

Физическая география, ландшафтovedение и геоморфология
Рысин И.И., Григорьев И.И.

Научная статья

УДК 551.435.11(470.51) + 551.4.04

DOI: 10.17072/2079-7877-2025-4-18-33

EDN: VAWVTP



**РЕЗУЛЬТАТЫ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА РАЗМЫВОМ БЕРЕГОВ
МАЛЫХ И СРЕДНИХ РЕК УДМУРТИИ**

Иван Иванович Рысин¹, Иван Иванович Григорьев²

^{1, 2} Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, Россия

¹ rysin.iwan@yandex.ru

² ivangrig@yandex.ru

Аннотация. Представлены результаты исследования смещения русел за 2003–2023 гг. на 8 ключевых участках, расположенных на малых и средних реках Удмуртии. Средняя и максимальная ширина, площадь и объем размыва определялись с применением тахеометрической съемки и беспилотных летательных аппаратов. Для средних рек с порядком 9,1–14,0 (по методике А. Шайдеггера) скорости максимальных размывов составляли 5,96–6,15 м/год. Протяженность размываемых участков варьировала в пределах 115–533 м. Высота исследуемых береговых уступов изменяется от 3,5 на р. Сиве до 5,6 м на р. Чепце. Для малых рек (порядок 6,1–9,0) наибольшие величины размывов изменяются в пределах: от 2,26 (р. Лумпун) до 8,14 м (р. Кырыкмас). Протяженность размываемых участков варьирует от 48–110 на р. Лумпун до 55–330 м на р. Нылге. Средняя высота размываемого уступа на этих реках изменяется от 2,5 (р. Нылга) до 8,8 м (р. Лумпун). В многолетней динамике размывов на р. Чепце (2 участка) и р. Кырыкмас отчетливо прослеживается положительный (восходящий) тренд с максимумами размывов в 2012–2014, 2019, 2021 гг. Установлена очень тесная корреляционная связь между максимальной шириной, площадью, объемом размывов на р. Чепце (с. Адам) и р. Сиве (д. Метляки), а также максимальными годовыми расходами рек за период с 2004 по 2015 г. Расположение размываемых участков в пределах различных типов излучин характеризуется локальными особенностями, но чаще приурочено к участкам с наибольшей крутизной.

Ключевые слова: размыв берегов рек, мониторинг, тахеометрическая съемка, корреляционный анализ, Удмуртская Республика

Финансирование. Исследование выполнено при поддержке РНФ, проект № 25-27-20003.

Для цитирования: Рысин И.И., Григорьев И.И. Результаты инструментальных наблюдений за размывом берегов малых и средних рек Удмуртии // Географический вестник = Geographical bulletin. 2025. № 4(75). С. 18–33. DOI 10.17072/2079-7877-2025-4-18-33 EDN VAWVTP

Original article

DOI: 10.17072/2079-7877-2025-4-18-33

EDN: VAWVTP

**INSTRUMENTAL OBSERVATIONS OF BANK EROSION
IN SMALL AND MEDIUM-SIZED RIVERS IN UDMURTIA**

Ivan I. Rysin¹, Ivan I. Grigoriev²

^{1, 2} Udmurt State University, Izhevsk, Russia

¹ rysin.iwan@yandex.ru

² ivangrig@yandex.ru

Abstract. The paper presents the results of channel displacement studies for 2003–2023 at 8 key sites located on small and medium-sized rivers of Udmurtia. In each case, the average and maximum width, area, and volume of erosion were determined using tacheometric survey and unmanned aerial vehicles. For medium-sized rivers with an order of 9.1–14.0 (according to A. Scheidegger's methodology), maximum erosion rates were 5.96–6.15 m/year. The length of the eroded areas varied between 115 and 533 m. The height of the investigated bank scarps ranged from 3.5 m on the Siva River to 5.6 m on the Cheptsa River. For small rivers (order 6.1–9.0), the largest scour values vary from 2.26 m (Lumpun River) to 8.14 m (Kyrykmas River). The length of eroded sections ranges from 48–110 m on the Lumpun River to 55–330 m on the Nylga River. The average height of the eroded scarp on these rivers varies from 2.5 m (Nylga River) to 8.8 m (Lumpun River). In the long-term dynamics of washouts on the Cheptsa River (2 sites) and the Kyrykmas River,



© 2025 Рысин И.И., Григорьев И.И. распространяется по лицензии CC BY 4.0. Чтобы ознакомиться с условиями этой лицензии, посетите сайт <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Физическая география, ландшафтovedение и геоморфология

Рысин И.И., Григорьев И.И.

one can clearly see a positive (upward) trend with maximum washouts in 2012–2014, 2019, and 2021. The studies established a very close correlation between the maximum width, area, volume of washouts on the Cheptsya River (Adam village) and the Siva River (Metlyaki village) and the maximum annual flow rates of the rivers for the period from 2004 to 2015. The location of eroded areas within bends of different types is characterized by local peculiarities; more often they are confined to areas with the highest steepness.

Keywords: riverbank erosion, monitoring, tacheometric survey, correlation analysis, Udmurt Republic

Funding: the study was funded by the Russian Science Foundation, project No. 25-27-20003.

For citation: Rysin, I.I., Grigoriev, I.I. (2025). Instrumental observations of bank erosion in small and medium-sized rivers in Udmurtia. *Geographical Bulletin*. No. 4(75). Pp. 18–33. DOI: 10.17072/2079-7877-2025-4-18-33 EDN: VAWVTP

Введение

Одним из опасных рельефообразующих процессов на равнинных территориях являются размывы берегов рек и наводнения во время аномальных половодий и паводков. Для их прогноза актуальными являются исследования горизонтальных русловых деформаций на различных по водности реках в условиях современных климатических изменений. В дополнение к климатическим факторам, преобразование ландшафтов в результате хозяйственной деятельности оказывает еще более выраженное воздействие на изменения эрозионно-русовых систем [17, 33–35, 46, 48]. Размыв берегов рек представляет собой наиболее яркое проявление русловых деформаций, что, в свою очередь, приводит к значительным потерям в сельском хозяйстве и инфраструктуре территории. Данный процесс сопровождается также изменением морфолого-морфометрических характеристик русла на участке размыва (углубление плесовых ложбин, аккумуляция наносов на побочниках и др.). Слабоизученным до сих пор является вклад русловых деформаций в балансовую составляющую стока наносов [40]. Разработка гидротехнических мероприятий не может быть решена без исследования закономерностей русловых процессов. Результаты этих исследований являются составной частью гидрологического обоснования проектов различных водохозяйственных мероприятий [1, 3, 35, 41, 43].

Цели данной статьи: количественная оценка многолетней динамики размывов берегов на малых и средних реках Удмуртии, полученных путем тахеометрической съемки участков излучин, различающихся как расходами воды, так и ландшафтными особенностями их бассейнов, а также сопоставление данных, полученных разными методами, и выявление наиболее значимых факторов с помощью корреляционного анализа.

Равнинная территория Удмуртской Республики (УР) расчленена многочисленными водотоками со средней густотой 0,71 км/км². Преобладающими являются широкопойменные реки с активным развитием процессов свободного меандрирования [2, 26, 28]. В пределах исследуемой территории доминируют южно-таежные ландшафты, которые на юге сменяются сильно преобразованными хозяйственной деятельностью ландшафтами хвойно-широколиственных (смешанных) лесов.

На территории УР среднегодовая температура изменяется от +2,3 на севере до +3,5° С на юге. Средние температуры января и июля варьируют в пределах –13,3–11,9 и +18,3–19,7° С с выраженным трендом повышения зимних температур воздуха в зимние месяцы [25]. Среднегодовая сумма осадков составляет 500–650 мм [2]. Наряду с явным потеплением климата отмечается увеличение опасных гидрометеорологических явлений [24].

Материалы и методы исследований

С целью исследования особенностей развития горизонтальных русловых деформаций на территории Удмуртии по топографическим картам было выделено 55 ключевых участков, охватывающих реки разной величины. Полевые работы на изучаемых реках проводятся ежегодно (с 1999 г.) в летний период, а на отдельных участках (около г. Ижевска) дважды в год: весной (май) и осенью (октябрь, реже начало ноября) [28, 46].

Одним из надежных и доступных методов изучения динамики рельефа является метод стержней и марок [32]. Детальное описание применяемой методики и анализ результатов есть в нашей работе [30]. В пределах 30 ключевых участков осуществлялась нерегулярная тахеометрическая съемка размываемого берегового уступа. Здесь же представлены результаты относительно регулярной геодезической съемки размываемых береговых уступов на 8 участках рек, которые проводились в течение 2003–2023 гг. (рис. 1).

Геодезическая съемка, как правило, проводилась на активно размываемых участках излучин рек с помощью лазерных тахеометров: Trimble 3305, затем Nikon NPR-332. Тахеометрическая съемка позволяет рассчитать не только линейные параметры размыва, но также площадные и объемные показатели [5, 6].

С лета 2019 г. при инструментальной съемке исследуемых объектов нами применяется спутниковый приемник EFT M1+ вместе с беспилотными летательными аппаратами (БПЛА): вначале DJI Phantom 4, позднее Autel Evo II PRO. Общая методика использования БПЛА для географических исследований обычно включает 6 этапов, в результате чего создается цифровая модель местности (ЦММ) и ортофотоплан [8].

Обработка аэрофотоснимков проводится в отечественной программе Agisoft Metashape Professional. Подготовка топографических планов, расчет площадей и объемов размытого материала осуществляются с использованием программного комплекса «Кредо» [7].

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Рысин И.И., Григорьев И.И.

Одним из важных показателей речного потока, дающим осредненное представление о ее размере, своеобразным индексом водотока, является порядок реки. С этим показателем тесно связан ряд важнейших морфодинамических характеристик русла, таких как ее ширина и глубина, их отношение между собой, а также среднегодовые расходы реки [9, 10, 21, 23, 30].

Для исследуемых рек расчет их порядков выполнялся по известной методике А.Е. Шайдеггера [41], базирующейся на подсчете притоков первого порядка, имеющих длину менее 10 км. Для территории УР и прилегающих равнинных регионов предлагается относить реки 6-го и меньшего 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 или крупным [29, 30].

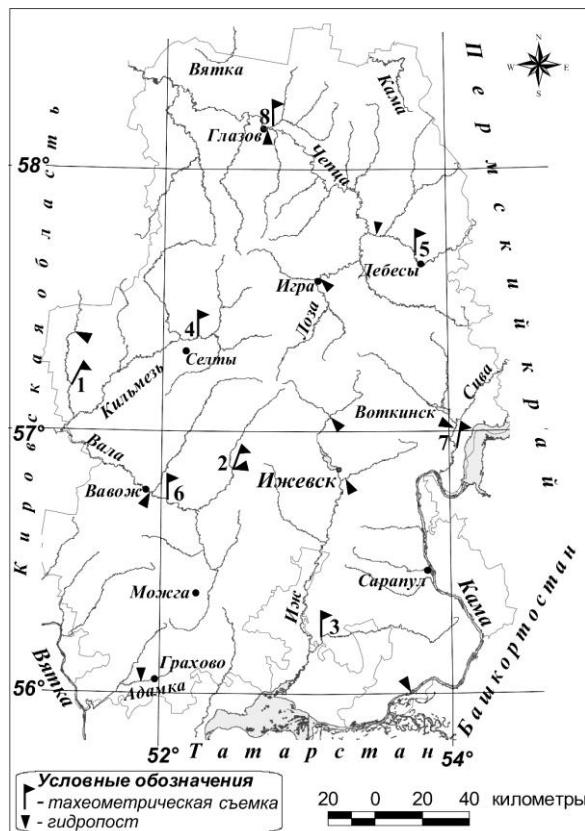


Рис. 1. Карта-схема расположения ключевых участков по изучению морфодинамики русел рек республики Удмуртия с применением инструментальных методов.

Условные обозначения ключевых участков: 1 – р. Лумпун (д. Харламовская Пристань), 2 – р. Нылга (с. Нылга), 3 – р. Кыргымас (д. Тавзялмал), 4 – р. Кильмезь (д. Головизнин Язок), 5 – р. Чепца (д. Варни), 6 – р. Вала (д. Макарово), 7 – р. Сива (д. Метляки), 8 – р. Чепца (с. Адам)

Fig. 1. Map-scheme of key sites for studying the morphodynamics of river channels in the Republic of Udmurtia using instrumental methods.

Designations of the key sites: 1 – Lumpun River (Kharlamovskaya Prystan village), 2 – Nylga River (Nylga village), 3 – Kugukmas River (Tavziamal village), 4 – Kilmез River (Goloviznin Yazok village), 5 – Cheptsya River (Varni village), 6 – Vala River (Makarovo village), 7 – Siva River (Metlyaki village), 8 – Cheptsya River (Adam village)

Результаты и обсуждение

Ниже впервые представлены к обсуждению количественные данные тахеометрических съемок на размываемых участках свободных излучин малых и средних рек УР за период 2003–2023 гг. Для удобства анализа рассмотрим их согласно принадлежности к группе в соответствии с рассчитанным порядком. На очень малых реках (порядок 6,0 и менее) тахеометрическая съемка не проводилась вследствие небольших по протяженности участков размыва, которые целесообразнее было оценивать на основе реперных замеров. Согласно нашей классификации, большая часть участков русел, где осуществлялась тахеометрическая съемка, относится к группе малых рек.

На реке Лумпун (правый приток р. Кильмезь) в 80 м от моста вверх по течению в д. Харламовская Пристань (рис. 1) геодезическая съемка береговой линии осуществлялась на протяжении 111 м, здесь средняя высота размываемого берегового уступа равна 8,8 м. Как и в большинстве случаев, тахеометрическая съемка велась ежегодно с 2003 по 2014 г., в 2015–2022 гг. ее не было. В эти годы проводились только реперные наблюдения. Река на исследуемом участке имеет порядок 7,8, средний многолетний расход реки у д. Шмыки (23 км выше по течению от исследуемого участка) составляет $8,25 \text{ м}^3/\text{s}$. Максимальный суточный расход был зарегистрирован 3–4 мая 1979 г. и равнялся $292 \text{ м}^3/\text{s}$ согласно данным, предоставленным Удмуртским центром по гидрометеорологии

Физическая география, ландшафтovedение и геоморфология

Рысин И.И., Григорьев И.И.

и мониторингу окружающей среды (УЦГМС) [2]. Минимальные меженные расходы летнего периода изменяются в пределах от 1,38 (2010 г.) до 3,31 $\text{м}^3/\text{с}$ (2007 г.).

Протяженность размываемого участка за рассматриваемый период изменялась в следующих пределах: от 48,2 м в 2012 г. до 110 м в 2005 г. В 2012 г. была отмечена и минимальная ширина размыва, составившая всего 0,18 м. Максимальные значения ширины размывов на участке зафиксированы в 2005 (2,26 м), 2006 (1,85 м), 2010 (1,44 м) гг. (табл. 1). Самые низкие значения площадей размыва приурочены к 2012, 2013, 2004 гг., в эти же годы были зарегистрированы и минимальные значения объемов (табл. 2). Максимальные значения площадей и объемов размыва не всегда совпадают по годам с максимальной шириной размывов, что вполне очевидно, поскольку максимальный размыв часто имеет локальный характер и может быть связан, например, с небольшим оползнем-обвалом или обрушением одиночного дерева вместе с мощной корневой системой. В данном случае максимальные значения площади ($81,9 \text{ м}^2$) и объема размыва (737 м^3) были зафиксированы в 2006 г. (табл. 2), когда на реке в апреле был отмечен наивысший уровень (912 см) за весь рассматриваемый период. В 2005 г. площади и объемы размыва были существенно ниже, а также были заметно ниже и среднемесячные расходы в апреле ($39,6 \text{ м}^3/\text{с}$). Существенные размывы в 2007 и 2010 гг. хорошо коррелируют с высокими уровнями половодья в эти годы, когда они составили 830 и 807 см соответственно. К сожалению, достоверный корреляционный анализ с расходами или уровнями для данного участка невозможен, поскольку наблюдения за расходами прекратились в 2011 г., а за уровнями – в 2013 г.

Тахеометрическая съемка участков размыва по длине излучины выявила здесь особенности, существенно отличающиеся от ниже рассмотренных объектов (рис. 2). Анализ топографического плана и крупномасштабной

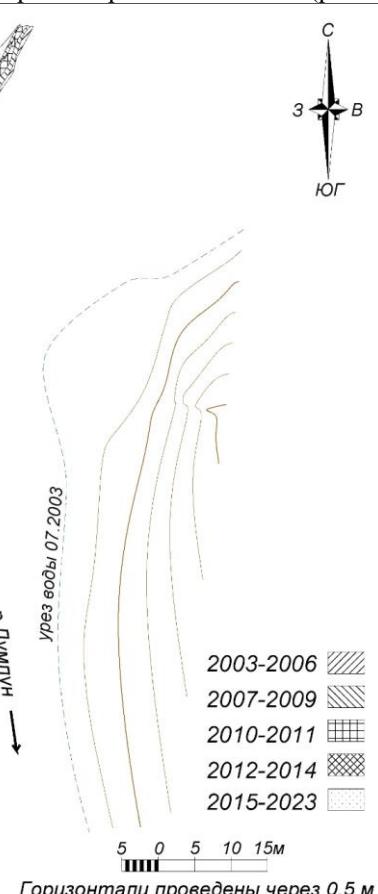
карты исследуемого участка показывает, что излучина данной реки, в соответствии с классификацией МГУ [36, 38], в морфогенетическом плане относится к типу свободных, а по внешнему виду – к сегментным. Съемка осуществлялась в вершине излучины, которая характеризуется плавным уменьшением радиуса кривизны вниз по течению, соответственно, наблюдается аналогичное возрастание ширины и площади размываемого участка вниз по течению. При этом, как и на некоторых других реках, участки максимального размыва соответствуют мысовидным выступам, которые к июлю 2023 г. уже были уничтожены боковой эрозией.

Тахеометрическая съемка на р. Нылге (на Ю-З окраине с. Нылга), являющейся правым притоком р. Валы (рис. 1), осуществлялась с 2003 г. с 6-летним перерывом в 2015 г. С 2015 по 2020 г. и в 2022 г. проводились наблюдения только с применением реперов. Река на исследуемом участке имеет порядок 8,3, средний многолетний расход реки у с. Нылга (1968–2010 гг.) равен $6,28 \text{ м}^3/\text{с}$ [22], максимальный годовой был зарегистрирован УЦГМС весной 2014 г. и составил $95,8 \text{ м}^3/\text{с}$, высоким данный показатель был и в 2013 г. ($93,1 \text{ м}^3/\text{с}$). Минимальные меженные расходы изменяются в пределах от 0,59 (2010 г.) до $2,34 \text{ м}^3/\text{с}$ (2007 г.) [4]. Протяженность береговой линии, где велась геодезическая съемка, составила в 2005 г. 330 м, а средняя высота размываемого берегового уступа равна 2,5 м.

Анализ полученных данных показывает, что протяженность размываемого участка на реке изменилась в значительных пределах: от 55 м в 2023 г. до 329 м в 2005 г., что соответствует шестикратному уменьшению за указанный период.

Рис. 2. Схема смещения размываемого берегового уступа на р. Лумпун (д. Харламовская Пристань) за 2003–2023 гг.
Fig. 2. Displacement of the eroding bank scarp on the Lumpun River (Kharlamovskaya Priestan village) for 2003–2023

Самые низкие значения ширины размывов получились за период с 2015 по 2021 г. и составили всего 0,15 м. Наибольшие значения максимальной ширины размывов были зафиксированы в 2013 (3,29 м), 2006 (3,23 м), 2005 (2,66 м) гг. (табл. 1). Максимальные же площади размывов расположились по годам в несколько ином порядке: здесь в лидерах оказался 2005 г., затем следует 2013 г. и на последнем месте оказался 2006 г., что неплохо соглашается с высокими уровнями и расходами половодий. Так, в 2006 г. максимальные расходы половодья составили $88,6 \text{ м}^3/\text{с}$, что немногим меньше 2013 г. В таком же порядке расположились годы с максимальными объемами размывов: 2005, 2013, 2006 гг. (табл. 2).



Физическая география, ландшафтovedение и геоморфология
Рысин И.И., Григорьев И.И.

Таблица 1
Table 1

Средняя и максимальная ширина размывов на участках рек по данным тахеометрической съемки за 2004–2023 гг.
The average and maximum widths of erosion at river sections according to the tacheometric survey data for 2004–2023

Годы	Лумпун	Нылга	Кырык-мас	Кильмезь	Чепца/ Варни	Сива	Вала	Чепца/ Адам
2004	0,23/0,60*	0,66/1,26	0,75/2,76	0,38/1,10	0,35/0,97	0,87/1,86	0,72/1,70	0,25/1,53
2005	0,60/2,26	0,44/2,66	0,42/2,34	0,56/1,82	0,32/0,78	1,07/3,40	0,96/2,60	0,62/2,90
2006	0,75/1,85	0,51/3,23	0,74/2,41	0,48/1,36	0,44/1,63	1,41/4,17	0,24/1,52	2,08/6,15
2007	0,40/1,02	0,39/1,97	0,71/3,82	0,38/1,66	0,42/2,20	0,53/2,59	0,64/1,64	0,49/2,13
2008	0,23/0,85	0,19/0,62	0,99/3,06	0,59/2,49	0,18/1,01	0,67/2,07	0,78/1,82	0,39/1,30
2009	0,32/0,84	0,36/1,37	0,46/1,52	0,24/0,93	0,33/1,08	0,64/2,59	0,25/0,82	0,52/1,35
2010	0,45/1,44	0,19/0,50	2,34/4,74	0,54/1,77	0,32/1,05	1,99/3,50	0,27/0,97	0,482,25
2011	0,41/1,07	0,18/0,69	1,24/3,08	0,33/0,76	0,48/1,46	1,29/2,90	0,40/2,23	0,75/2,50
2012	0,18/0,52	0,48/1,24	1,50/5,01	1,11/2,46	0,68/2,23	1,54/5,96	0,60/1,91	2,02/5,42
2013	0,21/0,62	0,72/3,29	0,88/3,04	0,35/1,52	0,27/1,98	0,86/2,77	0,46/1,55	1,12/3,64
2014	0,23/0,69	0,54/1,43	0,71/1,98	1,13/1,73	0,53/1,63	0,86/2,90	0,28/1,14	0,86/3,13
2015	—	—	—	—	—	0,52/3,52	1,62/4,15	—
2016	—	—	—	—	—	1,69/4,02	—	—
2017	—	—	0,39/0,81	—	—	—	—	—
2018	—	—	0,42/1,70	—	—	—	—	—
2019	—	—	0,75/3,59	—	—	—	—	—
2020	—	—	0,44/1,38	—	—	0,12/0,41	—	—
2021	—	0,15/0,27	2,44/8,14	—	—	0,58/2,65	0,13/0,39	—
2022	—	—	0,77/3,40	—	—	0,22/0,62	0,30/1,88	—
2023	0,19/0,32	0,19/0,33	2,12/5,16	0,20/0,49	0,39/0,71	0,23/0,80	0,16/1,70	0,82/1,52

* В числителе – средняя ширина, в знаменателе – максимальная ширина в метрах; полужирным шрифтом выделены средние многолетние значения.

* The numerator is the average width, the denominator is the maximum width in meters; the average long-term values are highlighted in bold.

Таблица 2
Table 2

Площади и объемы размывов на участках рек по данным тахеометрической съемки за 2004–2023 гг.

The areas and volumes of erosion at river sections according to the tachymetric survey data for 2004–2023

Годы	Лумпун	Нылга	Кырыкмас	Кильмезь	Чепца/ Варни	Сива	Вала	Чепца/ Адам
2004	13,4/121*	86,6/216	213,4/1088	51,7/114	61,3/264	182,9/640	212,6/891	92,6/500
2005	66/594	144,1/360	60,6/416	74,6/164	36,7/158	227,2/795	258,9/1085	211,7/1143
2006	81,9/737	127,3/318	94,8/646	65,1/143	65,2/280	258,6/1255	36,8/156	883,7/4772
2007	41,7/375	117,6/294	105/712	54,4/120	52,2/224	149,2/522	165,3/693	232,5/1256
2008	19,7/177	39,2/98	101,5/690	63,1/139	17,1/74	93,1/326	214,2/895	113,6/613
2009	25,9/233	84,5/211	84,1/570	172/19,0	36,8/158,0	148,2/519	51,4/216	187,2/1011
2010	46,4/418	42,5/106	348,8/2367	73,9/163	54,8/236	520,1/1820	47,5/199	152,4/823
2011	38,3/345	32,8/82	214,5/1461	50,5/111	71,6/308	342,3/1198	117,0/494	274,7/1483
2012	8,9/80,0	100,1/250	313,9/2136	143,3/315	99,4/427	331,7/1161	143,8/601	977,1/5276
2013	12,9/116	137,7/344	149,6/1021	41,5/91	24,1/104	210,2/736	132,2/553	553,4/2988
2014	14,6/131	31,8/80	101/687	124,3/273	71,1/306	146,7/513	47,6/203	363,5/1963
2015	—	—	—	—	—	59,7/209	505,2/2120	—
2016	—	—	—	—	—	397,3/1391	—	—
2017	—	—	74,1/506	—	—	—	—	—
2018	—	—	54/369	—	—	—	—	—
2019	—	—	174,1/1184	—	—	—	—	—
2020	—	—	54,1/368	—	—	15,4/54	—	—
2021	—	42,8/107	596,8/4058	—	—	113,8/398	41,1/173	—
2022	—	—	212,2/1443	—	—	34,8/122	87,8/369	—
2023	20,1/181	10,2/26	402,1/2731	35,8/79	71,3/306	39/136	39,2/165	439/2370

* В числителе – площадь размыва в м², в знаменателе – объем размыва в м³; полужирным шрифтом выделены средние многолетние значения.

* The numerator is the area of erosion in m², the denominator is the volume of erosion in m³; the average long-term values are highlighted in bold.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Рысин И.И., Григорьев И.И.

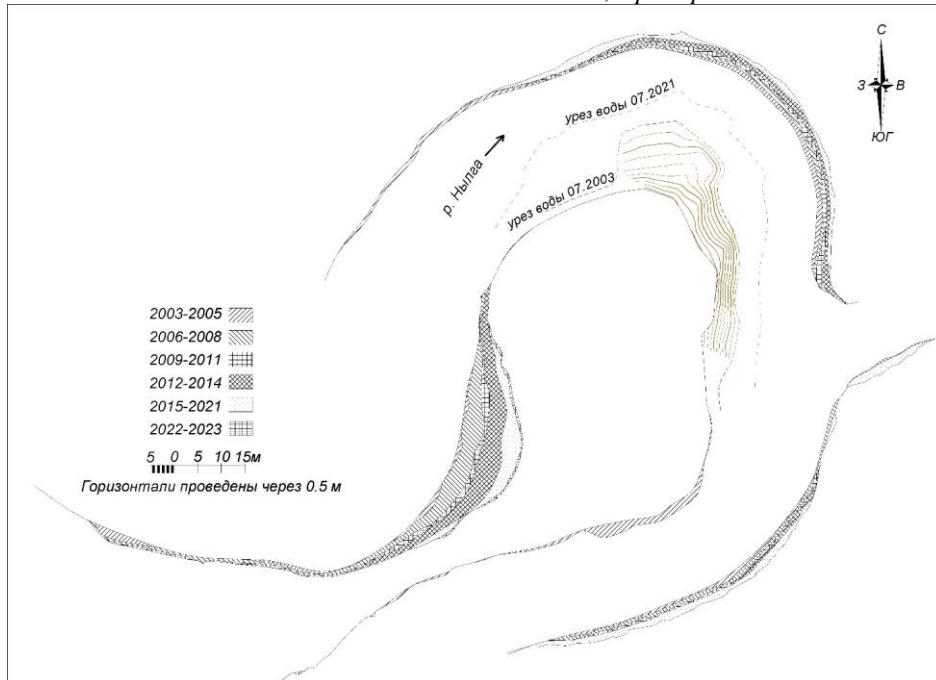


Рис. 3. Схема смещения размываемого берегового уступа на р. Нылге (с. Нылга) за 2003–2023 гг.

Fig. 3. Displacement of the eroding bank scarp on the Nylga River (Nylga village) for the years 2003–2023

По топографическому плану исследуемого участка видно, что излучина данной реки, в соответствии с вышеупомянутой классификацией, относится также к свободной, но по внешнему виду она петлеобразная. Наименьший радиус кривизны излучины находится чуть ниже по течению от шейки петли (наиболее узкая часть между соседними руслами), именно в этом месте фиксируются максимальные значения ширины размывов, достигающие в сумме до 15 м (рис. 3). На схеме отчетливо видно, что зона с максимальными размывами немножко смещена вниз по течению от участка с наивысшей крутизной.

В верхней части излучины русло имеет существенно меньшую кривизну и, соответственно, там можно выделить 2 зоны: зону очень слабого размыва с малыми значениями кривизны (верхнее крыло, левый берег) и зону среднего размыва с более высокими показателями кривизны (вершина излучины). На противоположной стороне от шейки излучины ниже притока также можно выделить зону умеренного размыва (нижнее крыло, левый берег), уступающему по ширине размыва вершине излучины. В нижнем крыле излучины на ее правом берегу выделяется еще одна зона очень слабого размыва, где исследуемые процессы были зафиксированы лишь в первые годы наблюдений.

На большинстве рассматриваемых рек ежегодные инструментальные измерения продолжались до 2014 г., в последующие годы геодезическая съемка проводилась эпизодически. Наиболее продолжительный ряд непрерывных инструментальных наблюдений на малых реках в настоящее время имеется лишь для р. Кырыкмас (лев. приток р. Иж) (рис. 1). Здесь геодезическая съемка около д. Тавзяマル (в 1100 м к Ю-В от окраины деревни) началась в 2003 г. и продолжается до настоящего времени. Перерывы в съемочных работах по различным причинам были только дважды: в 2015 и 2022 гг. Протяженность береговой линии, где осуществляется тахеометрическая съемка, составляет 290 м, средняя высота размываемого берегового уступа – 6,8 м соответственно.

Согласно «Ведомости...» [4], измеренные меженные расходы в устье составили $2,14 \text{ м}^3/\text{с}$, а рассчитанные значения 50 % обеспеченности – $2,16 \text{ м}^3/\text{с}$ соответственно. Ключевой участок расположен около 10 км выше устья реки. Река на исследуемом участке имеет порядок 8,4, по размеру и расходам близка к р. Нылге (порядок 8,3) и р. Позимь (лев. приток р. Иж), имеющей порядок 8,5. Поскольку на исследуемой реке отсутствует гидрологический пост, для представления о расходах можно ориентироваться на указанные реки. В ландшафтном отношении и по географическому положению для реки-аналога лучше подходит р. Позимь.

За 20-летний период наблюдений длина размываемой береговой линии здесь изменилась в значительных пределах: от 102,5 м в 2008 г. до 284,2 м в 2004 г. Высокие значения протяженности размываемых участков наблюдались в 2012 (209,4 м), 2019 (228,7 м), 2021 (244,2 м), 2023 (276,8 м) гг. Средняя ширина размывов на реке изменялась в небольших пределах: от 0,39 (2022–2023 гг.) до 2 м и более (2010, 2015, 2016, 2021 гг.). Максимальные значения размывов варьировали более существенно: от 1,38 до 3,5–8 м и более в 2012, 2019–2021 гг. (табл. 1). Наибольшие значения площадей и объемов размывов отмечались в 2021, 2016, 2010, 2012 гг. (табл. 2).

По топографическому плану исследуемого участка видно, что излучина данной реки, в соответствии с вышеупомянутой классификацией, относится также к свободной, но по внешнему виду она петлеобразная. Наименьший радиус кривизны излучины находится чуть ниже по течению от шейки петли (наиболее узкая часть между соседними руслами), именно в этом месте фиксируются максимальные значения ширины размывов, достигающие в сумме до 15 м (рис. 3). На схеме отчетливо видно, что зона с максимальными размывами немножко смещена вниз по течению от участка с наивысшей крутизной.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Рысин И.И., Григорьев И.И.

Представленные данные показывают, что в нижнем течении р. Кырыкмас максимальные значения ширины, площади и объемов размыва приурочены ко второй половине периода наблюдений, что свидетельствует о хорошо выраженной положительной (восходящей) тенденции во временной динамике исследуемого процесса. Положительный тренд подтверждается здесь и данными реперных наблюдений.

Корреляционный анализ максимальной ширины размывов на р. Кырыкмас за 2004–2021 гг. с максимальными годовыми расходами на р. Позимь за эти же годы показал достаточно значимую связь, о чем свидетельствуют значения коэффициентов корреляции ($r=0,617$) и детерминации ($R^2=0,381$) (рис. 4).

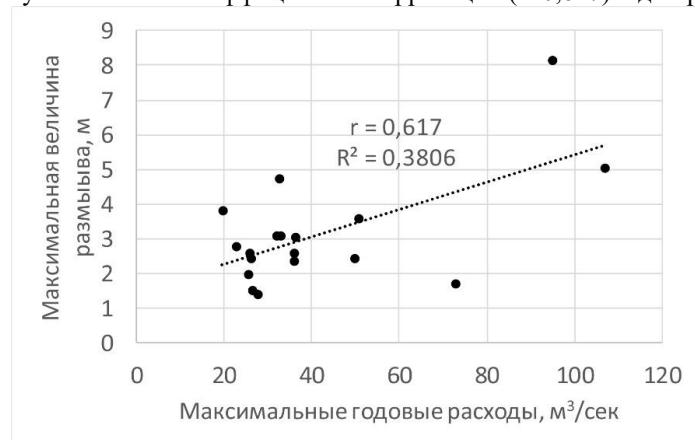


Рис. 4. График зависимости между максимальной величиной размыва на р. Кырыкмас и максимальными годовыми расходами на р. Позимь за 2004–2021 гг.

Fig. 4. The relationship between maximum erosion on the Kutykmas River and maximum annual water flow on the Pozim River for 2004–2021

Достоверная положительная связь выявлена также между площадями ($r=0,58$) и объемами ($r=0,59$) размывов на р. Кырыкмас, а также максимальными годовыми расходами на р. Позимь за указанный период. Пространственное распределение зон размыва представлено на топографическом плане участка (рис. 5). Согласно вышеупомянутой классификации [37], данную излучину можно охарактеризовать как развитую сегментную, исследуемый участок находится в ее нижнем крыле, где отчетливо выделяются зоны размыва. Верхняя часть крыла соответствует зоне слабого размыва, достаточно протяженная центральная часть характеризуется максимальными размывами, достигающими суммарно 24–25 м. В самой нижней части крыла излучины расположена 3-я зона умеренного размыва со значениями размыва до 8–10 м, куда в последние годы смещается зона интенсивного размыва. Аналогичные исследования прово-

дились в верхнем течении р. Кильмезь (лев. приток р. Вятки) в д. Головизнин Язок в 50 м от автомобильного моста вниз по течению (рис. 1). Геодезическая съемка береговой линии здесь осуществляется на протяжении 176 м, средняя высота размываемого берегового уступа – 2,8 м. Тахеометрическая съемка на этом участке проводится с 2003 г. с 8-летним перерывом после 2015 г. С 2015 по 2022 г. проводились только реперные наблюдения. Река на данном участке имеет порядок 8,7, средний многолетний расход реки у с. Малые Сюмси (45 км ниже по течению от исследуемого участка) составляет $24,9 \text{ м}^3/\text{с}$. Максимальный годовой расход был зарегистрирован в 1957 г. – $34,3 \text{ м}^3/\text{с}$ [22].

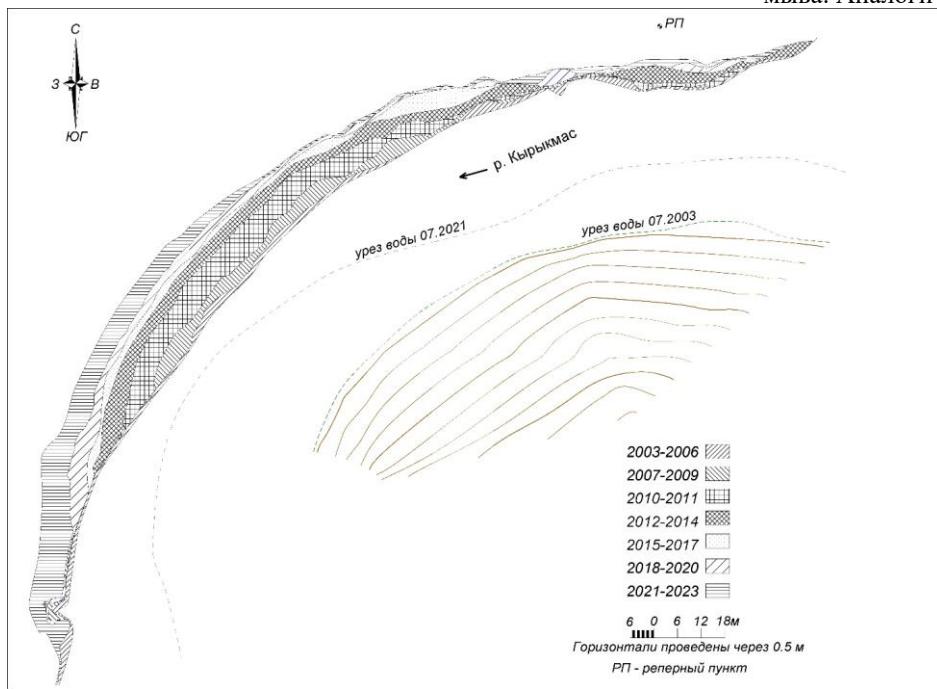


Рис. 5. Схема смещения размываемого берегового уступа на р. Кырыкмас (д. Тавзямал) за 2003–2023 гг.

Fig. 5. Displacement of the eroding bank scarp on the Kyrykmas River (Tavziamal village) for 2003–2023

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Рысин И.И., Григорьев И.И.

Измеренный в июле меженный расход на этом участке составил $2,5 \text{ м}^3/\text{с}$, расчетный меженный расход 50 % обеспеченности – $3,1 \text{ м}^3/\text{с}$ [4].

Длина линии размываемого участка изменялась в небольших пределах: от 89,8 м в 2009 г. до 175,3 м в 2023 г. Минимальные среднегодовые размывы берегов были отмечены в период с 2015 по 2023 г. (0,20 м) и в 2009 г. (0,24 м). Максимальные линейные размывы были зафиксированы в 2008 (2,49 м) и 2012 (2,46 м) гг. (табл. 1). Наименьшие площади размыва были отмечены в те же годы, что и линейные. Максимальные площадные размывы немного отличаются от линейных, они были зарегистрированы в 2012 и 2014 гг. В эти же годы отмечались и рекордные для ключевого участка объемы размыва (табл. 2). Как и для многих вышерассмотренных рек, для данного участка реки невозможно определить общие тенденции динамики процессов размыва берегов вследствие еще больших временных перерывов в геодезической съемке.

Анализ пространственного распределения участков размыва по длине излучины выявил некоторые особенности (рис. 6). В данном случае размывается относительно прямолинейный участок нижнего крыла сегментной излучины, незначительно осложненный выступающими мысами, к которым и приурочены основные площади размыва. Участки же между мысами размываются незначительно. Поэтому здесь можно выделить 3 зоны, неравные по протяженности и величине размыва. Первая зона среднего размыва перед первым мысом, затем ниже по течению располагается более протяженная и относительно прямолинейная зона со слабым размывом, последняя сменяется зоной более сильного размыва, обусловленного мысовидными выступами и возросшей кривизной излучины.

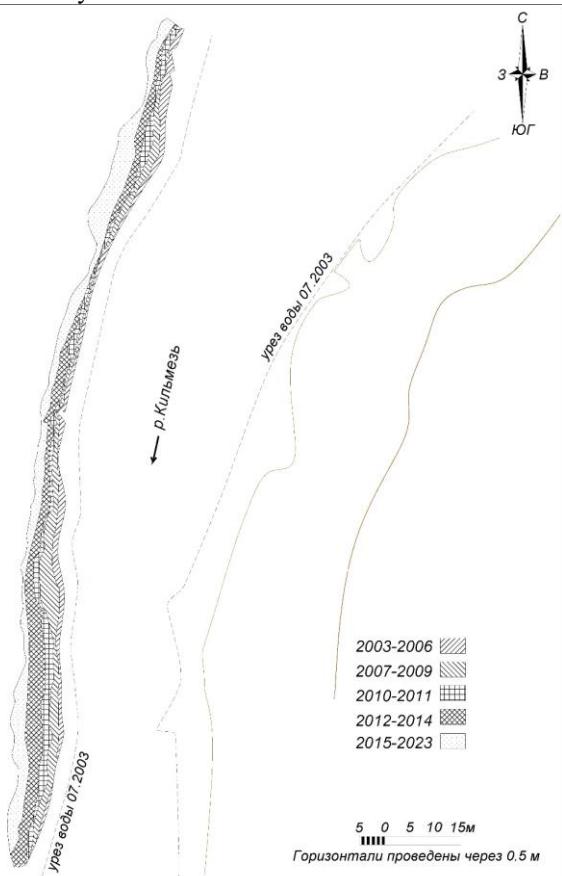


Рис. 6. Схема смещения размываемого берегового уступа на р. Кильмезь (д. Головизнин Язок) за 2003–2023 гг.

Fig. 6. Displacement of the eroding bank scarp on the Kilmez River (Goloviznin Yazok village) for 2003–2023

Пространственное распределение зон размыва участка, полученный при тахеометрической съемке (рис. 7). На представленном рисунке показано нижнее крыло пологой сегментной излучины, имеющей сравнительно малую кривизну, где достаточно четко выделяются 3 неравномерные по протяженности зоны: зоны слабого размыва в самой верхней и самой нижней частях крыла, протяженностью не более 15–18 м каждая и центральная зона сильного размыва, где ширина размыва достигает 8–12 м.

На реке Чепце (лев. приток р. Вятки) исследования русловых деформаций с применением инструментальных методов проводятся в ее верхнем (д. Варни) и среднем течении (с. Адам) (рис. 1). Длина береговой линии в д. Варни (С-З окраина деревни в 270 м вверх по течению от моста), где осуществляется съемка, составляет 190 м. Средняя высота размываемого берегового уступа на этом ключевом участке равна 3,9 м. Тахеометрическая съемка осуществлялась здесь с 2003 г. с 8-летним перерывом в 2015 г. С 2015 по 2022 г. наблюдения за размывом осуществлялись с применением реперов и марок. Река на исследуемом участке имеет порядок 8,7, средний многолетний расход реки у с. Полом (1933–2018 гг.), расположенного в 28 км ниже по течению, равен $37,5 \text{ м}^3/\text{с}$ [2].

Протяженность размываемого участка у д. Варни изменилась в небольших пределах: от 87,9 м в 2013 г. до 184 м в 2023 г. Значительными были размываемые участки в 2004, 2010–2012 гг. Наименьшие значения средней ширины размывов были отмечены в 2008 (0,18 м), 2013 (0,27 м) гг. Высокие значения максимальной ширины размывов присутствовали в 2012, 2007, 2013, 2014 гг. (табл. 1), когда на реке были зарегистрированы наибольшие значения расходов половодья. Высокие значения максимальных площадей и объемов размывов были отмечены преимущественно в последние годы наблюдения, включая 2012, 2011, 2014, 2015–2023 гг. (табл. 2). Максимальные расходы половодья были зарегистрированы именно в последние годы наблюдения: в 2016 ($1010 \text{ м}^3/\text{с}$), 2012 ($617 \text{ м}^3/\text{с}$), 2013 ($585 \text{ м}^3/\text{с}$), 2014 ($580 \text{ м}^3/\text{с}$) гг. Таким образом, в верховьях р. Чепцы максимальные значения ширины, площади и объемов размыва приурочены ко второй половине периода наблюдений, здесь выявляется явный положительный (восходящий) тренд в многолетней динамике размыва берегов.

илюстрирует топографический план исследуемого участка, полученный при тахеометрической съемке (рис. 7). На представленном рисунке показано нижнее крыло пологой сегментной излучины, имеющей сравнительно малую кривизну, где достаточно четко выделяются 3 неравномерные по протяженности зоны: зоны слабого размыва в самой верхней и самой нижней частях крыла, протяженностью не более 15–18 м каждая и центральная зона сильного размыва, где ширина размыва достигает 8–12 м.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Рысин И.И., Григорьев И.И.

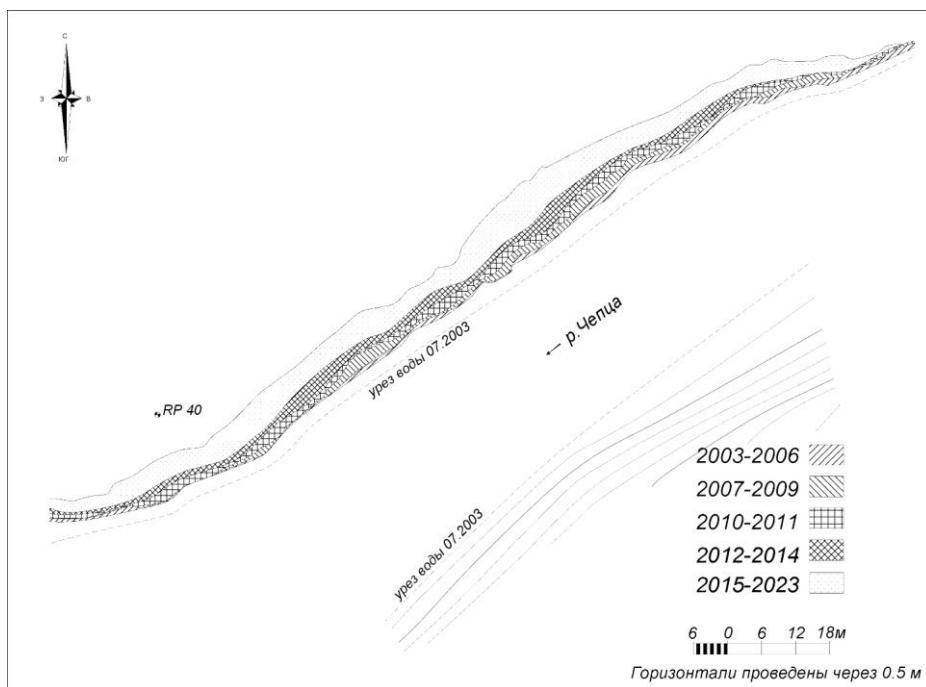


Рис. 7. Схема смещения размываемого берегового уступа на р. Чепца (д. Варни) за 2003–2023 гг.

Fig. 7 Displacement of the eroding bank scarp on the Cheptsya River (Varni village) for 2003–2023

К следующей группе средних рек, где проводятся достаточно регулярные наблюдения с применением инструментальных методов, относятся реки Вала, Сива, Чепца. На реке Вале (лев. приток р. Кильмезь), на участке у д. Макарово (в 1,6 км от моста вниз по течению), тахеометрическая съемка проводилась в течение 15 лет, начиная с 2003 г. В 2015–2019 гг. геодезическая съемка не проводилась, в эти годы наблюдения осуществлялись с помощью реперов и марок. Высота размываемого берегового уступа здесь составляет 4,2 м, а длина съемки береговой линии – 314 м. Река на данном участке имеет порядок 9,3, средний многолетний расход реки у с. Вавож (1952–2018 гг.) составляет 22,4 м³/с. Максимальный расход был зарегистрирован 2 мая 1979 г. и составил 468 м³/с согласно данным, предоставленным УЦГМС [2]. Минимальный меженный расход летнего периода за время наблюдений был зарегистрирован в 2010 г. и составил 2,39 м³/с.

Здесь протяженность размываемого участка излучины изменялась от 154,8 м (2006 г.) до более 300 м в 2020, 2021 гг. Самые низкие значения ширины размывов были получены в 2023, 2006, 2009 гг., наибольшие – в 2005, 2021, 2011 гг. (табл. 1) соответственно. Наиболее низкие показатели площадей размыва были отмечены в 2006, 2023, 2010, 2014 гг. Наибольшие площади отступания береговых уступов здесь также не всегда совпадают по времени наибольшим линейным значениям. Так, существенные площади размыва отмечены в 2005, 2021, 2008, 2004 гг. (табл. 2).

Максимальные величины линейного и площадного размывов по годам соответствуют высоким значениям максимальных годовых расходов. Так, в 2005 году он составил 217 м³/с, а в 2021 г. – 304 м³/с, что лишь незначительно уступает расходу 2016 г. (319 м³/с), он наивысший за весь период исследований на реке. К сожалению, в этот год инструментальные наблюдения не проводились, и, по данным реперных наблюдений, в этот год здесь были зафиксированы второй по величине максимум среднегодового размыва за весь период наблюдений (0,8 м) и одно из высоких значений максимального размыва (1,4 м). Значительные вариации характерны и для объемов размыва. Самые низкие значения объемов размыва были в 2006, 2023, 2010 гг. Наиболее высокие объемы размыва были зарегистрированы, как и в случае с площадями, в 2005, 2021, 2008 гг. (табл. 2). В 2008 г. максимальные расходы половодья были выше, чем в 2005 г., и составили 226 м³/с. Учитывая относительно короткий срок наблюдения и наличие 5-летнего перерыва, трудно сделать однозначные выводы о тренде в динамике процессов размыва на исследуемом участке реки.

Рассмотрим, как изменяются величины размывов в пространстве, т.е. в пределах исследуемой излучины, являющейся по типу свободной, а по внешнему виду сегментной (рис. 8). Для удобства анализа разделим исследуемый участок на 4 части с юга на север, затем на запад вниз по течению, при этом середина излучины (вершина) оказывается в том месте, где она имеет наибольшую кривизну. Максимальные значения ширины и площадей размыва располагаются ниже по течению от вершины излучины и в основном соответствуют третьей части излучины. Здесь суммарные размывы достигают 12–15 м. Вторая часть излучины, расположенная выше по тече-

Таким образом, анализ динамики размывов на 5 малых реках показал, что на большинстве изучаемых участков ряд наблюдений по продолжительности недостаточный, чтобы делать уверенные заключения о тенденции их развития в перспективе. Исключением является лишь одна река, где продолжительность регулярных наблюдений достаточна для утверждения о наблюдаемой положительной тенденции в динамике размывов за исследуемый период. Величина размывов на р. Кырыкмас имеет достаточно надежную положительную связь

с максимальными расходами половодья на р. Позимь, выбранной в качестве реки-аналога.

Физическая география, ландшафтovedение и геоморфология

Рысин И.И., Григорьев И.И.

нию, немного уступает по величине размывов от ниже расположенного участка. На 3-м месте по величине размыва находится нижняя (четвертая) часть излучины. Наименьшая зона размыва расположена в самой верхней (первой) части излучины, где прослеживаются локальные оползни-обвалы (обрушения) в береговых уступах.

О расположении максимальных участков размыва ближе к нижнему крылу излучины говорится также в исследованиях на р. Керженец в Нижегородском Заволжье [14, 15]. Механизм размыва излучин и отложения наносов в русловом потоке – весьма дискуссионный и не до конца разработанный вопрос. Критический обзор различных гипотез содержится в многочисленных трудах как отечественных, так и зарубежных ученых [12, 13, 17, 18, 31, 33, 38, 45, 48].

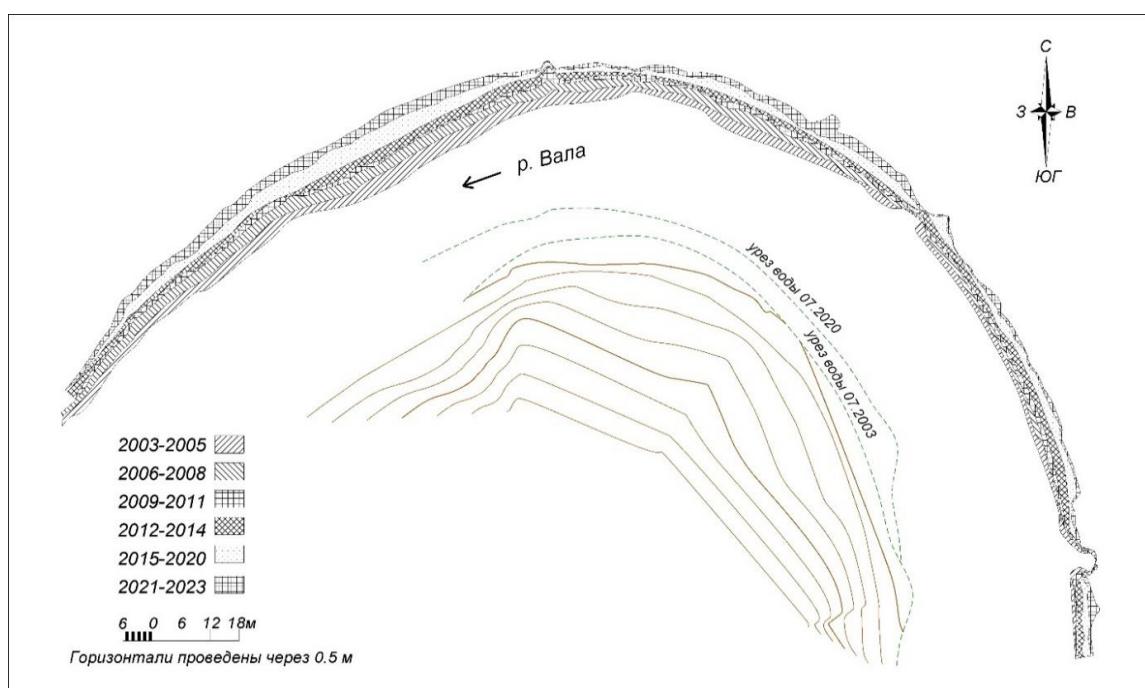


Рис. 8. Схема смещения размываемого берегового уступа на р. Вала (д. Макарово) за 2003–2023 гг.

Fig. 8. Displacement of the eroding bank scarp on the Vala River (Makarovo village) for 2003–2023

На р. Сиве (пр. приток р. Камы) у д. Метляки геодезическая съемка береговых размывов осуществляется на двух участках. Поскольку 2-й участок расположен дальше от деревни и добираться туда сложнее, чем на первый, там инструментальная съемка проводилась реже. Вследствие этого здесь приводятся лишь данные по первому участку, расположенному в 500 м к западу от северной окраины деревни (рис. 1). Протяженность рассматриваемого участка, где осуществляется тахеометрическая съемка, составляет 300 м, средняя высота размываемого берегового уступа равна 3,5 м. Инструментальная съемка здесь проводится с 2003 г. с перерывом в 2016–2018 гг. Река на исследуемом участке имеет порядок 10,8, средний многолетний расход реки у с. Гавриловка (1991–2018 гг.), расположенного в 9 км выше по течению, равен $22,27 \text{ м}^3/\text{с}$, максимальный годовой расход, по данным УЦГМС, был зарегистрирован в 2021 г. и составил $260 \text{ м}^3/\text{с}$. Минимальный меженный расход летнего периода был отмечен в 2010 г. ($9,72 \text{ м}^3/\text{с}$).

За рассматриваемый период протяженность размываемого участка излучины варьировалась от 115 м в 2015 г. до 283 м в 2007 г. Величины средней ширины отступания береговых уступов изменились от 0,22 (2022 г.) до 1,99 м (2010 г.), при этом значительные показатели были получены также в 2006 и 2012 гг. Высокие значения максимальной ширины размывов были зарегистрированы в 2012, 2006, 2015, 2010 гг. (табл. 1). В эти же годы на реке были зафиксированы наиболее высокие половодные расходы: 293 (2010 г.), 243 (2012 г.), 203 (2016 г.), 260 (2021 г.) $\text{м}^3/\text{с}$. Минимальные площади и объемы размывов отмечались в 2022, 2023, 2015, 2020 гг., наибольшие же значения были присущи 2010, 2006, 2011, 2012 гг. (табл. 2).

Анализ максимальных значений ширины, площади и объема размывов свидетельствует об отсутствии какой-либо явно выраженной тенденции в динамике развития береговых размывов на р. Сиве. Анализ же максимальных годовых (половодных) расходов на реке говорит о явно выраженным положительном тренде, что особенно заметно, начиная с 2010 г.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Рысин И.И., Григорьев И.И.

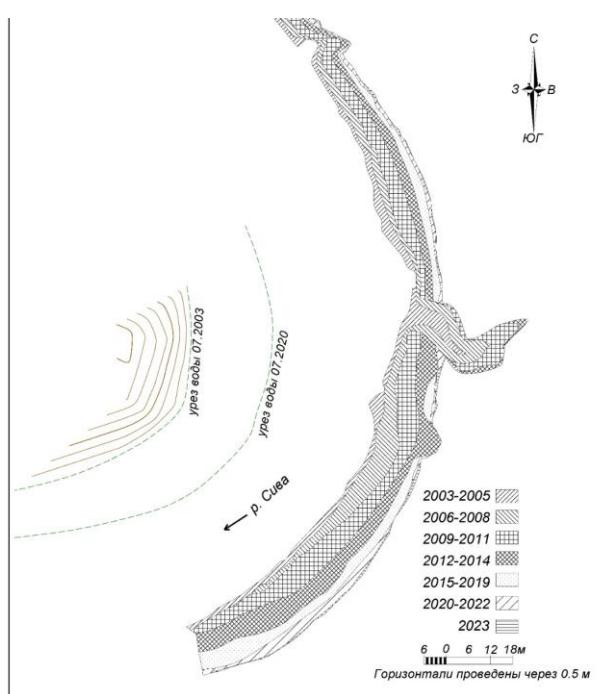


Рис. 9. Схема смещения размываемого берегового уступа на р. Сиве (д. Метляки) за 2003–2023 гг.

Fig. 9. Displacement of the eroding bank scarp on the Siva River (Metlyaki village) for 2003–2023

Средняя ширина размыва на участке изменялась в небольших пределах: от 0,25 м в 2004 г. до более 2 м в 2006 и 2012 гг. Наибольшие значения максимальной ширины размывов были зафиксированы в 2006, 2012, 2013, 2014 гг. (табл. 1). Наиболее высокие значения площадей и объемов размывов отмечены в 2012, 2006, 2013, 2014, 2015–2023 гг. (табл. 2).

В указанные годы были зарегистрированы и максимальные годовые расходы: 1130 (2006 г.), 1010 (2012 г.), 962 (2013 г.), 895 (2014 г.) м³/с, наивысший же расход за последние 25 лет был отмечен в 2016 г. и составил 1409 м³/с. Именно аномальное половодье 2016 г. обеспечило высокие показатели размыва за последние 9 лет. Достаточно высоким было половодье и в 2021 г., когда максимальные расходы достигли 934 м³/с. Приведенные данные показывают, что в среднем течении р. Чепцы максимальные значения ширины, площади и объемов размыва, так же как и в ее верховьях (д. Варни), приурочены ко второй половине периода наблюдений, следовательно, на данном участке выявляется хорошо выраженный положительный тренд в динамике показателей размыва берегов.

Анализ топографического плана исследуемого участка демонстрирует то, что здесь представлено нижнее крыло пологой сегментной излучины с достаточно малой кривизной (рис. 10). В верхней части крыла наблюдаются 2 мысовидных выступа, к которым приурочены локальные максимумы размывов, достигающие 25 м и более. На остальной территории зоны размыва относительно однородные, за исключением самой верхней и нижней частей крыла, где ширина размыва заметно уменьшается.

Изучение топографического плана исследуемого участка показывает, что здесь представлена часть нижнего крыла развитой сегментной излучины свободного типа с достаточно выраженной кривизной в ее вершине, где и фиксируются максимальные значения ширины и площади размывов, суммарно достигающие 18–20 м (рис. 9). В зоне максимальной кривизны излучины находится активно растущий пойменный овраг и локальное оползневое обрушение (оползень-обвал) берегового уступа, образовавшееся в 2014 г. Здесь отмечается классическое смещение максимальной зоны размыва к нижнему крылу излучины, о чем говорилось выше.

Тахеометрическая съемка в среднем течении р. Чепцы у с. Адам (в 1,2 км на Ю-З от западной окраины села) проводилась в те же годы, что и на выше-рассмотренном участке. Длина участка, где проводится геодезическая съемка, наиболее протяженная и составляет 533 м. Средняя высота размываемого берегового уступа – 5,6 м. Протяженность размываемого участка изменилась в следующих пределах: от 291 м в 2008 г. до 532,7 м в 2023 г., при этом наиболее высокие значения отмечались в последние 12 лет: в 2011–2013, 2015–2023 гг. Река на исследуемом участке имеет порядок 11,8, средний многолетний расход реки у г. Глазова (1937–2018 гг.), расположенного в 10 км ниже по течению, равен 65,8 м³/с, максимальный суточный расход был зарегистрирован 6 мая 1979 г. и составил 1800 м³/с [2].

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Рысин И.И., Григорьев И.И.

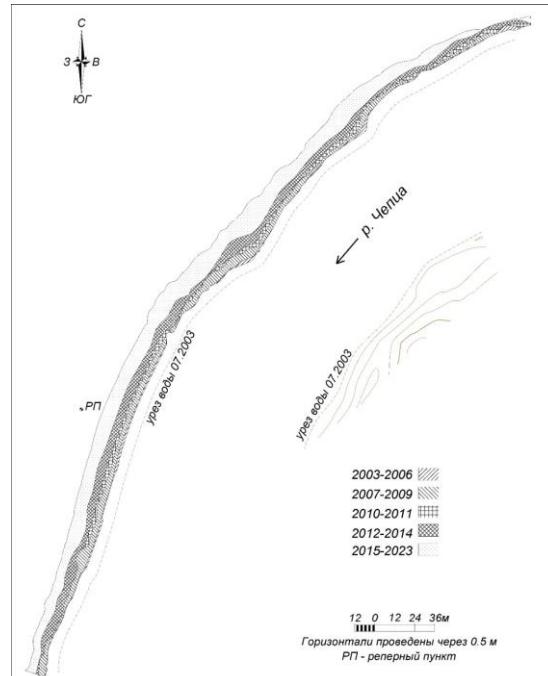


Рис. 10. Схема смещения размываемого берегового уступа на р. Чепце (с. Адам) за 2003–2023 гг.

Fig. 10. Displacement of the eroding bank scarp on the Cheptsa River (Adam village) for 2003–2023

Поскольку для вышерассмотренных участков на реках имеются гидрологические посты с данными о среднегодовых и максимальных годовых (половодных) расходах, включая период с 2004 по 2015 г., нами был проведен корреляционный анализ между максимальной шириной размыва и показателями стока. Корреляционная связь между максимальной шириной размыва и среднегодовыми расходами на р. Сиве (Гавриловка) и р. Чепце (Глазов) не обнаружена, поскольку они сглаживаются меженными расходами и характеризуются незначительными вариациями. Связь же с максимальными годовыми расходами на р. Чепце получилась очень высокой ($r=0,899$), а для р. Сивы высокой ($r=0,600$) (рис. 11). На реке Чепце для участка у с. Адам связь между площадью и объемом размыва, с одной стороны, и максимальными годовыми расходами, с другой стороны, также оказалась высокой и получилась равной для обоих показателей ($r=0,787$). Аналогичная ситуация возникла и для р. Сивы на участке Метляки, где зависимость площадей и объемов размыва от максимальных годовых расходов также высокая ($r=0,794$) и превышает показатель связи с максимальной шириной размывов. Полученные показатели связи во всех случаях достоверны [16].

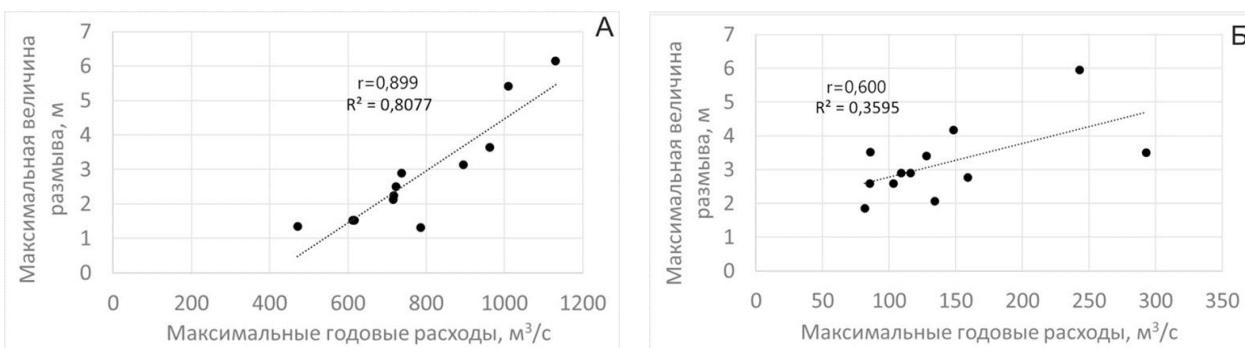


Рис. 11. Зависимости между максимальной шириной размыва на р. Чепце у с. Адам (А) и р. Сива у д. Метляки (Б) и их максимальными годовыми расходами за 2004–2015 гг.

Fig. 11. Relationship between the maximum width of erosion on the Cheptsa River near Adam village (A) and the Siva River near Metlyaki village (B) and their maximum annual discharges for 2004–2015

Анализ размывов на трех средних реках показал, что главным фактором, обеспечивающим размыв береговых уступов в условиях свободного развития излучин, являются максимальные годовые расходы, наблюдающиеся в период весеннего половодья. Участки с наибольшими размывами часто приурочены к нижнему крылу излучины и немножко смещены вниз по течению от точек с наибольшей кривизной.

В литературе приводятся сведения в основном о средних многолетних размывах береговых уступов для крупных и крупнейших равнинных рек России, достигающих 10–15 м/год, но также имеются публикации о боковых размывах до 200 м в год [19, 20, 27, 37, 39]. По данным стационарных наблюдений, на малых и средних реках Европейской части России среднегодовые величины смещения береговых уступов редко превышают 2–4 м, в основном они варьируют в пределах 0,2–1,5 м [11].

Заключение

Анализ многолетних инструментальных наблюдений показал, что для средних рек (рр. Вала, Чепца у с. Адам и Сива) наибольшие значения ширины размыва достигают 5,96–6,15 м/год, а высота размываемого берегового уступа изменяется от 3,5 м на р. Сиве до 5,6 м на р. Чепце. В пространственном отношении размываемые участки приурочены к участкам излучин с наибольшей крутизной или смещены ниже по течению, реже – к мысовидным выступам. В многолетней динамике размывов на р. Чепце отчетливо прослеживается положительный тренд. Для реки Вала из-за больших перерывов в съемках после 2015 г. о каких-либо тенденциях в динамике

Физическая география, ландшафтovedение и геоморфология
Рысин И.И., Григорьев И.И.

судить невозможно. Участок на реке Сиве в отношении многолетней динамики размывов находится в состоянии варьирования относительно средних значений.

Для малых рек (рр. Кильмезь, Лумпун, Нылга, Кырыкмас и верхняя Чепца) наибольшие величины размывов изменяются в значительных пределах: от 2,26 (р. Лумпун) до 8,14 м (р. Кырыкмас), следовательно, по максимальным значениям они даже превышают некоторые средние реки. Протяженность размываемых участков варьирует от 48–110 м на р. Лумпун до 55–330 м на р. Нылге. Средняя высота размываемого уступа на указанных реках изменяется от 2,5 (р. Нылга) до 6,8 (р. Кырыкмас) и даже 8,8 м на р. Лумпун. Расположение размываемых участков в пределах различных видов излучин характеризуется локальными особенностями, но чаще приурочено к участкам с наибольшей крутизной. В каждом случае можно выделить несколько зон с различной интенсивностью размыва. В данной группе только для р. Кырыкмас, для которой отмечается лишь 2-х летний перерыв в тахеометрических съемках, отчетливо выражен положительный (восходящий) тренд в динамике русловых размывов.

Установлена очень тесная связь между максимальной шириной размыва на р. Чепце (с. Адам) и максимальными расходами реки за период с 2004 по 2015 г., о чем свидетельствуют значимые коэффициенты корреляции ($r=0,899$). Достаточно высокая связь получилась с площадью и объемом размывов за указанные годы ($r=0,787$). На реке Сиве корреляционная связь между максимальной шириной размыва и максимальными расходами за указанный период оказалась чуть ниже ($r=0,600$), но тоже существенная. Показатель же связи с площадным и объемным размывами получился более значимым ($r=0,794$). Близкие значения связи были установлены для размывов на р. Кырыкмас и максимальными расходами на реке-аналоге (р. Позимь).

Корреляционная связь между названными показателями размыва и среднегодовыми расходами за указанный период на данных реках не установлена. Выявлению роли других факторов (состав размываемых пород, параметры излучин и др.), определяющих интенсивность размыва берегов рек, будет посвящена отдельная статья.

Полученные результаты могут быть использованы для изучения как аналогичных рек Удмуртии, так и рек равнинных территорий Европейской части РФ.

Необходимость многолетних полевых исследований размывов береговых уступов рек с применением современных инструментальных методов определяется важностью выявления закономерностей русловых процессов для составления надежных прогнозов их развития в конкретных ландшафтно-геоморфологических условиях с целью предотвращения опасных геоэкологических ситуаций.

Библиографический список

1. Антроповский В.И. Гидрологоморфологические закономерности и фоновые прогнозы переформирования русел рек. СПб, 2006. 216 с. ISBN: 5-89495-173-9 EDN: QKGGND
2. Атлас Удмуртской Республики. / под общ. ред. И.И. Рысина. Изд. 2-е, доп. и перераб. М.: Феория; Ижевск: Удмуртия, 2020. 288 с.
3. Беркович К.К. Географический анализ антропогенных изменений русловых процессов. М.: ГЕОС. 2001. 164 с.
4. Ведомости меженных расходов воды (графически определенных) различных обеспеченностей (часть 4). Отчет по теме: «Изучение водных ресурсов и водообеспеченности Удмуртской АССР», часть III «Ведомости измеренных расходов» (Казанский отдел гидрологии и водных ресурсов Северного научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации). Казань, 1974. 57 с.
5. Гафуров А.М., Рысин И.И., Голосов В.Н. и др. Оценка современного роста вершин оврагов южного мегасклона Восточно-Европейской равнины с применением набора инструментальных методов. Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2018. № 5. С. 61–71. EDN: YMBCWP
6. Григорьев И.И., Рысин И.И. Исследования техногенных и сельскохозяйственных оврагов в Удмуртии с применением ГИС-технологий. Вестник Удмуртского университета. Сер. Биология. Науки о Земле. 2008. Вып. 1. С. 49–58. EDN: SZCYZF
7. Григорьев И.И., Рысин И.И. Применение геоинформационных систем при исследованиях техногенных и сельскохозяйственных оврагов в Удмуртии. Геоморфология. 2009. № 1. С. 69–75. EDN: JVSUQP
8. Григорьев И.И., Рысин И.И. Использование беспилотного летательного аппарата (квадрокоптера) с применением цифровых технологий в географических исследованиях // Цифровая география. Цифровые и геоинформационные технологии в изучении природных процессов в экологии, природопользовании и гидрометеорологии: материалы Всерос. науч.-практ. конференции с междунар. участием (г. Пермь, 16–18 сентября 2020 г.). 2020. Т. 1. С. 54–57.
9. Джуха И.Г., Чалов Р.С. Морфология и динамика русла р. Юг как пример руслоформирующей деятельности малой реки. Геоморфология. 1989. № 1. С. 83–91.
10. Завадский А.С., Чалов Р.С. Региональный анализ свободного меандрирования // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1997. № 3. С. 32–36.
11. Завадский А.С., Лобанов Г.В., Петухова Л.Н. и др. Результаты стационарных исследований русловых процессов на реках ЕТР // Эрозионные и русловые процессы: сборник трудов. М.: МАКС Пресс, 2010. Вып. 5. С. 220–251. EDN: WHYUFL
12. Замышляев В.И. О причинах меандрирования рек (обзор работ зарубежных авторов) // Вопросы гидрологии суши. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. С. 133–141.
13. Знаменская Н.С. Донные наносы и русловые процессы. Л.: Гидрометеоиздат, 1976. 192 с.
14. Кораблева О.В., Чернов А.В. Динамика пойменно-русловых комплексов рек Нижегородского Заволжья (на примере реки Керженец) // Труды Государственного природного биосферного заповедника «Керженский». Нижний Новгород: Изд-во: «Государственный природный биосферный заповедник «Керженский», 2012. Т. 5. 196 с. ISBN: 978-5-9901653-1-1 EDN: VYZZSB
15. Кораблева О.В., Чернов А.В. Современная динамика пойменно-русловых комплексов средней реки Керженец (по мониторинговым наблюдениям 2001–2018 гг.) // Научные проблемы оздоровления Российских рек и пути их решения. М.: ИВП РАН, 2019. С. 172–176. EDN: GXOGWY
16. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.
17. Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 347 с.

Физическая география, ландшафтovedение и геоморфология
Рысин И.И., Григорьев И.И.

18. Матвеев Б.В. Влияние геолого-геоморфологических факторов на образование и морфологию речных излучин. Геоморфология, 1985. № 3. С. 51–57.

19. Махинов А.Н., Ким В.И., Аношкин А.В. и др. Преобразование локальных пойменно-русловых систем рек Амур и Уссури как фактор возникновения трансграничных проблем // Региональные проблемы. 2018. Т. 21, № 2. С. 61–68. DOI: 10.31433/1605-220X-2018-21-2-61-68 EDN: UTAEKY

20. Михайлова Н.М., Турыкин Л.А., Ботавин Д.В. Особенности деформации русел полугорных участков рек бассейна р. Кубани // Тридцать восьмое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов: доклады и сообщения (Пермь, 2–6 октября 2023 г.). Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2023. С. 161–163.

21. Назаров Н.Н., Егоркина С.С. Реки Пермского Прикамья: Горизонтальные русловые деформации. Пермь: ИПК «Звезда», 2004. 155 с.

22. Научно-прикладной справочник: Основные гидрологические характеристики рек бассейна Камы. Коллектив авторов / под ред. В.Ю. Георгиевского. Ливны: Издатель Мухаметов Г.В., ФГБУ «ГГИ», 2015. 135 с.

23. Павлов И.Н. Морфология русел рек равнинной части Алтайского края. Геоморфология. 1994. № 3. С. 78–85.

24. Переведенцев Ю.А., Шумихина А.В., Шанталинский К.М. и др. Опасные гидрометеорологические явления на территории Приволжского федерального округа // Метеорология и гидрология. 2019. № 12. С. 20–30. EDN: JEUSUH

25. Переведенцев Ю.П., Шерстюков Б.Г., Шанталинский К.М. и др. Климатические изменения в Приволжском федеральном округе в XIX–XXI веках // Метеорология и гидрология. 2020. № 6. С. 36–46. EDN: PRRGHZ

26. Петухова Л.Н., Рысин И.И. Факторы русловых процессов и их влияние на морфодинамику русел рек Удмуртии // Геоморфология, 2006. № 4. С. 70–78. EDN: HYLEZN

27. Попов И.В., Кондитерева Э.А. Прогноз русловых деформаций Волги на участке Саралёвского водного узла в связи с проектированием улучшения его судоходных условий // Тр. ГГИ. 1974. № 216. С. 65–93.

28. Рысин И.И., Петухова Л.Н. Русловые процессы на реках Удмуртии. Ижевск: Ассоциация «Научная книга», 2006. 176 с. ISBN: 5-9631-0029-1 EDN: XHQTHNJ

29. Рысин И.И., Григорьев И.И., Петухова Л.Н. и др. Результаты многолетних исследований русловых размывов на реках Удмуртии // Эрозионные и русловые процессы. 2020. М.: Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова. Вып. 7. С. 269–280.

30. Рысин И.И., Григорьев И.И., Петухова Л.Н. и др. Многолетняя динамика скоростей горизонтальных русловых размывов на реках Удмуртии // Геоморфология и палеогеография. 2024. № 1. С. 24–37. DOI: 10.31857/S2949178924010033 EDN: IRWCHB

31. Сидорчук А.Ю., Махинов А.Н. Морфология и динамика руслового рельефа // Итоги науки и техники. Сер. Гидрология суши. М.: ВИНИТИ, 1985. Т. 5. 163 с.

32. Спиридовон А.И. Основы общей методики полевых геоморфологических исследований и геоморфологического картографирования. М.: Высшая школа, 1970. 456 с.

33. Чалов Р.С., Алябин А.М., Иванов В.В., Лодина Р.В., Панин А.В. Морфодинамика русел равнинных рек. М.: ГЕОС, 1998. 288 с. ISBN: 5-89118-044-8 EDN: UVXWJU

34. Чалов Р.С. Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел // Русловедение: теория, география, практика. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. Т. 1. 608 с. ISBN: 978-5-382-00528-7 EDN: QKHNJP

35. Чалов Р.С. Морфодинамика речных русел // Русловедение: теория, география, практика. М.: КРАСАНД, 2011. Т. 2. 960 с. ISBN: 978-5-396-00325-5 EDN: QKHNJZ

36. Чалов Р.С., Голубцов Г.Б., Куракова А.А. Прямолинейные неразветвленные русла: морфологическое разнообразие и типизация // Вестник Московского университета. Серия 5. География. М., 2025. Т. 80, № 1. С. 98–109. DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.1.7 EDN: HAAYEJ

37. Чалов Р.С., Завадский А.С., Рулева С.Н. и др. Морфология, деформации, современные изменения русла р. Лены и их влияние на хозяйственную инфраструктуру в районе г. Якутска // Геоморфология. 2016. № 3. С. 22–35. DOI: 10.15356/0435-4281-2016-3-22-35 EDN: WLAZIN

38. Чалов Р.С., Завадский А.С., Панин А.В. Речные излучины. М.: Изд-во МГУ, 2004. 371 с. EDN: QKEFLX

39. Чалов Р.С., Чернов А.В., Беркович К.М. и др. География проявления русловых процессов на реках России // Известия Русского географического общества. 2017. Т. 149, Вып. 4. С. 13–33. EDN: ZCRLEF

40. Чалов С.Р. Речные наносы в эрозионно-русловых системах: автореф. дисс. ... докт. геогр. наук. М.: МГУ, 2021. 50 с. EDN: IQWOBЕ

41. Чернов А.В. География и геоэкологическое состояние русел и пойм рек Северной Евразии. М.: ООО «Крона», 2009. 614 с.

42. Шайдеггер А.Е. Теоретическая геоморфология. М.: Прогресс, 1964. 450 с.

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

44. Knighton A.D. (1977) The meander problem. Geography. Pt. 2. No. 275. P. 106–111.

45. Knighton A.D. Fluvial Forms and Processes: A New Perspective. London: Arnold, 1998. 383 p. DOI: 10.4324/9780203784662

46. Petukhova L.N., Rysin I.I. Patterns in the development of horizontal river channel transformations in the Republic of Udmurtia, Russian Federation // Channel processes in the rivers of mountains, foothills and plains / edited by R.S. Chalov, M. Kamiowska, K. Krzemien. Cracow, 2006. P. 119–131.

47. Robert A. River processes: an introduction to fluvial dynamics. London: Arnold, 2003. 214 p.

48. Yang C.T. On river meanders. J. Hidrology. 1971. Vol. 13. P. 231–233.

References

1. Antropovskii V.I. (2006) Hydrological and morphological patterns and background forecasts for the reformation of river channels. SPb. (in Russ.)

2. Atlas of the Udmurt Republic. (2020) / pod obshei red. I.I. Rysina. – Izd. 2-e, dop. i pererab. – M.: Feoriya; Izhevsk: Udmurtiya. (in Russ.)

3. Berkovich K.K. (2001) Geographical analysis of anthropogenic changes in channel processes. M.: GEOS. (in Russ.)

4. Vedomosti mezhennyh rashodov vody (graficheski opredelennyh) razlichnyh obespechennostej (chast' 4). (1974) Otchet po teme: "Izuchenie vodnyh resursov i vodoobespechennosti Udmurtskoj ASSR", chast' III "Vedomosti izmerennyh rashodov" (Kazanskij otdel gidrologii i vodnyh resursov Severnogo nauchno-issledovatel'skogo instituta gidrotehniki i melioracii). Kazan'. 57 p. (in Russ.)

5. Gafurov A.M., Rysin I.I., Golosov V.N. et al. (2018) Assessment of modern growth of gully tops on the southern megaslope of the East European Plain using a set of instrumental methods. Vestnik Mosk. un-ta, Ser. 5. Geografiya. No. 5. P. 61–71. (in Russ.)

Физическая география, ландшафтovedение и геоморфология

Рысин И.И., Григорьев И.И.

6. Grigorev I.I., Rysin I.I. (2008) Research of man-made and agricultural ravines in Udmurtia using GIS technologies. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Ser. Biologiya. Nauki o zemle.* Iss. 1. P. 49–58. (in Russ.)

7. Grigorev I. I., Rysin I. I. (2009) Application of geographic information systems in the study of man-made and agricultural ravines in Udmurtia. *Geomorfologiya.* No. 1. P. 69–75. (in Russ.)

8. Grigorev I.I., Rysin I.I. (2020) Using an unmanned aerial vehicle (quadcopter) using digital technologies in geographical research. In: *Cifrovaya geografiya - materialy Vseros. nauch.-prakt. konferencii s mezhdunar. uchastiem (g. Perm', 16–18 sentyabrya 2020 g.): v 2 t. T. 1: Cifrovye i geoinformacionnye tehnologii v izuchenii prirodnnyh processov v ekologii, prirodopol'zovaniu i gidrometeorologii.* P. 54–57. (in Russ.)

9. Dzhuha I.G., Chalov R.S. (1989) Morphology and dynamics of the river r. Yug as an example of the channel of the forming activity of a small river. *Geomorfologiya.* No 1. P. 83–91. (in Russ.)

10. Zavadskii A.S., Chalov R.S. (1997) Regional analysis of free meandering. *Vestnik Mosk. Un-ta. Ser. 5. Geografiya.* No 3. P. 32–36. (in Russ.)

11. Zavadskii A.S., Lobanov G.V., Petuhova L.N. at al. (2010) The results of stationary studies of channel processes on ETR rivers. In: *Erozionnye i ruslovye processy: Sbornik trudov.* M.: MAKS Press. Iss.5. P. 220–251. (in Russ.)

12. Zamyshlyaev V.I. (1978) On the reasons for the meandering of rivers (overview of the work of foreign authors). *Voprosy gidrologii sushi.* L.: Gidrometeoizdat, 1978. P. 133–141. (in Russ.)

13. Znamenskaya N.S. (1976) Bottom sediments and channel processes. L.: Gidrometeoizdat (in Russ.)

14. Korableva O.V., Chernov A.V. (2012) The dynamics of the imputation complex of the rivers of the Nizhny Novgorod Volga region (for the example of the Kerzhenets River). *Trudy Gosudarstvennogo prirodno-biosfernogo zapovednika «Kerzhenskii».* Nizhnii Novgorod: Izd-vo: «Gosudarstvennyi prirodnyi biosfernyi zapovednik «Kerzhenskii». (in Russ.)

15. Korableva O.V., Chernov A.V. (2019) Modern dynamics of the imputation of the Middle River Kerzhenets (according to monitoring observations of 2001-2018). In: *Nauchnye problemy ozdorovleniya Rossiiskikh rek i puti ikh resheniya.* M.: IVP RAN. P. 172–176. (in Russ.)

16. Lakin G.F. (1990) Biometrics. M.: Vysshaya shkola. 352 p. (in Russ.)

17. Makkaveev N.I. (1955) Riverbed of rivers and erosion in its pool. M.: Izd-vo AN SSSR. 347 p. (in Russ.)

18. Matveev B.V. (1985) The influence of geological and geomorphological factors on the formation and morphology of river bends. *Geomorfologiya.* No 3. P. 51–57. (in Russ.)

19. Mahinov A.N., Kim V.I., Anoshkin A.V. at al. (2018) The transformation of the local imputation systems of the Amur and Ussuri rivers as a factor in the occurrence of cross-border problems. *Regional'nye problemy.* T. 21, No 2. P. 61–68. (in Russ.)

20. Mihajlova N.M., Turykin L.A., Botavin D.V. (2023) Features of deformation of channels of semi-native sections of rivers of the basin r. Kuban. In: *Tridcat' vos'moe plenarnoe mezhvuzovskoe koordinacionnoe soveshchanie po probleme erozionnyh, ruslovyh i ust'evyh processov: doklady i soobshheniya (Perm', 2-6 oktyabrya 2023 g.).* Permskii gos. nac. issl. un-t. Perm'. P. 161–163. (in Russ.)

21. Nazarov N.N., Egorkina S.S. (2004) Rivers of Perm Prikamye: Horizontal channel deformations. Perm': IPK «Zvezda». (in Russ.)

22. Scientific and applied reference book: the main hydrological characteristics of the Kama basin rivers (2015) Kollektiv avtorov: pod red. Georgievskogo V.Ju. - Jelektron. Tekstovye i graf. dan. v formate PDF (2 fajla: 25Mb). Livny: Izdatel' Muhametov G.V., FGBU «GGI». 135 p. (in Russ.)

23. Pavlov I.N. (1994) Morphology of riverbeds of the rivers of the flat part of the Altai Territory. *Geomorfologiya.* No 3. P. 78–85. (in Russ.)

24. Perevedencev Ju.A., Shumihina A.V., Shantalinskij K.M. at al. (2019) Opasnye gidrometeorologicheskie javlenija na territorii Privalzhskogo federal'nogo okruga. *Meteorologija i gidrologija.* No 12. P. 20–30. (in Russ.)

25. Perevedencev Ju.P., Sherstjukov B.G., Shantalinskij K.M. at al. (2020) Klimaticheskie izmenenija v Privalzhskom federal'nom okruge v XIX–XXI vekah. *Meteorologija i gidrologija.* No 6. P. 36–46. (in Russ.)

26. Petuhova L. N., Rysin I.I. (2006) Factors of channel processes and their influence on the morphodynamics of the rivers of Udmurtia. *Geomorfologiya.* No 4. P. 70–78. (in Russ.)

27. Popov I.V., Konditerova Je.A. (1974) The forecast of the channel deformations of the Volga on the site of the Sarale Water Node in connection with the design of improving its shipping conditions. *Tr. GGI.* No 216. P. 65–93. (in Russ.)

28. Rysin I.I., Petuhova L.N. (2006) Channel processes on the rivers of Udmurtia. Izhevsk: Asociaciya «Nauchnaya kniga». 176 p. (in Russ.)

29. Rysin I.I., Grigor'ev I.I., Petuhova L.N. at al. (2020) The results of perennial studies of channel erosion on the rivers of Udmurtia. In: *Erozionnye i ruslovye processy. Vyp. 7.* M.: Geograficheskii fakul'tet MGU imeni M.V. Lomonosova. P. 269–280. (in Russ.)

30. Rysin I.I., Grigor'ev I.I., Petuhova L.N. at al. (2024) The results of perennial studies of channel erosion on the rivers of Udmurtia. *Geomorfologiya i paleogeografiya.* No 1. P. 24–37. DOI: 10.31857/S2949178924010033, EDN: IRWCHB (in Russ.)

31. Sidorchuk A.Ju., Mahinov A.N. (1985) Morphology and dynamics of the channel relief. *Itogi nauki i tekhniki. Ser. Gidrologiya sushi.* M.: VINITI. T. 5. 163 p. (in Russ.)

32. Spiridonov A.I. (1970) Fundamentals of the general methodology of field geomorphological research and geomorphological mapping. M.: Vysshaya shkola. 456 p. (in Russ.)

33. Chalov R.S. (1998) Morphodynamics of riverbeds. / R.S. Chalov, A.M. Alabjan, V.V. Ivanov, R.V. Lodina, A.V. Panin. M.: GEOS. 288 p. (in Russ.)

34. Chalov R.S. (2008) Channel studies: theory, geography, practice. Volume 1. Channel processes: factors, mechanisms, forms of manifestation and conditions for the formation of river channels. M.: Izd-vo LKI. 608 p. (in Russ.)

35. Chalov R.S. (2011) Channel studies: theory, geography, practice. Volume 2. Morphodynamics of river channels. M.: KLASAND. (in Russ.)

36. Chalov R.S., Golubtsov G.B., Kurakova A.A. (2025) Pryamolineinie nerazvetvlenie rusla: morfologicheskoe raznoobrazie i tipizatsiya // *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya.* Volume 80, No 1. M., P. 98–109. DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.1.7 (in Russ.)

37. Chalov R.S., Zavadskii A.S., Ruleva S.N. at al. (2016) Morphology, deformations, modern changes in the river bed Lenas and their influence on the economic infrastructure in the area of Yakutsk. *Geomorfologiya.* No 3. P. 22–35. (in Russ.)

38. Chalov R.S., Zavadskii A.S., Panin A.V. (2004) River bends. M.: Iz-vo MGU, 2004. 371 p. (in Russ.)

39. Chalov R.S., Chernov A.V., Berkovich K.M. at al. (2017) Geography of manifestations of channel processes on Russian rivers. *Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshhestva.* T. 149, vol. 4. P. 13–33. (in Russ.)

40. Chalov S.R. (2021) River sediments in erosion-channel systems. Avtoref. diss. ... dokt. geogr. nauk. M.: MGU. 50 p. (in Russ.)

Физическая география, ландшафтovedение и геоморфология

Рысин И.И., Григорьев И.И.

41. Chernov A.V. (2009) Geography and geoecological state of river channels and floodplains of Northern Eurasia. M.: OOO «Krona». 614 p. (in Russ.)

42. Shajdeger A.E. (1964) Theoretical geomorphology. M.: Progress. (in Russ.)

43. Erosion-channel systems: monograph. (2017) / Pod red. R.S. Chalova, V.N. Golosova, A.Ju. Sidorchuka. M.: INFRA-M. 702 p. (in Russ.)

44. Knighton A.D. (1977) The meander problem. *Geography. Pt. 2.* N 275. P. 106–111.

45. Knighton A.D. (1998) Fluvial Forms and Processes: A New Perspective. London: Arnold. 383 p. <http://dx.doi.org/10.4324/9780203784662>

46. Petukhova, L. N., Rysin I.I. (2006) 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. P. 119–131.

47. Robert A. (2003) River processes: an introduction to fluvial dynamics. London: Arnold. 214 p.

48. Yang C.T. (1971) On river meanders. *J. Hydrology.* Vol. 13. P. 231–233.

Статья поступила в редакцию: 05.02.25, одобрена после рецензирования: 08.04.25, принята к опубликованию: 12.12.25.

The article was submitted: 5 February 2025; approved after review: 8 April 2025; accepted for publication: 12 December 2025.

Информация об авторах

Иван Иванович Рысин

Доктор географических наук, профессор, кафедра экологии и природопользования, институт естественных наук, Удмуртский государственный университет; 426034, Россия, Ижевск, Университетская, 1/1;

e-mail: rysin.iwan@yandex.ru

Иван Иванович Григорьев

Кандидат географических наук, доцент, кафедра географии, картографии и геоинформатики, институт естественных наук, Удмуртский государственный университет; 426034, Россия, Ижевск, Университетская, 1/1

e-mail: ivangrig@yandex.ru

Information about the authors

Ivan I. Rysin

Doctor of Geographical Sciences, Professor, Department of Ecology and Nature Management, Institute of Natural Sciences, Udmurt State University;

1/1, Universitetskaya st., Izhevsk, 426034, Russia

Ivan I. Grigoriev

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Geography, Cartography and Geoinformatics, Institute of Natural Sciences, Udmurt State University; 1/1, Universitetskaya st., Izhevsk, 426034, Russia

Вклад авторов

Рысин И.И. – идея, сбор материала, обработка материала, написание статьи, научное редактирование текста.

Григорьев И.И. – сбор материала, обработка материала, оформление рисунков, список литературы на латинице.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Contribution of the authors

Ivan I. Rysin – the idea; material collection and processing; writing of the article; scientific editing of the text.

Ivan I. Grigoriev – material collection and processing; design of drawings; preparation of the reference list in Latin characters.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.