

УДК 504.06:551.435.11(470.51)

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУСЛОВЫХ РАЗМЫВОВ НА РЕКАХ УДМУРТИИ

И. И. Рысин, И. И. Григорьев, Л. Н. Петухова

*Удмуртский государственный университет, ул. Университетская, 1,
426034, г. Ижевск, Россия, rysin.iwan@yandex.ru*

Исследована проблема размыва русел за 2000-2023 гг. на 55 ключевых участках, расположенных на реках разной величины, протекающих в условиях различных ландшафтов Удмуртии. Скорости размыва определялись с помощью реперов и тахеометрической съемки. Для анализа полученных результатов реки были разделены на 4 группы по величине их порядков (по методике А. Е. Шайдеггера). Приводится анализ размывов за 24-летний временной интервал по группам рек.

Ключевые слова: скорость размыва рек; реперы; мониторинг; корреляционный анализ; Удмуртская Республика.

GEOECOLOGICAL PECULIARITIES OF CHANNEL EROSION ON RIVERS OF UDMURTIA

I. I. Rysin, I. I. Grigoriev, L. N. Petukhova

*Udmurt State University, st. Universitetskaya, 1, 426034, Izhevsk, Russia,
rysin.iwan@yandex.ru*

The problem of channel erosion for 2000-2023 was studied at 55 key sites located on rivers of different sizes flowing in different landscapes of Udmurtia. Erosion rates were determined using benchmarks and tacheometric surveys. To analyze the results obtained, the rivers were divided into 4 groups according to the size of their orders (according to the method of A.E. Scheidegger). An analysis of erosion over a 24-year time interval for groups of rivers is provided.

Keywords: river erosion rate, benchmarks, monitoring, correlation analysis, Udmurt Republic.

Для рационального водопользования и охраны водных экосистем необходимы исследования характеристик русел и русловых деформаций, поскольку они тесно взаимосвязаны и являются составной частью эрозионно-русловых систем. Размывы берегов рек — наиболее эффективное проявление русловых деформаций. Наряду с гидрометеорологическими факторами, большую роль на изменение эрозионно-русловых систем играет хозяйственное преобразование ландшафтов [1, с. 55; 2, с. 195].

Целью данной работы является анализ многолетней динамики скоростей русловых размывов на реках Удмуртии, различающихся как порядком, так и ландшафтными особенностями их бассейнов, и выявление наиболее значимых факторов с помощью корреляционного анализа. Для этого на территории Удмуртской Республики (УР) по топографическим картам было выделено 55 ключевых участков, охватывающих реки разного порядка и различные ландшафты [3, с. 46]. Полевые работы на изучаемых реках проводятся ежегодно с 1999 г. в летний период (чаще в июле), а на отдельных участках (около г. Ижевска), еще дополнительно весной (май) и осенью (октябрь). Данные мониторинга русловых размывов послужат в дальнейшем основой для прогнозирования развития излучин в конкретных ландшафтно-геоморфологических условиях с целью предотвращения опасных геозкологических ситуаций.

Одним из методов изучения динамики рельефа является метод стержней и марок. Сущность его заключается в проведении повторных замеров расстояний до неподвижных стержневых реперов или марок. Для определения скоростей размыва на всех ключевых участках было заложено около 300 реперов и марок, а в пределах 30 участков осуществлялась тахеометрическая съемка размываемого берегового уступа.

Анализ полученных за 24 года полевых данных свидетельствует о большом диапазоне скоростей бокового размыва. При этом имеются существенные различия по рекам, отличающимся размерами (порядком, водоносностью и т. д.). Одной из характеристик водотока, дающей осредненное представление о размере реки, условным индексом речного потока является порядок реки. Для рек территории УР расчет их порядков выполнялся по методике А. Е. Шайдеггера [4]:

$$N = \log_2(P) + 1,$$

где P – число притоков 1-го порядка (притоком 1-го порядка считается река длиной менее 10 км). Для территории УР предлагается относить реки 1–6-го порядка к очень малым, 6,1–9-го порядка к малым, реки 9,1–14-го порядка — к средним и свыше 14,1 порядка — к большим.

Анализ показал, что наибольшие скорости размыва характерны для рек с порядком выше 9,0. Максимальные значения размыва, наблюдаемые на таких реках, достигают 6–8 м и более, среднегодовые скорости размыва колеблются в интервале 0,8–3,1 м/год. На р. Вятка (пр. приток р. Кама), имеющей 15-й порядок, среднегодовые скорости размыва превышают 3–5 м/год, а максимальные из зафиксированных значений составляют 12–15 м/год. Достаточно активно проявляются горизонтальные русловые деформации на

р. Чепца (лев. приток р. Вятка) у д. Яр (порядок 12,3): среднегодовые скорости размыва здесь составляют обычно 1-3 м/год, а максимальные – 7,1 м были отмечены в 2005 г.

Для малых рек (6,1-9,0 порядок) средние скорости отступления берега составляют 0,4-0,6 м/год. Но на отдельных участках размывы намного выше: на р. Кырыкмас (лев. приток р. Иж) у д. Тавзямал в 2012 году максимальный размыв составил 5,05 м, в 2017 г., соответственно – 5,35 м. На р. Пызеп (пр. приток р. Чепца) у д. Бани в 2012 году максимальный размыв на одном из участков составил 4,8 м, а в 2019 г. данный показатель достиг 5,5 м.

Для очень малых рек (порядок 6,0 и менее) значения средних скоростей размыва составляет – 0,1-0,3 м/год, хотя в некоторых местах зарегистрировано смещение берега на 1 м и более. Так, на участке реки Шаркан у д. Титово (порядок 5,6) средний максимальный размыв в 2000 и в 2003 гг. превысил 2 м. На реке Адамка у с. Грахово (порядок 3,8) средний максимальный размыв в 2011 году составил 4,2 м, а на р. Агрызка у д. Баграш-Бигра (порядок 4,5) максимальный размыв в 2003 г. составил 8,1 м, что было вызвано прорывом земляной дамбы пруда.

Все вышесказанное подтверждается и рассчитанными статистическими зависимостями между среднегодовыми и среднемаксимальными размывами с одной стороны и величиной порядка реки, с другой. Установлена криволинейная зависимость экспоненциального вида, поэтому наряду с обычным коэффициентом корреляции (r) были рассчитаны корреляционное отношение (η) и квадрат корреляционного отношения (η^2) по методике Г. Ф. Лакина [5]. Коэффициенты корреляции между среднегодовыми размывами и порядком реки ($r=0.54$; $\eta=0.51$; $\eta^2=0.26$) указывают на достаточно тесную связь, что наглядно видно и на графике. Показатели связи между среднемаксимальными размывами и порядком реки ($r=0.59$; $\eta=0.682$; $\eta^2=0.464$) также свидетельствуют о высокой взаимосвязи. Полученные зависимости описываются экспоненциальными уравнениями и близки к ранее полученным зависимостям [3, с. 100; 6, с. 128].

Анализ результатов реперных замеров за 24 года по всем рекам показал, что в настоящее время отмечается тенденция уменьшения скоростей береговых размывов как для среднегодовых, так и среднемаксимальных значений. Возможно, это связано с тем, что в последние годы снижается интенсивность половодного и паводочного стока на исследуемых реках, что не всегда подтверждается данными тахеометрических съемок.

Несколько иная картина наблюдается, если рассматривать графики отдельно по группам рек. На самых малых реках с порядком водотоков от 6 и менее, на двух графиках отчетливо выделяется хорошо выраженный

отрицательный тренд. Если для среднегодовых значений максимумы характерны для 2011 (0,51 м) и 2003 (0,43 м) гг., то для среднемаксимальных значений максимум смещен на правую сторону графика и отмечен в 2018 г. (1,67 м), при этом второй максимум совпадает с первым для средних значений и зарегистрирован в 2011 г. (1,34 м).

Для 28 малых рек (порядок 6,1-9,0) на графике среднегодовых размывов отрицательный тренд практически не заметен. Минимальные значения характерны для левой части графика и зарегистрированы в 2004 (0,14 м) и 2009 гг. (0,17 м), но в 2023 г. отмечено наинизшее значение (0,13 м). Два одинаковых максимума наблюдались в 2006 и 2016 гг. (0,47 м), третий максимум отмечался в 2022 г. (0,44 м). Для среднемаксимальных размывов график существенно отличается, здесь отчетливо выражен отрицательный тренд. Максимальные значения отмечались в начале наблюдений — в 2001 (1,15 м) и 2006 гг. (1,17 м), а минимумы смещены в правую часть графика и отмечались в последние годы — в 2020 (0,41 м), 2021 (0,40 м) и 2023 гг. (0,3 м).

Наблюдения на средних водотоках (порядок 9,1-14,0) осуществляется на 5 реках в пределах 12 участков. Оба графика имеют хорошо выраженный отрицательный тренд с соответствующими уравнениями. Максимальные значения среднегодовых размывов были отмечены в 2001 (0,75 м) и 2005 гг. (0,72 м), минимальные, соответственно — в 2021 и 2023 гг. (0,16 м). Для среднемаксимальных размывов минимальные значения наблюдались, как и для предыдущей группы рек, в последние годы — в 2020 (0,38 м) и 2023 гг. (0,34 м), максимумы были отмечены в 2005 (2,29 м) и 2010 гг. (1,64 м).

Графики среднегодовых и максимальных значений размыва за анализируемый период для р. Вятка на участке «Крымская Слудка» очень близки по характеру рисунка и имеют отчетливо выраженный отрицательный тренд. Наибольшие значения среднегодовых (5,9 м) и максимальных размывов (15 м) были зарегистрированы в 2005 г., как и для группы средних рек. Второй максимум значений для среднегодовых размывов был отмечен в 2010 г. (4,5 м), а для максимальных размывов, соответственно в 2002 г. (14,2 м). Минимальные значения размывов были зафиксированы в 2015 г.: для среднегодовых значений, соответственно — 0,35 м, а для максимальных — 0,6 м.

Для малых рек статистически достоверная связь между максимальными скоростями размыва и максимальными расходами установлена для р. Лоза (лев. приток р. Чепца) на ключевом участке у пос. Игра (порядок реки 8,8), где имеется гидрологический пост с рядами наблюдений за 2002-2018 гг. Для данной реки выявлена также высокая положительная связь между среднегодовыми размывами и среднегодовыми расходами

($r = 0,59$; $R^2 = 0,348$). Статистически достоверная связь также установлена между среднегодовыми скоростями размыва и среднегодовыми расходами на р. Нылга на участке близ с. Нылга, где также находится гидрологический пост и имеется аналогичный ряд наблюдений. Связь в данном случае криволинейная и описывается экспоненциальным уравнением с умеренными показателями связи ($r = 0,49$; $R^2 = 0,276$). Заметно ниже по значимости связь обнаружена между максимальными скоростями размыва и максимальными расходами на р. Сива (лев. приток р. Кама) с порядком 10,6 на участке у с. Гавриловка, где находится гидропост с рядами наблюдений за 2000-2018 годы. Для данного участка также получено уравнение линейной связи и рассчитаны коэффициенты зависимости ($r = 0,36$; $R^2 = 0,129$). Выявлена невысокая, но достоверная положительная связь между максимальными скоростями размыва и максимальными расходами на р. Чепца (порядок 11,4) на участке у д. Каменное Заделье. Расходы определялись по гидропосту в с. Полом за 2002-2018 годы. Достаточно надежная и существенная криволинейная связь установлена между среднегодовыми скоростями размыва и максимальными расходами на р. Чепца (порядок 12,3) на участке у с. Дизьино по данным гидропоста в г. Глазов (2000-2018 гг.). Аналогичная зависимость была получена для данной реки между максимальными размывами и максимальными расходами ($r = 0,53$; $R^2 = 0,175$).

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00194, <https://rscf.ru/project/23-27-00194>

Библиографические ссылки

1. Беркович К. М. Экологическое русловедение / К. М. Беркович, Р. С. Чалов, А. В. Чернов. М.: ГЕОС, 2000. 332 с.
2. Чалов Р. С. Русловедение: теория, география, практика. Т.1: Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 608 с.
3. Рысин И.И., Петухова Л.Н. Русловые процессы на реках Удмуртии. Ижевск: Ассоциация «Научная книга», 2006. 176 с.
4. Шайдеггер А. Е. Теоретическая геоморфология. М.: Прогресс, 1964. 450 с.
5. Лакин Г. Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.
6. Petukhova, L. N., Rysin I. I. Patterns in the development of horizontal river channel transformations in the Republic of Udmurtia, Russian Federation. In: *Channel processes in the rivers of mountains, foothills and plains* / edited by R. S. Chalov, M. Kamykowska, K. Krzemien. Cracow, 2006. P. 119-131.