее мелководного рукава и т.д.) способствует замедлению овражной эрозии, овраги зарастают, превращаются в балки.

В свою очередь, мероприятия по борьбе с овражной эрозией на берегах рек создают условия для прекращения выносов из оврагов (или снижения их объемов), являющихся причиной образования перекатов на средних и даже больших реках. Последние размываются, либо облегчаются работы по их углублению. На урбанизированных территориях рациональное использование овражно-балочных форм (например, в рекреационных целях) снижает или прекращает вынос из них загрязняющих веществ в реки.

Чем больше река, тем более опосредованной становится зависимость русловых процессов на ней от эрозионно-аккумулятивных процессов в пределах ее бассейна. Однако на реках с очень большим стоком наносов преимущественно бассейнового происхождения (как в приведенном выше примере р. Хуанхэ), особенно в эрозионноопасных районах, борьба с эрозией почв (особенно с учетом переноса в реки загрязняющих веществ и радионуклидов) при использовании земельных ресурсов в их бассейнах становится одним из факторов охраны водных ресурсов. В России это особенно актуально в ЭРС юга Европейской части и Западной Сибири (нижний Дон, Терек, Кума, верхняя Обь и средний Иртыш с притоками).

ЛИТЕРАТУРА

Ажигиров А.А., Голосов В.Н., Добровольская Н.Г., Иванова Н.Н., Литвин Л.Ф. Эрозия почв и верхние звенья гидрографической сети // Экологические проблемы эрозии почв и русловых процессов. М.: изд-во Моск. Ун-та. 1992.

Алексеевский Н.И. Формирование и движение речных наносов. М. 1998. 202 с.

Алексеевский Н.И., Сидорчук А.Ю. Ускоренная эрозия в нарушенных горными работами ландшафтах (на примере бассейнов рек Омолоя и Яны) // Экологические проблемы эрозии почв и русловых процессов. М.: изд-во МГУ. 1992.

Алексеевский Н.И., Чалов Р.С. Движение наносов и русловые процессы. М., 1997.

Артамонов К.Ф. Устойчивые русла горных рек // Общие вопросы теории руслового процесса. Вып.1. Л.: Гидрометеиздат, 1986.

Баврин И.И., Матросов В.Л. Краткий курс теории вероятностей и математической статистики. М.: Прометей. 1989.

Барышников Н.Б. Антропогенное воздействие на русловые процессы. Л.: ЛГМИ, 1990.

Барышников Н.Б., Самусева Е.А. Русловые процессы в системе "бассейн – речной поток – русло" // Тр. Академии водохозяйственных наук. Вып. 1. М., 1995.

Бастраков Г.В. Эрозионная устойчивость рельефа и противоэрозионная защита земель. Брянск: Изд-во БГПИ. 1993.

Белоцерковский М.Ю. Потери почв при уборке картофеля и корнеплодов // Закономерности проявления эрозии и русловых процессов в различных природных условиях. М. Изд-во МГУ. 1987.

Белоцерковский М.Ю. Эрозионно-экологическое состояние пахотных земель европейской территории России // Проблемы оценки экологической напряженности территории России: факторы, районирование, последствия. М., 1996.

Белоцерковский М.Ю., Бушуева О.Г., Козловская М.Э., Ларионов Г.А., Пацукевич З.В., Филиппова Т.И. Напряженность экологической ситуации на пашне // Проблемы оценки экологической напряженности территории России: факторы, районирование. М.: Изд-во МГУ. 1993.

Белый Б.В., Иванов В.В., Никитина Л.Н., Чалов Р.С., Чернов А.В. Морфология и динамика русла нижнего течения Вычегды в период активных дноуглубительных работ и после их прекращения // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 13. М.: Изд-во МГУ. 2001.

Беркович К.М. Современная трансформация продольного профиля Верхней оки // Геоморфология, 1993, №3.

Беркович К.М., Власов Б.Н. Особенности русловых процессов на реках Нечерноземной зоны РСФСР // Вестн. МГУ. Сер. 5, География. 1982. №3.

Беркович К.М., Злотина Л.В. и др. Развитие русла среднего и нижнего Днестра в условиях интенсивной антропогенной нагрузки // Экологические проблемы эрозии почв и русловых процессов. М., 1992.

Беркович К.М., Зорина Е.Ф., Литвин Л.Ф., Сидорчук А.Ю., Чалов Р.С., Чернов А.В. Экологическое состояние и кризисные изменения эрозионно-русловых систем России под влиянием антропогенных нагрузок // География. Программа «Университеты России» М.: Изд-во МГУ. 1993.

Беркович К.М., Чалов Р.С., Чернов А.В. Экологическое состояние пойменно-русловых комплексов Европейской части России (факторы, критерии, районирование) // Проблемы оценки экологической напряженности территории России: факторы, районирование, последствия. М., 1996.

Бойченко З.А., Чуян Г.А., Тур О.П. Прогнозирование содержания биогенных элементов в стоке с сельскохозяйственных угодий // Агрехимия, 1985 №5.

Борьба с эрозией и селями в Дагестане. Махачкала. Дагестанское книжн. изд-во. 1977.

Бутаков Г.П., Дедков А.П., Кичигин А.Н., Мозжерин В.И., Голосов В.Н., Сидорчук А.Ю., Чернов А.В. Малые реки, как наиболее уязвимое звено речной сети // Эрозионные и русловые процессы. Вып. 2. М.: Изд-во Моск.ун-та. 1996.

Бутаков Г.П., Курбанова С.Г., Панин А.В., Перевощиков А.А., Серебренникова И.А. Формирование антропогенно обусловленного наилка на поймах рек Русской равнины // Эрозионные и русловые процессы. Вып. 3. М.: Изд-во Моск.ун-та. 2000.

Важнов А.Н. Гидрология рек. М.: изд-во Моск. ун-та. 1976.

Водные пути бассейна Лены. М.: МИКИС. 1995.

Воскресенский К.П. Сток рек и временных водотоков на территории лесостепной и степной зоны Европейской части СССР // Труды Гос. гидрол. ин-та. Вып. 29 (83). Л., 1951.

Ганжара Л.Н. О допустимых темпах смыва // Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях. М.: Изд-во МГУ. 1981.

Геннадиев А.Н., Герасимова М.И., Пацукевич З.В. Скорость почвообразования и допустимые нормы эрозии почв // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1987, № 3.

Геннадиев А.Н., Солнцева Н.П., Герасимова М.И. О принципах группировки и номенклатуры техногенно-измененных почв // Почвоведение. 1992, № 2.

Геоэкологические исследования при разведке и освоении россыпей. М.: Геоинформмарк. 1992.

Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М., 1977.

Голосов В.Н. Влияние антропогенных факторов на сток наносов рек бассейна Оки // География и природные ресурсы. 1989. №3.

Голосов В.Н. Аккумуляция в балках Русской Равнины // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 11. М.: Изд-во МГУ. 1998.

Голосов В.Н., Литвин Л.Ф. Смыв почвы в речном бассейне // Земледелие. 1987, № 8.

Горшков С.П. Экзодинамика освоенных территорий. Автореф. дисс. на соиск. док-ра геогр. наук. М.: МГУ. 1982.

Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель Российской Федерации за 1995 год. М.: РУССЛИТ. 1996.

Гришанин К.В. Гидравлические сопротивления естественных русел. С.-Петербург: гидрометеоздат, 1992.

Гришанин К.В. Устойчивость русел рек и каналов. Л.: Гидрометеоздат, 1974

Дарбутас А.А. Русловые процессы р. Немана (Нямунаса) и влияние на них антропогенного фактора: Автореф. канд. дисс. М., 1992.

Дегтярев В.В., Тоняев В.И. Охрана и рациональное использование водных ресурсов на речном транспорте. М.: Транспорт. 1982.

Дедков А.П., Мозжерин В.И. Основные подходы к изучению изменений режима стока и их геоморфологических следствий // Причины и механизм пересыхания малых рек. Казань: изд-во Казан.ун-та.1996.

Дедков А.П., Мозжерин В.И. Эрозия и сток наносов на Земле. Казань. Изд-во Казанского ун-та. 1984.

Добровольская Н.Г., Головченко А.В., Добровольская Т.Г., Зенова Г.М. Бактериальный сток реки Протвы // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 2001, № 2.

Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экологические функции почв. М.: Изд-во МГУ. 1986.

Жилко В.В., Жукова И.И., Черныш А.Р., Цыбулька Н.Н., Тишук Л.А. Потери гумуса и макроэлементов, вызываемые водной эрозией, из дерново-палево-подзолистых почв Белоруссии // Агрохимия, 1999, №10.

Завадский А.С., Чалов Р.С. Региональный анализ свободного меандрирования // Вестник Моск.ун-та, сер.5, География. 1997, №3.

Замарин Е.А. Транспортирующая способность и допускаемые скорости течения в каналах. М.-Л.: Гострансиздат, 1951.

Заславский М.Н. Эрозиоведение. Основы противозерозионного земледелия. М.:Высшая школа. 1987.

Заславский М.Н. Эрозия почв. М.: Изд-во "Мысль". 1979.

Зорина Е.Ф., Косов Б.Ф., Прохорова С.Д. Опыт оценки объема овражных выносов в бассейне р. Дона // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 1975. № 3.

Зубченко Г.В., Сулин Г.А. Рациональное использование водно-земельных ресурсов при обработке россыпей. М.: Недра. 1980.

Иванов В.В., Махинов А.Н., Чалов Р.С., Чернов А.В. Вертикальные русловые деформации на среднем Амуре // Вестник Моск. ун-та. Сер.5. География. 2000. № 5.

Иванов В.В., Чалов Р.С., Чернов А.В. Природно-антропогенная система "ЦБК-река" в аспекте русловых процессов (на примере Котласского ЦБК на р. Вычегде) // Экологические проблемы севера Европейской территории России. Тезисы докладов Всероссийского совещания 11-15 июня 1996 г. Апатиты, РАН Кольский научн. центр. 1996.

Иванова Н.Н. Экологические аспекты антропогенной деградации малых рек зон интенсивного сельскохозяйственного освоения // Экологические аспекты прикладной геоморфологии. М., 1995. С. 130-132.

Иванова Н.Н. Эрозионно-аккумулятивные процессы на водосборах верхних звеньев гидрографической сети: Автореферат канд. дисс. М.: МГУ. 1990.

Иванова Н.Н., Голосов В.Н., Панин А.В. Земледельческое освоение территории и отмирание рек Европейской части России // Геоморфология. 1996. №4.

Иванова Н.Н., Ларионов Г.А. Динамика протяженности малых рек: факторы и количественные оценки // Причины и механизм пересыхания малых рек. Казань: изд-во Казан.ун-та. 1996.

Инструкция по расчету гидрологических характеристик при проектировании противоэрозионных мероприятий. Л. Гидрометеиздат. 1982.

Калинин А.М. Формирование склонов долины Днестра и русловые процессы // Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях. М., 1987.

Камалова Е.В. О механизме переработки речных берегов // Вестн. МГУ. Сер. 5, География. 1988. № 3.

Карасев И.Ф. Русловые процессы при переброске стока. Л.: гидрометеиздат. 1975.

Караушев А.В. Теория и методы расчета речных наносов. Л.: гидрометеиздат. 1977.

Каштанов А.Н., Заславский М.Н. Почвоводоохранное земледелие. М.: Россельхозиздат. 1984.

Каштанов А.Н., Лисецкий Ф.Н., Швобс Г.И. Основы ландшафтно-экологического земледелия. М.: Колос. 1994.

Кирилловская Е.К., Гончаров Ю.Т. Технология бессточного водопользования при разработке россыпных месторождений арктических низменностей // Колыма, 1989, №7.

Киркби М. Дж. Эрозия и окружающая среда // Эрозия почв. М.: Колос. 1984.

Ковальчук И.П., Волос С.И., Холодько Л.П. Речные системы запада Украины: масштабы и тенденции трансформации структуры, механизм изменения состояния в XIX-XX веках // Причины и механизм пересыхания малых рек. Казань: изд-во Казан.ун-та. 1996.

Козменко А.С. Основы противоэрозионной мелиорации. М. 1954.

Кондратьев Н.Е., Ляпин А.Н. и др. Русловой процесс. Л., 1959.

Кондрин А.Г., Косарев А.Н., Полякова А.В. Экологическое состояние морей России // Проблемы оценки экологической напряженности территории России: факторы, районирование. М.: Изд-во МГУ. 1993.

Коронкевич Н.И. Водный баланс Русской равнины и его антропогенные изменения. М.: Наука. 1990.

Корытный Л.М. Бассейновая концепция в природопользовании. Иркутск: изд-во ИГ СО РАН. 2001.

Крошкин А.Н. К определению гидроморфометрических характеристик и средней весовой концентрации влекаемых наносов на горных реках // Движение наносов в открытых руслах. М.: Наука, 1970.

Крутиков В.Л. Физико-географические исследования при составлении генеральных схем противоэрозионных мероприятий. Автореф. канд дисс. Москва. 1974.

Кудеярова А.Ю. Педогеохимия орто- и полифосфатов в условиях применения удобрений. М.: Изд-во Наука. 1993.

Кузнецов В.К. Закономерности выноса фосфора в условиях Нечерноземья ЕТС в связи с проблемой эвтрофирования озер. Автореферат дисс. канд. географ. наук. Л. 1982.

Кузнецов М.С. Противоэрозионная стойкость почв. М.: Изд-во МГУ. 1981.

Кузнецов М.С., Пушкарева М.М., Флесс А.Д., Литвин Л.Ф., Блохин Е.Л., Демидов В.В. Прогноз интенсивности водной эрозии и миграция радионуклидов в загрязненных районах Брянской области // Почвоведение, 1995, № 5.

Ларионов Г. А. Эрозия и дефляция почв. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1993.

Ларионов Г.А., Краснов С.Ф. Гидрофизическая концепция эрозии почв // Почвоведение, 1997, № 5.

Ларионов Г.А., Литвин Л.Ф., Ажигиров А.А. Аккумулятивные намывные почвы как индикатор водной эрозии // География и природные ресурсы, 1990, № 3.

Леонов А.В., Соколова М.А., Абрамова Г.Н. Оценка влияния антропогенного воздействия на экосистему Южно-Уральского во-

дохранилища с помощью модели фосфорной системы // Водные ресурсы, Т 23, № 24, 1996.

Литвин Л.Ф. Геоморфологические основания классификации эрозии почв // Геоморфология, 1998, № 2.

Литвин Л.Ф. О классификации водной эрозии почв // Эрозия почв и русловые процессы. Вып 11. М.: Изд-во МГУ. 1998.

Литвин Л.Ф. Современная эрозия почв на сельскохозяйственных землях России // Почвоведение, 1997, №5.

Литвин Л.Ф. Эрозионно-аккумулятивные процессы в микроруслах на склонах // Геоморфология, 1981, № 7.

Литвин Л.Ф., Голосов В.Н., Добровольская Н.Г., Иванова Н.Н., Кирюхина З.П., Краснов С.Ф. Перераспределение ¹³⁷Cs процессами водной эрозии // Водные ресурсы. Том 23. № 3. 1996.

Лукашов А.А., Невяжский И.И. Принципы прогнозирования геоморфологических последствий отработки месторождений полезных ископаемых // Геоморфология, 1979, №4.

Лю Шугуан, Чалов Р.С. Направленные вертикальные деформации русел крупнейших рек России и Китая // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 1998. № 5.

Маккавеев Н.И. Денудационная составляющая баланса вещества в системе океан-суша и ее роль в формировании пенеппенов // Водные ресурсы, 1982, № 3.

Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955.

Маккавеев Н.И. Русловой процесс как одно из проявлений единого эрозионно-аккумулятивного процесса // Доклады секции русловых процессов научного совета "Комплексное использование и охрана водных ресурсов" ГКНТ. Вып. 1. Л., 1986.

Махинов А.Н., Чалов Р.С., Чернов А.В. Направленная аккумуляция наносов и морфология русла Нижнего Амура // Геоморфология. 1994. № 3.

Мирицхулава Ц.Е. Водная эрозия почв. Тбилиси.: "Мецниереба". 2000.

Михайлов В.Н. Гидрологические процессы в устьях рек. М., 1997.

Нежиховский Р.А. Русловая сеть бассейна и процесс формирования стока воды. Л.: Гидрометеиздат, 1971.

Никора В.И. Русловые процессы и гидравлика малых рек. Кисинев: Штиинца, 1992.

Овражная эрозия. М.: Изд-во МГУ. 1989.

Острова И.В., Силантьев А.Н., Литвин Л.Ф. и др. Оценка интенсивности эрозионно-аккумулятивных процессов на склонах по содержанию в почве цезия-137 // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1990, № 5.

Панин А.В., Иванова Н.Н., Голосов В.Н. Речная сеть и эрозионно-аккумулятивные процессы в бассейне верхнего Дона // Водные ресурсы. 1997. т.24. №6.

Парфенова В.В., Илялетдинов А.Н., Бакирова К.Ш., Новожилова М.И., Пономарева Л.П. Фосфатомобилизующие микроорганизмы в водной среде озер различной трофности // Водные ресурсы. 1993. т.20. №1.

Пацукевич З.В., Геннадиев А.Н., Герасимова М.И. Допустимый смыв и самовосстановление почв // Почвоведение. № 5. 1997.

Ракитников А.Н. География сельского хозяйства. М.: Мысль. 1970.

Ржаницын Н.А. Руслоформирующие процессы рек. Л.: Гидрометеиздат, 1985.

Рожков А.Г. Борьба с оврагами. М.: Колос. 1981.

Романова Э.П., Куракова Л.И., Ермаков Ю.Г. Природные ресурсы мира. М.: Изд-во МГУ. 1993.

Россинский К.И., Дебольский В.К. Речные наносы. М.: изд-во АН СССР. 1980.

Рунова Т.Г., Волкова И.Н., Нефедова Т.Г. Территориальная организация природопользования. М.: Наука. 1993.

Русловый режим рек Северной Евразии (в пределах бывшего СССР) // под ред. Р.С. Чалова. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1994.

Рысин И.И. Овражная эрозия в Удмуртии. Ижевск: Изд-во Ижевск. ун-та. 1998.

Сафина Г.Р. Экстремальная эрозия на востоке Русской равнины: природные и антропогенные факторы // Десятое межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Научные сообщения. Вологда. 1995.

Сидорчук А.Ю. Влияние баланса наносов на состояния малых рек в бассейнах Волги, Дона и Днестра // Причины и механизм пересыхания малых рек. Казань. Изд-во Казан. ун-та. 1996.

Сидорчук А.Ю. Эрозионно-аккумулятивные процессы на Русской равнине и проблемы заиления малых рек // Труды академии водохозяйственных наук. Вып. 1. М.: 1995.

Солнцев В.Н. О некоторых фундаментальных свойствах геосистемной структуры // Методы комплексных исследований геосистем. Иркутск. 1974.

Солнцев В.Н. Системная организация ландшафта. М.: Мысль. 1981.

Сток наносов его изучение и географическое распределение. Л.: Гидрометеиздат. 1977.

Терехова В.А., Семенова Т.А. Изменчивость микробиоты в условиях интенсивной антропогенной нагрузки Экологическая безопас-

ность и устойчивое развитие Самарской области. Вып. 3. Тольятти. ИЭВБ РАН. 1997.

Тимофеев Д.А., Чернышев Е.П. Изменения структуры стока и эрозии в пределах водосбора // Геоморфология. 1994. № 1.

Тонконогов В.Д., Шишов Л.Л. О классификации антропогеннопреобразованных почв // Почвоведение. 1990. № 1.

Хмелева Н.В., Виноградова О.В., Сысоева С.М. Об экологических последствиях воздействия разработок аллювиальных россыпей на русловые процессы // Геоморфология, 1995, № 3.

Хрисанов Н.И., Осипов Г.К. Управление эвтрофированием водоемов. Санкт-Петербург, Гидрометиздат, 1993.

Чалов Р.С. Законы флювиальной геоморфологии // Проблемы теоретической геоморфологии. М., 1988.

Чалов Р.С. Русловые процессы как гидрологическое явление и их геоморфологическое отражение // Гидрология и геоморфология речных систем. Иркутск, 1997.

Чалов Р.С., Лю Шугуан, Алексеевский Н.И. Сток наносов и русловые процессы на больших реках России и Китая. М., 2000.

Чалов Р.С., Чернов А.В. Экологические проблемы русла среднего и нижнего Днестра и пути их решения // География и природные ресурсы. 1991, № 2.

Чалов Р.С., Чернов А.В. Районирование территории России по экологическому состоянию речных русел и пойм // Проблемы оценки экологической напряженности территории России: факторы, районирование. М.: Изд-во МГУ. 1993.

Чернов А.В. Чтобы повысить плодородие поймы // Сельское хозяйство Молдавии, 1984. № 12.

Чернов А.В., Киселева Е.Г. Влияние природных условий на развитие и использование малых рек Нижегородского Заволжья // География на рубеже веков: проблемы регионального развития // Материалы международной научной конференции 22-25 сентября 1999 года. Том II. -Курск, 1999.

Швебс Г.И. Теоретические основы эрозиоведения. Киев-Одесса: Вища школа. 1981.

Шило Н.А. Основы учения о россыпях. М.: Наука. 1985.

Эдельштейн К.К. Водохранилища России: экологические проблемы, пути их решения. М.: ГЕОС. 1998.

Энгельс Ф. Диалектика природы. М., 1969.

Эрозия почв. М.: Колос. 1984.

Brunsdon D., Thornes J.B. Landscape sensitivity and change // Transaction Institute of British Geographers, N.S., 4, 1979.

Copeland O.L. Land use and ecological factors in relation to sediment yields // Proceedings of the Federal Inter-Agency Sedimentation

Conference. Agricultural Research Service Miscellaneous Publication. № 970. 1965.

Foster G.R. Understanding ephemeralgully erosion // Soil Conservation: Assessing the National Resources Inventory. 1986. V. 2.

Goni-Urriza M., Capderiy M., Paymond N., Quentin C., Caumette P. Impact of an urban effluent on the bacterial community structure in the Arga River (Spain), with special reference to culturable Gram-negative rods // Can. J. Microbiol. V/ 45. 1999.

Knighton D. River channels: environment and processes. N.Y.: Basil Blackwell Ink, 1987.

Rozhanskaya A.M., Concarov V.V. Life activity of bacteria in concrete pose // 5th – Int. Symp. Microb/ Ecol. (issue 5) Kyoto, Aug. 27 – Sept. 1., 1989.

Simon A. Adjustment and recovery of unstable alluvial channels: identification and approaches for engineering management // Earth surface processes and landforms. Vol. 20. 1995.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
Глава 1 Работа водных потоков и эрозионно-русловые системы	8
1.1. Эрозионно-аккумулятивные процессы и эрозионно-русловые системы (ЭРС): основные понятия, структура и механизмы функционирования	8
1.2. Взаимосвязи в эрозионно-русловых системах	15
1.3. Механизм перемещения вещества в эрозионно-русловых системах	22
Глава 2 Трансформация ЭРС в природно-технической системы	29
Глава 3 Экологическая напряженность в ЭРС и их звеньях	36
3.1. Природные предпосылки экологической напряженности в разных звеньях ЭРС	36
3.2. Антропогенные факторы экологической напряженности в ЭРС	51
3.3. Экологическая неоднозначность последствий техногенных воздействий на ЭРС	60
Глава 4 Комплексная оценка экологического состояния эрозионно-русловых систем	93
4.1. Эколого-экономическое обоснование выделения бассейнов рек как территориальных единиц ЭРС	93
4.2. Методика комплексной оценки экологического состояния ЭРС и районирование территории России	100
4.3. Характеристика экологического состояния эрозионно-русловых систем России (бассейновый подход)	107
4.4. Прогнозная оценка изменения экологического состояния ЭРС России	123
Глава 5 Экологическая безопасность эрозионно-русловых систем и ее обеспечение	132
5.1. Основные принципы обеспечения экологической безопасности ЭРС	132
5.2. Устойчивость ЭРС к изменениям природной среды и антропогенным воздействиям	133
5.3. Бассейновый подход к использованию земельных, водных ресурсов и предотвращению неблагоприятных проявлений эрозионно-аккумулятивных процессов	146
Литература	153

Научное издание
Экология эрозионно-русловых систем России
(коллектив авторов)

Ответственные за выпуск – М.Ю. Белоцерковский Л.В. Злотина
Подготовка оригинал – макета – С.Н. Ковалев
Компьютерная графика – Н.В. Анисимова

ЛР № от 02
Подписано в печать 2002. Формат 60x90/16
Офсетная печать. Усл. печ. л. 10,3.
Тираж 200 экз. Заказ №

Типография ордена «Знак Почета» Издательства МГУ.
11992, Москва, Ленинские горы