

## Загрязнение и очищение водотоков и водосборных территорий вследствие эрозии

© 2017. Н. В. Коломийцев, к. г.-м. н., доцент, ученый секретарь,  
Б. И. Корженевский, к. г.-м. н., с. н. с.,  
Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники  
и мелиорации им. А. Н. Костякова,  
127550, Россия, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44,  
e-mail: kolomiytsev@vniigim.ru, 542609@list.ru

При оценке негативного воздействия эрозии почв главное внимание уделяется потерям плодородия почв и, как следствие, потери урожая. При этом игнорируются другие последствия эрозии почв: заиление и загрязнение водоёмов, нарушение структуры и снижение устойчивости ландшафта к негативным воздействиям и др. Современное освоение склонов, их техногенно обусловленное состояние определяет эродированность, загрязнённость, транзит и аккумуляцию загрязнителей. В работе рассмотрена взаимозависимость современной морфологии склонов и их эродированности и её влияние на загрязнённость водных объектов. В зависимости от эродированного участка или территории процесс может оказывать двоякое влияние на загрязнение водного объекта. Механизм переноса загрязнителей и самоочищения определяется морфометрическими и гидрологическими характеристиками и гидрохимическим режимом водоёма, видами техногенного воздействия. Особая роль в процессах самоочищения рек принадлежит пойменным территориям. Влияние пойменных земель на состояние водных объектов двояко. С одной стороны, широкие поймы являются улучшающим фактором, осаждая в половодья загрязнители. С другой, интенсивное сельскохозяйственное использование пойменных земель нередко приводит к ухудшению экологической ситуации нижележащих водных экосистем. При смыве загрязнителей с городских и промышленных зон отмечается загрязнение донных отложений, что является наиболее типичной ситуацией. Обратная ситуация – достаточно редка. В случаях эрозионного стока с «условно чистых» территорий происходит разбавление загрязнённых донных отложений водных объектов. Представлены балльные оценки морфометрических показателей рельефа, интенсивность эрозионного процесса в зависимости от уклона, освещены принципы комплексной агроэкологической оценки и группировки земель для их рационального использования. Рассмотрена иерархия воздействия, как отдельных факторов, так и их совокупности в пределах экосистем. В четырёхгранной схеме его целесообразно градуировать в виде ряда: «слабое – умеренное – сильное – опасное». Отмечены события с возможным восстановлением системы при слабых воздействиях. Показано, что при сильных воздействиях возможна её трансформация в другую систему с новыми свойствами. Техногенные объекты являются источниками как повышения, так и сокращения эрозионной активности. В бассейнах с минимальным техногенным воздействием морфология склонов определяет транзит загрязнителей в пределах постоянных и временных водотоков, а в некоторых обстоятельствах и их аккумуляцию. В бассейнах, в которых ведётся интенсивная хозяйственная деятельность, искусственно созданная морфология склонов урбанизированных территорий может определять как загрязнение в зонах аккумуляции, так и очищение в зонах смыва загрязнителей и их транзита.

**Ключевые слова:** эрозия, загрязнённость, водные и техногенные объекты, малые реки, почвы, мониторинг земель, экосистемы.

## Contamination and purifying of water streams and landscapes due to erosion

N. V. Kolomiytsev, B. I. Korzhenevskiy,  
Kostyakov All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Irrigation,  
44, Bolshaya Akademicheskaya St., Moscow, Russia, 127550,  
e-mail: kolomiytsev@vniigim.ru, 542609@list.ru

Evaluating the negative impact of soil erosion they pay attention to loss of soil fertility and, thus, to loss of crop. At the same time other consequences of soil erosion are being often ignored, such as sedimentation and pollution of water bodies, structure violation and decrease of resistance to negative impacts of the landscape, etc. Erodibility, pollution, as well as transit and accumulation of pollutants depend on the present development of slopes. This paper considers the interrelation of the present morphology of slopes and their erodibility, as well as its influence on the pollution of water objects. Depending on the eroded site or territory the process can have a two-sided effect on pollution of the water body. The ways of transmitting pollutants and self-purification is determined by the morphometric and hydrological properties, and by the hydrochemical regime of the water body, as well as by the types of technogenic impact on it. Floodplains have a special influence on self-

purification processes. On the one hand, broad floodplains improve the situation, stimulating sedimentation of pollutants during floods, on the other hand, intensive agricultural utilization of floodplains causes degradation of the ecological situation in the lower water ecosystems. Washing away the pollutants from the city and the industrial areas leads to pollution of sediment, which is the most typical fact. It seldom happens otherwise. In case of erosion flood from “relatively clean” territories due to the influx of water the concentration of pollutants in bottom sediment gets a bit decreased. Morphometric relief indexes, as well as erosion intensity according to the degree of slope are given, the principles of complex agricultural-ecological assessment and lands classification are suggested for the sake of their rational use. The hierarchy of influence both of separate factors and their complexes within ecosystems is considered. According to a four-grade system it is to be ranged into “weak – moderate – strong – dangerous”. The cases with a possible restoration of the system at weak impacts are shown. It is shown that in case of a strong impact it is transformed into another system with other new properties. Technogenic objects are sources of increase of decrease of erosion activity. In pools with minimal technogenic impact slopes morphology determines pollutants transmission within permanent and temporary water flows, as well as their accumulation in some of them. In pools with intensive anthropogenic activity an artificial slope morphology of urban territories can determine both pollution in accumulation zones and purification in pollutants’ wash-off and transition.

**Keywords:** erosion, contamination, water bodies, small rivers, soil, land monitoring, ecosystem.

В условиях современного освоения склонов, их техногенно обусловленное состояние определяет эродируемость, загрязнённость, а также транзит и аккумуляцию загрязнителей. Одной из важнейших задач эрозионных исследований является оценка эрозионной опасности земель. Эрозионно опасными считаются такие земли, на которых сочетание природных условий (климата, рельефа, почв, подстилающих пород, осадков, хозяйственной деятельности) создаёт возможность проявления эрозии почв при их сельскохозяйственном использовании. Наибольшее распространение в мире получила водная и ветровая эрозия почв, третье место занимает химическая деградация (загрязнение) почв [1].

При оценке негативного воздействия эрозии почв главное внимание уделяется потерям их плодородия и, как следствие, потерям урожая. При этом игнорируются другие последствия эрозии почв: заиление и загрязнение водоёмов, нарушение структуры ландшафта и снижение его устойчивости к негативным воздействиям и др. Миграция загрязняющих веществ и поступление их в водные объекты приводят к загрязнению водных объектов различными химическими элементами и соединениями. Одно из ведущих мест занимает

комплекс вопросов, связанных с эрозионно-аккумулятивной деятельностью, в том числе вопросы соотношения между эрозионной и транспортирующей способностью водных потоков и поступлением в реки твёрдого материала со склонов.

### Методы исследования и подходы

Исследования проводили в пределах Московской и Владимирской областей с 1992 по 2012 гг. Несмотря на то, что для ряда территорий существует достаточно много экспериментальных данных о смыве почв по типам рельефа [2], для некоторых объектов эти данные отсутствуют. В этом случае степень проявления эрозии определяется по следующим шести группам: 1) очень слабая; 2) слабая; 3) умеренная; 4) значительная; 5) сильная; 6) катастрофическая (табл. 1) [3]. Также можно использовать логико-графическую схему эволюции склонов в ходе эволюционно-аккумулятивных процессов [4], которая показывает, что форма склонов является отражением этих процессов, а функция формы склона освещается посредством логического уравнения, описывающего связь отметок склона с их длиной.

Таблица 1

Балльная оценка морфометрических показателей рельефа

Категория уклона поверхности, град.	Коэффициент горизонтального расчленения, км/км <sup>2</sup>	Глубина местных базисов эрозии, м	Балл	Интенсивность эрозионных процессов
0–1	0,0–0,5	0–15	1	очень слабая
1–3	0,6–1,0	15–50	2	слабая
3–8	1,1–1,5	50–100	3	умеренная
8–15	1,6–2,0	100–200	4	значительная
15–30	2,1–2,5	200–600	5	сильная
более 30	более 2,5	более 600	6	катастрофическая

Таблица 2

Интенсивность эрозионного процесса в зависимости от уклона, коэффициента горизонтального расчленения

Уклон поверхности земли	Коэффициент горизонтального расчленения	Интенсивность эрозионного процесса
0,00–0,02	0,0–0,5	очень слабая
0,02–0,05	0,6–1,0	слабая
0,05–0,08	1,1–1,2	умеренная
0,09–0,10	1,3–1,5	значительная
более 0,1	> 1,6	сильная

Примечание: коэффициент горизонтального расчленения поверхности – отношение длины горизонтали к прямой, соединяющей её концы.

На «ступенчатом» склоне, на котором чередуются пологие и крутые участки, возможность эрозии резко уменьшается, т. к. террасы поглощают энергию потока. Потенциальная опасность развития эрозии почв определяется крутизной и длиной склонов. Для условий орошения (табл. 2) разработаны градации интенсивности эрозионных процессов в зависимости от уклона и коэффициента горизонтального расчленения [5].

Многообразие и сложность почвенного покрова, его особое место в природе и агропромышленном комплексе требуют комплексной агроэкологической оценки и группировки для рационального использования земель. Для этих целей используются:

- данные мониторинга земель, базирующиеся на результатах последних землеустроительных, почвенных, геоботанических, гидрологических, агрохимических, эрозионных, фитосанитарных и других обследований и изысканий;
- сведения о размещении на этих землях сельскохозяйственных культур;
- информация о продуктивности земель за последние 3–5 лет;
- оценка характеристик эрозии в аномальных условиях.

При группировке земель необходимо соблюдать два принципа: множество почвенных разновидностей должно быть сведено к минимальному числу внутренне однородных групп; эти группы должны иметь существенные агроэкологические различия [6]. Для условий малых рек бассейна средней и верхней Оки выделены четыре категории земель, близких по рельефным, почвенно-эрозионным, гидрогеологическим и агротехническим условиям и по потребности в проведении мелиоративных работ (табл. 3). Водосборы малых рек бассейна средней и верхней Оки по большинству параметров являются типичными лесоаграрными ландшафтами центральной части Русской равнины.

Приведённые в таблице 3 данные показывают, что при оценке эрозионной опасности земель существенную роль в смывности почв играет экспозиция склонов. Механизм переноса загрязнителей и самоочищения определяется морфометрическими и гидрологическими характеристиками и гидрохимическим режимом водоёма, видами техногенного воздействия. Особая роль в процессах самоочищения рек принадлежит пойменным территориям. Пойма реки обычно делится на три части: прирусловую – наиболее крутую и расчленённую; центральную – более протяжённую, занимающую среднюю часть,

Таблица 3

Агроэкологическая оценка земель бассейна р. Любожихи (приток р. Оки)

Категория земель	Крутизна склона	Тип смывности почв, земли			
		Южная и западная экспозиция		Северная и восточная экспозиция	
средний многолетний смыв со склонов пахотных земель, м <sup>3</sup> /(га·год)					
1	< 3	несмытые и среднесмытые	менее 13	несмытые	менее 8
2	3–5	сильносмытые	13–25	средне- и сильносмытые	8–13
3	5–8	сильносмытые	более 25	сильносмытые	более 13
4	более 8	долинно-балочные и овражные земли	нет пашни	долинно-балочные и овражные земли	нет пашни

и притеррасную – наиболее заниженную и заболоченную часть с наличием стариц и озёр. Это определяет высокую сложность структуры их почвенного покрова. В системе экологического мониторинга речного бассейна учёт роли пойменных территорий – необходимое составное звено, которое позволит более рационально вести сельскохозяйственное использование пойм, который состоит в следующей последовательности: анализ площадного развития морфоэлементов поймы; анализ почвенно-растительного покрова пойм; анализ использования пойменных земель; анализ гидрологического режима пойменных территорий; анализ загрязнённости пойменных почв. При мониторинге возникает необходимость выделения эталонных бассейнов рек, более глубокого изучения формирования их экосистем, гидробиологического режима, определения продуктивности земель [7]. Существуют различные подходы к типизации рек на основе учёта закономерного изменения гидробиологических характеристик по течению реки и ландшафтных особенностей водосборных бассейнов рек.

### Обсуждение результатов исследований

Реакция экосистем любого ранга зависит от того, в какой мере экологическое состояние окружающей среды адекватно условиям её гомеостаза, под которым понимается относительное динамическое постоянство состава и свойств внутренней структуры экосистемы [4]. Гомеостаз предполагает сохранение устойчивости экосистемы в условиях воздействия ряда факторов. При этом воздействие каждого фактора или их совокупности может быть оценено как минимальное, когда оно не вызывает реакции (возмущения) экосистемы, и максимальное, последствием которого может быть деградация экосистемы в целом или даже её гибель и переход по сути в новую экосистему. Диапазон между минимальным и максимальным уровнем воздействия факторов представляет собой предел толерантности экосистемы, т. е. тот диапазон изменения уровня воздействия, в пределах которого система способна за счёт своих адаптационных возможностей противостоять изменяющему её внутреннее состояние воздействию. По мнению [8], оптимальной на современном этапе является четырёхранговая оценочная структура, разработанная для экосистем [9]. Каждому интервалу, характеризующему реакцию живых организмов или экосистемы, должен соответствовать некоторый интервал, определяющий в заданных пределах изменение уровня внешнего

воздействия. В этой же четырёхранговой схеме его целесообразно градуировать в виде ряда воздействий: «слабое – умеренное – сильное – опасное». Нарушение равновесия эрозионно-аккумулятивных процессов при техногенной эволюции на территории бассейна вызывает изменения существующего баланса, которые проявляются в накоплении в водной системе органического и минерального вещества, увеличении темпов осадконакопления и оказывают прямое ухудшающее влияние на состав донных отложений.

Пики интенсивности седиментации сопровождаются пиками развития фитопланктонных сообществ и хорошо коррелируют с эрозионным поступлением органических и минеральных веществ [10]. При другом соотношении внешних факторов воздействие может иметь и улучшающий характер. Это особенно характерно для техногенно нагруженных территорий, когда эрозионный сток «разбавляет» загрязнённые наносы, поступающие с сопредельных, как правило, высоко урбанизированных земель. Это подтверждается нашими исследованиями по изучению загрязнения донных отложений рек тяжёлыми металлами и мышьяком. Так, в районе г. Ногинска содержание кадмия в донных отложениях (фракция менее 20 мкм) р. Клязьмы выше города составляло в 2003 г. 15,66 мг/кг, в городе – 11,43 мг/кг, ниже города – 7,28 мг/кг. Это объясняется тем, что поступление эродируемого материала в водные объекты способствует понижению концентраций тяжёлых металлов в донных отложениях посредством их разбавления более чистым материалом. Авторы располагают многими подобными примерами [11].

Влияние пойменных земель на состояние водных объектов также двояко. С одной стороны, широкие поймы являются улучшающим фактором. Осаждая большинство взвешенных частиц в период половодья, они способствуют улучшению экологической обстановки ниже по течению, т. е. снижают результирующую техногенного воздействия. Такие примеры многочисленны, и в этом главная экологическая роль пойм водных объектов. В то же время интенсивное сельскохозяйственное использование пойменных земель нередко приводит к ухудшению экологической ситуации нижележащих водных экосистем, когда накопившиеся загрязняющие вещества поступают в водотоки. Это, прежде всего, характерно для сельскохозяйственных территорий, где влияние промышленных сточных и коммунальных вод весьма незначительно.

### Заключение

Состав и свойства донных отложений являются отражением всей совокупности процессов, происходящих на водосборе и в водоёме. В бассейнах с минимальным техногенным воздействием морфология склонов определяет транзит загрязнителей в пределах постоянных и временных водотоков. При наличии хорошо выделяемой поймы значительная часть загрязнителей может откладываться на последней в соответствующих погодных условиях, определяя тем самым её очищающую роль. В аномальные годы высоких паводков, интенсивного снеготаяния и ливневых осадков отложившийся на пойме загрязнённый грунт может поступать в водотоки, определяя пойму как источник поступления загрязнителей.

На территориях, в пределах которых ведётся интенсивная хозяйственная деятельность, искусственно созданная морфология склонов определяет состояние бассейна. При квалифицированно выполненных противоэрозионных мероприятиях сооружения обычно предохраняют водные бассейны от поступления в них загрязнителей. Отмечаются случаи уменьшения концентраций тяжёлых металлов в донных отложениях за счёт материала, поступившего с водосборной территории. При неквалифицированном отношении к противоэрозионным мероприятиям или при их отсутствии городские и поселковые агломерации, а также сельскохозяйственные угодья являются источниками поступления загрязнителей в водотоки.

*Авторы выражают благодарность другу и коллеге, доктору биологических наук, профессору и просто хорошему человеку Анатолию Семёновичу Керженцеву, который 2 мая 2016 г. отпраздновал свой юбилей. Мы не можем не отметить долгие годы совместного плодотворного сотрудничества в рамках многочисленных российско-германских проектов. Юбиляр и его коллеги любезно предоставили нам возможность работать на опытном полигоне в бассейне реки Любожики – правый приток реки Оки. Полученные результаты в значительной степени приведены в вышеприведённой статье.*

### Литература

1. Керженцев А.С. Функциональная экология. М.: Наука, 2006. 259 с.
2. Моделирование эрозионных процессов на территории малого водосборного бассейна / Под ред. А.С. Керженцев, Р. Майснер. М.: Наука, 2006. 224 с.
3. Романова Э.П. Опыт мелиоративного картирования эрозионноопасных местностей зарубежных территорий //

Оценка и картирование эрозионно-опасных и дефляционноопасных земель. М.: МГУ, 1973. С. 46–50.

4. Гаршинев Е.А. Эрозионно-гидрологический процесс. Теория и модели. Волгоград: ВНИАЛМИ, 1999. 196 с.
5. Мелиорация и водное хозяйство. Т. 6. Орошение: справочник / Под ред. Б.Б. Шумакова. М.: Колос, 1990. 415 с.
6. Киселева О.Е., Коломийцев Н.В. Противоэрозионное обустройство склоновых земель в бассейнах малых рек на основе ГИС-технологий // Природообустройство. 2010. № 1. С. 21–27.
7. Ткачев Б.П., Булатов В.И. Малые реки: современное состояние и экологические проблемы: аналитический обзор. Новосибирск, 2002. 114 с.
8. Экологические функции литосферы / Под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во МГУ, 2000. 432 с.
9. Виноградов Б.В., Орлов В.А., Снакин В.В. Биотические критерии выделения зон экологического бедствия России // Известия РАН. Серия географическая. 1993. № 5. С. 77–89.
10. Мизандронцев И.Б. Химические процессы в донных отложениях водоемов. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1990. 176 с.
11. Коломийцев Н.В., Корженевский Б.И. Комплексная оценка уровней техногенных воздействий на водные объекты // Мелиорация и водное хозяйство. 2014. № 5–6. С. 56–62.

### References

1. Kerzhentsev A.S. Functional ecology. M.: Nauka, 2006. 259 p. (in Russian).
2. Modelling of erosion processes on the territory of a small catchment / Eds. A.S. Kerzhentsev, R. Maysner. M.: Nauka, 2006. 224 p. (in Russian).
3. Romanova E.P. Experience in reclamation mapping of erosion dangerous places in overseas territories // Evaluation and mapping of erosion-prone and deflation-dangerous lands. M.: MGU, 1973. P. 46–50 (in Russian).
4. Garshinev E.A. Erosion-hydrological process. Theory and models. Volgograd: VNIALMI, 1999. 196 p. (in Russian).
5. Irrigation and water management. T. 6. Irrigation: reference book / Ed. B.B. Shumakov. M.: Kolos, 1990. 415 p. (in Russian).
6. Kiseleva O.E., Kolomiitsev N.V. Erosion control arrangement of sloping lands in the basins of small rivers on the basis of GIS technologies // Prirodoobustroystvo. 2010. № 1. P. 21–27 (in Russian).
7. Tkachev B.P., Bulatov V.I. Small rivers: the current state and environmental problems: analytical survey. Novosibirsk, 2002. 114 p. (in Russian)
8. Ecological functions of lithosphere / Ed. V.T. Trofimov. M.: Izd-vo MGU, 2000. 432 p. (in Russian).
9. Vinogradov B.V., Orlov V.A., Snakin V.V. Biotic criteria of selection of Russian zones of ecological disaster // Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya. 1993. № 5. P. 77–89 (in Russian).
10. Mizandrontsev I.B. Chemical processes in the bottom sediments of water bodies. Novosibirsk: Nauka. Sibirskoye otdeleniye, 1990. 176 p. (in Russian).