

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
Географический факультет

# ЭРОЗИОННО-РУСЛОВЫЕ СИСТЕМЫ

МОНОГРАФИЯ

Под редакцией Р.С. Чалова (главный редактор),  
В.Н. Голосова, А.Ю. Сидорчука

Москва  
ИНФРА-М  
2017



Издание осуществлено при финансовой поддержке Российского фонда  
фундаментальных исследований по проекту № 17-15-00089;  
не подлежит продаже

Монография подготовлена по плану научного-исследовательских работ научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Макавеева и кафедры гидрологии суши МГУ имени М.В. Ломоносова в рамках Программы Президента РФ для поддержки ведущих научных школ (проекты НШ-790.2008.5, НШ-3284.2010.5, НШ-79-2012.5 и НШ-1010.2014.5) и по грантам Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 09-05-00221, 09-05-00554, 10-05-00193, 10-05-00857, 10-05-385, 10-05-00955, 10-05-00976, 11-05-00317, 12-05-00348, 12-05-01003, 13-05-00303, 13-05-00112, 13-05-00211, 14-05-00146, 15-05-03752, 15-05-09448, 16-05-00474)

#### Рецензенты:

Гареев А.М., доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой гидрологии и геоэкологии Башкирского государственного университета;

Рысин И.И., доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и природопользования Удмуртского государственного университета;

Боруж О.А., кандидат географических наук, доцент кафедры геоморфологии и палеогеографии Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

Эрозионно-русловые системы : монография / под ред. Р.С. Чалова, В.Н. Голосова, А.Ю. Сидорчука. — М.: ИНФРА-М, 2017. — 702 с. — (Научная мысль).

ISBN 978-5-16-013593-9

В монографии с единых методологических позиций рассмотрена эрозионно-аккумулятивная деятельность водных потоков на земной поверхности: от временных склоновых, формирующихся при выпадении дождей и таянии снега, до крупнейших рек и их устьев. Изложены основы теории эрозионно-русловых систем (ЭРС), объединяющих все формы проявления работы водных потоков, сформулированы общие законы эрозионных и русловых процессов, дано описание их механизма на всех структурных уровнях развития, предложены математические модели, выявлены различия в функционировании процессов в зависимости от размеров потоков и природных условий, показаны особенности взаимодействия различных звеньев ЭРС. Особое внимание уделено эволюции ЭРС при изменении природной среды и климата под влиянием активного земле- и водопользования и его трансформации при изменении экологических условий.

Монография предназначена географам, гидрологам, почвоведом, геоморфологам, широкому кругу специалистов, связанных с земельными и водными ресурсами, рациональным природопользованием, гидротехникой, эрозионными и русловыми процессами.

УДК 631.6(075.4)  
ББК 40.6

ISBN 978-5-16-013593-9

© Коллектив авторов, 2017

MOSCOW  
INFRA-M

Lomonosov Moscow State University  
Faculty of Geography

# CATCHMENT EROSION-FLUVIAL SYSTEMS

MONOGRAPH

Edited by R.S. Chalov (chief editor),  
V.N. Golosov, A.Yu. Sidorchuk

зодосбора, геологических, почвенных и геоботанических условий территории которых они развиваются.

ует отметить, что взаимосвязь развития эрозионных процессов на склонах вьх процессов рек в той или иной мере отмечали в середине XX в. амов, Г.Н. Лопатин, а несколько позднее А.В. Караушев, И.В. Попов, лдков и В.И. Мозжерин, но они ограничивались констатацией того, что на- леки поступают со всей площади бассейна, а речные долины есть продукт но-аккумулятивной деятельности рек за всю геологическую историю их а. Н.И. Маккаев впервые показал единство механизмов и сформулировал аконы совокупности и форм проявления эрозионно-аккумулятивных про- что нашло отражение в названии его книги «Русло реки и эрозия в ее бас-

вные идеи Н.И. Маккаева легли в основу научных направлений иссле- созданной им лаборатории. Первые их итоги, связанные с рассмотрением зюкупности эрозионно-аккумулятивных процессов в речном бассейне, убликованы в 1984 г. в монографии «Эрозионные процессы», подгото- три участия и под редакцией еще самого Н.И. Маккаева (к сожалению, ла в свет уже после его смерти), и в 1987 г. также в коллективной моно- «Работа водных потоков», которые можно рассматривать как два тома еди- чного произведения. Обе книги получили высокую оценку научной обще- ти, а известный гидролог М.И. Львович в телефонном разговоре назвал йным развитием идей Н.И. Маккаева его учениками. Несмотря на зна- й тираж (по сравнению с современными научными изданиями), книги тали библиографической редкостью.

пор прошло еще 30 лет, и созданная Н.И. Маккаевым лаборатория го- < своему 50-летию. За эти годы лабораторией опубликованы около 50 мо- й и учебников, многочисленные сборники статей, в том числе 19 выпусков а «Эрозия почв и русловые процессы», защищено свыше 50 кандидатских орских диссертаций; статьи сотрудников лаборатории регулярно публику- душих отечественных и зарубежных журналах. В них изложены результаты аний эрозии почв, овражной эрозии, русловых и устьевых процессов, обо- взаимосвязи между ними, сформулированы основные положения теории ю-русловых систем. Все это, однако, требовало обобщения, системати- представления в виде единого научного труда, подводящего итоги мно- деятельности лаборатории и опирающегося на современный уровень как всего маккаевского учения о едином эрозионно-аккумулятивном , так и его составляющих — эрозио-, овраго- и русловедения. Такая задача авлена в начале второго десятилетия XXI в., а к ее решению были привле- ти весь научный состав лаборатории и ряд сотрудников двух кафедр фа- Потребовалось несколько лет, чтобы была написана, согласована между 'рами и прошла полноценную научную редакцию монография, которая иносится на суд научного сообщества.

горы книги выражают искреннюю благодарность всем авторам книги, нию относившимся к их замечаниям и предложениям в ходе работы пишу и при ее редактировании, Н.В. Анисимовой, взявшей на себя одготовке иллюстративного материала, В.Н. Никитаевой, обеспечившей рный набор большей части книги, С.Н. Ковалеву и И.И. Никольской разделов книги), взявшим на себя труд сверки ссылок на литературные и и окончательной подготовки книги к представлению в издательство.

авторам глав и разделов монографии являются:

предисловие — Р.С. Чалов;  
введение — Р.С. Чалов;

глава 1: § 1.1 — Р.С. Чалов; § 1.2: разд. 1.2.1 — Н.И. Алексеевский, В.Н. Голосов, Л.Ф. Литвин, Р.Р. Муракаев, разд. 1.2.2 — В.П. Бондарев, разд. 1.2.3 — Н.И. Алексеевский, Р.Р. Муракаев, С.Р. Чалов, разд. 1.2.4 — А.Ю. Сидорчук; § 1.3 — В.Н. Голосов, А.Ю. Сидорчук; § 1.4 — Н.И. Алексеевский, А.Г. Косицкий, О.М. Пахова; § 1.5 — Н.Г. Добровольская;

глава 2: § 2.1: разд. 2.1.1 — А.Ю. Сидорчук, разд. 2.1.2 — Г.А. Ларионов, С.Ф. Краснов, разд. 2.1.3 — Г.А. Ларионов, разд. 2.1.4 — Г.А. Ларионов, Л.Ф. Литвин, Н.Г. Добровольская, З.П. Кириухина, С.Ф. Краснов, А.В. Горобец, О.Г. Бушуева, разд. 2.1.5 — Г.А. Ларионов, Л.Ф. Литвин, Н.Г. Добровольская, З.П. Кириухина, С.Ф. Краснов, Л.В. Кобыльченко, разд. 2.1.6 — Г.А. Ларионов, разд. 2.1.7 — Г.А. Ларионов, С.Ф. Краснов, Л.Ф. Литвин, Н.Г. Добровольская, З.П. Кириухина, разд. 2.1.8 — А.Ю. Сидорчук; § 2.2 — Л.Ф. Литвин; § 2.3 — В.Н. Голосов, В.Р. Беляев, М.В. Маркелов;

глава 3: § 3.1 — С.Н. Ковалев, И.И. Никольская, Е.Ф. Зорина; § 3.2 — А.Ю. Сидорчук; § 3.3 — С.Н. Ковалев, С.Д. Прохорова; § 3.4 — С.Н. Ковалев, И.И. Никольская; § 3.5 — В.Н. Голосов, С.Н. Ковалев, М.В. Веретенникова; § 3.6 — А.М. Тарбева, М.В. Веретенникова, С.Н. Ковалев;

глава 4: § 4.1 — А.Ю. Сидорчук; § 4.2 — Н.И. Алексеевский, А.Ю. Сидорчук; § 4.3 — К.М. Беркович, Н.Н. Виноградова, Р.С. Чалов; § 4.4: разд. 4.4.1 — Р.С. Чалов, Н.Н. Виноградова, разд. 4.4.2 — Р.С. Чалов, А.С. Завадский, А.В. Чернов, разд. 4.4.3 — Р.С. Чалов, А.С. Завадский, С.Р. Чалов, Н.И. Алексеевский, С.Н. Рулева, Н.М. Михайлова, А.С. Чалова, В.В. Иванов, разд. 4.4.4 — Р.С. Чалов, А.В. Чернов, А.С. Завадский, разд. 4.4.5 — Р.С. Чалов, С.Р. Чалов, Н.Н. Виноградова, И.В. Крыленко, А.С. Чалова, А.М. Тарбева; § 4.5 — Р.С. Чалов, Л.А. Турькин, С.Р. Чалов, Н.М. Михайлова; § 4.6 — А.В. Чернов, В.В. Сурков, Л.В. Зло- тина;

глава 5: § 5.1 — В.Н. Коротаев; § 5.2 — Н.И. Алексеевский; § 5.3 — Н.И. Алексеевский, В.Н. Коротаев; § 5.4 — В.Н. Коротаев, Н.И. Алексеевский; § 5.5 — В.Н. Коротаев;

глава 6: § 6.1 — В.Н. Голосов; § 6.2 — Л.Ф. Литвин, В.Н. Голосов; § 6.3 — В.Н. Голосов, Н.Н. Иванова; § 6.4 — Л.Ф. Литвин; § 6.5 — А.В. Чернов, В.Н. Голосов, В.В. Сурков; § 6.6 — Н.И. Алексеевский, В.Н. Коротаев;

глава 7: § 7.1 — А.В. Панин; § 7.2 — А.В. Панин; § 7.3 — А.Ю. Сидорчук, А.В. Чернов, А.В. Панин, О.К. Борисова; § 7.4 — О.В. Виноградова, Н.Н. Виноградова; § 7.5 — В.Н. Коротаев;

глава 8: § 8.1: разд. 8.1.1 — В.Н. Голосов, Г.А. Ларионов, А.Ю. Сидорчук, разд. 8.1.2 — З.П. Кириухина, Л.Ф. Литвин, Н.Г. Добровольская; § 8.2: разд. 8.2.1 — С.Н. Ковалев, И.И. Никольская, С.Д. Прохорова, разд. 8.2.2 — С.Н. Ковалев, М.В. Веретенникова, Т.С. Ефремова; § 8.3: разд. 8.3.1 — В.Н. Голосов, Н.Н. Иванова, разд. 8.3.2 — К.М. Беркович, Н.Н. Виноградова, С.Н. Рулева, Р.С. Чалов; § 8.4 — В.Н. Коротаев, В.В. Иванов.

(до 10 раз и более) снижают интенсивность смыва. Это уменьшение интенсивности эрозии кроется во влиянии, которое оказывают частицы наносов на сцепление между агрегатами почвы, заполняя межагрегатные поры. Собственно взвешенные наносы не влияют на эродирующую способность потоков, как это имеет место в случае донных наносов; они повышают сопротивляемость поверхности слоя почвы размыву в результате заиления межагрегатных пор, что приводит к увеличению сил сцепления между частицами почвы.

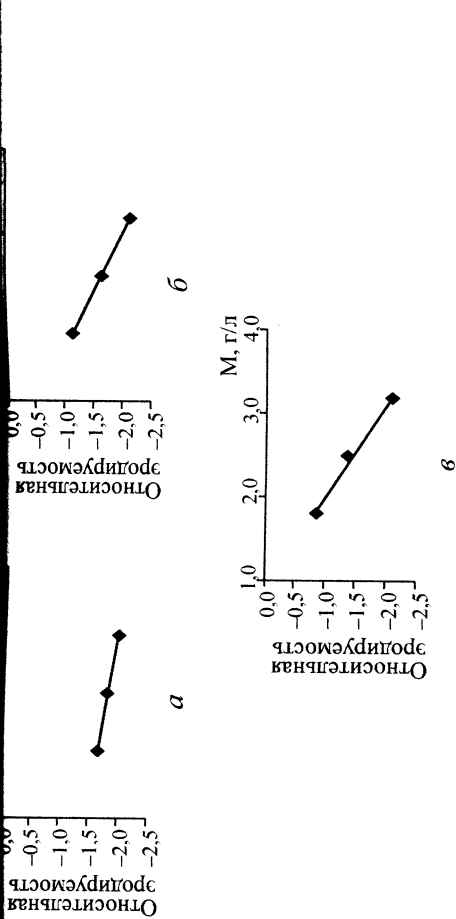
Таким образом, в физически обоснованных моделях эрозии почв обязательно должен присутствовать блок, учитывающий влияние донных и взвешенных наносов на эродируемость почвы. В первом приближении для этой цели можно использовать предложенные выше зависимости. Эксперименты показали, что инфильтрация воды в почву через ложе потока также оказывает существенное влияние на интенсивность отрыва почвенных частиц. Особенно велико это влияние при малой плотности почвы. С ростом плотности почвы оно быстро снижается и, вероятно, при плотности  $1,4 \text{ г/см}^3$  и более ею можно пренебречь. Причем в потоке со взвешенными наносами инфильтрация воды в почву способствует интенсивному заилению межагрегатных пор и снижению эродируемости почвы. Вместе с тем есть основания полагать, что степень этого влияния зависит не только от плотности почвы и мутности потока, но и от гранулометрического и минералогического состава взвешенных наносов.

### 2.1.5. Взаимодействия потоков с почвой в области высоких скоростей

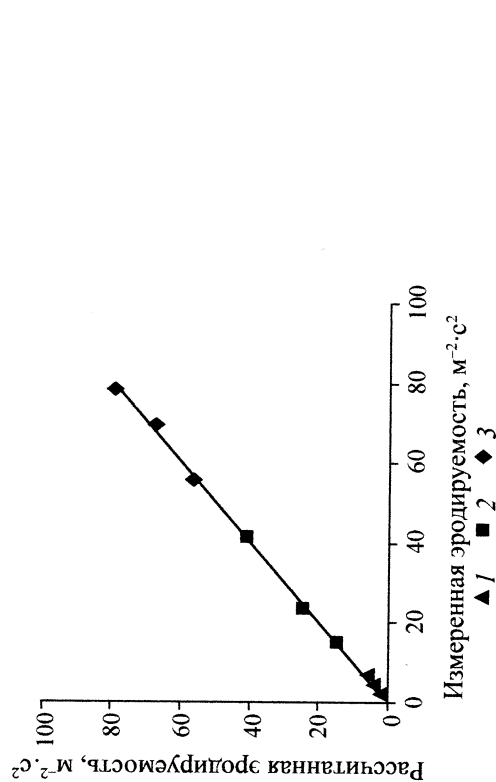
Все рассмотренные экспериментальные данные были получены в небольшом диапазоне скоростей (от 0,2–0,3 до 1,5–1,6 м/с). По данным натурных наблюдений [География..., 2006] скорости течения в склоновых потоках в период снеготаяния лишь в исключительных случаях превышают верхний предел диапазона скоростей. Однако интенсивность водоотдачи при выпадении ливневых осадков значительно выше и, следовательно, в этих случаях на склонах могут формироваться более мощные потоки со скоростями существенно выше приведенных ранее значений. О необходимости исследования размыва почвы в более широком диапазоне скоростей свидетельствуют также результаты многолетних исследований на Кошкостонской эрозионной опытной станции США, согласно которым вклад долей редкой обеспеченности в суммарный многолетний смыв с полевых водосборов достигает 60–70% [Edwards, Owens, 1991].

В связи с этим были проведены исследования в более широком диапазоне скоростей — вплоть до 6–7 м/с. Такие скорости в лотке с открытой поверхностью воды невозможны, поэтому размыв почвы проводился струей воды, направленной нормально к поверхности почвенного образца или под углом  $1-2^\circ$ . В первом случае струя воды, ударяясь о поверхность образца почвы, растекается по ней во все стороны радиально от точки пересечения оси струи с поверхностью, которая называется точкой торможения. Скорость растекания принимается равной скорости воды в струе. Соответственно принимается, что процесс отрыва частиц почвы в этом случае не отличается от механизма отрыва частиц грунта со дна потока. Ц.Е. Мирдахулава [1970], основываясь на этих представлениях, разработал модель размыва грунта водопадом в вершине оврага.

Результаты исследования размыва монозернистых образцов черноземных почв нарушенного строения (табл. 2.6) струей воды, подходящей под небольшим углом



2.4. Зависимость эродируемости образцов почвы от мутности потока  $\alpha$  при плотности: а —  $1,1 \text{ г/см}^3$ ; б —  $1,2 \text{ г/см}^3$ ; в —  $1,3 \text{ г/см}^3$ ;  $\alpha$  — коэффициент в уравнении (2.59) по логарифмической шкале



2.5. Сопоставление измеренной и рассчитанной эродируемости почвы различной плотности (1 — 1,1; 2 — 1,2; 3 — 1,3 г/см³) при мутности потока:

1 — 1,1; 2 — 1,2; 3 — 1,3 г/см³

донных наносов удовлетворительно описывается показательной функцией. У донных наносов, твердость которых меньше твердости размываемого материала или равна ей, находится в обратной зависимости от плотности материала в. Наносы с твердостью выше, чем твердость размываемого материала, вызывают коррозию ложа потока. Влияние коррозии намного превышает защитный эффект донных наносов — наличие в потоке крупного песка и мелкой гальки уже при концентрации  $1 \text{ г/л}$  в 5 раз увеличивает скорость размыва.

