

---

---

# ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ДИНАМИКА ГЕОСИСТЕМ

---

---

Научная статья

УДК 551.435.11(470.51) + 551.4.04

DOI: 10.18384/2712-7621-2025-4-35-57

## РЕЗУЛЬТАТЫ МНОГОЛЕТНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАЗМЫВА БЕРЕГОВ РЕК УДМУРТИИ

© СС ВУ Рысин И. И.<sup>1</sup>, Григорьев И. И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Удмуртский государственный университет

г. Ижевск, Российская Федерация

e-mail: rysin.iwan@yandex.ru; ORCID:0009-003-6062-8078

<sup>2</sup> Удмуртский государственный университет

г. Ижевск, Российская Федерация

e-mail: ivangrig@yandex.ru; ORCID: 0000-0001-8498-1202

Поступила в редакцию 12.05.2025

После доработки 27.08.2026

Принята к публикации 19.09.2025

### *Аннотация*

**Цель.** Количественный анализ многолетней динамики размывов берегов на малых и средних реках Удмуртии, имеющий важное значение для моделирования и прогнозирования развития излучин, необходимых для предотвращения опасных геоэкологических ситуаций.

**Процедура и методы.** Впервые представлены результаты исследования смещения русел за 2003–2024 гг. на 8 ключевых участках, расположенных на малых и средних реках Удмуртии. Геодезическая съёмка проводилась на активно размываемых участках излучин рек с помощью лазерного тахеометра, который позволяет рассчитать не только линейные параметры размыва, но и площадные и объёмные показатели. С 2019 г. при инструментальной съёмке применяется спутниковый приёмник вместе с беспилотными летательными аппаратами.

**Результаты.** Установлено, что для средних рек скорости максимальных размывов достигают 6,15 м/год. Протяжённость размываемых участков варьировалась в пределах 115–533 м. Высота исследуемых береговых уступов изменяется от 3,5 до 5,6 м. Для малых рек наибольшие величины размывов изменяются в пределах: от 2,3 до 8,14 м. Протяжённость размываемых участков варьируется от 48 до 330 м. Средняя высота размываемого уступа на этих реках изменяется от 2,5 до 8,8 м. В многолетней динамике размывов на реках Чепца (2 участка), Сива и Кырыкмас отчётливо прослеживается положительный тренд с максимумами размывов в 2011–2014, 2015–2016, 2019 и 2021 гг. Установлена тесная корреляционная связь между максимальной шириной, площадью, объёмом размывов на реках Чепца (лев. пр. Вятки), Сива (прав. пр. Камы), Кырыкмас (лев. пр. Ижа) и их максимальными годовыми расходами. Также подтверждается ведущая роль кривизны излучины, состава размываемых пород, порядка водотока, полученных нами ранее по реперным наблюдениям [26; 28; 30]. Расположение интенсивно размываемых участков в пределах различных типов излучин характеризуется локальными особенностями, но чаще приурочены к участкам с наибольшей крутизной или смещены чуть ниже по течению.

**Теоретическая и/или практическая значимость.** Результаты исследования могут быть использованы как для 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 надёжных прогнозов их развития в конкретных ландшафтно-геоморфологических условиях с целью предотвращения опасных геоэкологических ситуаций.

**Ключевые слова:** размыв речных берегов, мониторинг, тахеометрическая съёмка, корреляционный анализ, Удмуртская Республика

**Благодарности.** Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 25-27-20003.

**Для цитирования:**

Рысин И. И., Григорьев И. И. Результаты многолетних исследований размыва берегов рек Удмуртии // Географическая среда и живые системы. 2025. № 4. С. 35–57. DOI: 10.18384/2712-7621-2025-4-35-57

Original Article

## RESULTS OF LONG-TERM OBSERVATIONS EROSION OF RIVER BANKS IN UDMURTIA

© CC BY I. Rysin<sup>1</sup>, I. Grigoriev<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Udmurt State University

Izhevsk, Russian Federation

e-mail: rysin.iwan@yandex.ru; ORCID: 0009-003-6062-8078

<sup>2</sup> Udmurt State University

Izhevsk, Russian Federation

e-mail: ivangrig@yandex.ru; ORCID: 0000-0001-8498-1202

Received 12.05.2025

Revised 27.08.2026

Accepted 19.09.2025

### **Abstract**

**Aim.** Quantitative analysis of long-term dynamics of bank erosion on small and medium-sized rivers of Udmurtia, which are important for modeling and forecasting the development of meanders necessary to prevent dangerous geocological situations.

**Methodology.** For the first time, the results of a study of channel displacement for 2003–2024 in 8 key areas located on small and medium-sized rivers of Udmurtia are presented. Geodetic survey was carried out on actively eroded areas of river bends using a laser tacheometer, which allows calculating not only linear erosion parameters, but also area and volume indicators. Since 2019, a satellite receiver has been used in instrumental surveys together with unmanned aerial vehicles.

**Results.** It was found that for medium-sized rivers, the maximum erosion rates reach 6.15 m/year. The length of the eroded areas varied within the range of 115–533 m. The height of the studied coastal cliffs varies from 3.5 to 5.6 m. For small rivers, the greatest erosion values vary within the range of 2.3 to 8.14 m. The length of the eroded areas varies from 48–330 m. The average height of the eroded cliff on these rivers varies from 2.5 to 8.8 m. In the long-term dynamics of erosion on the Cheptsa (2 areas), Siva and Kyrykmas rivers, a positive trend is clearly visible with erosion maxima in 2011–2014, 2015–2016, 2019 and 2021. A close correlation has been established between the maximum width, area, and volume of erosion on the rivers Cheptsa (left tributary of the Vyatka), Siva (right tributary of the Kama), Kyrykmas (left tributary of the Izh) and their maximum annual discharges. The leading role of the bend curvature, the composition of the eroded rocks, and the order of the water flow, which we obtained earlier from benchmark observations, is also confirmed. The location of intensively eroded areas within different types of bends is characterized by local features, but is more often confined to areas with the greatest steepness or shifted slightly downstream.

**Research implications.** The results of the study are very relevant, since they can be used both for similar rivers of Udmurtia and for rivers of flat territories of the European part of the Russian Federation. The need for long-term field studies of erosion of river bank benches using modern instrumental methods is determined by the importance of identifying patterns

of channel processes for making reliable forecasts of their development in specific landscape-geomorphological conditions in order to prevent dangerous geoecological situations.

**Keywords:** erosion of river banks, monitoring, tacheometric survey, correlation analysis, Udmurt Republic

**Acknowledgments.** The study was funded by the Russian Science Foundation № 25-27-20003.

**For citation:**

Rysin I. I., Grigoriev I. I. Results of long-term observations erosion of river banks in Udmurtia. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2025, no. 4, pp. 35–57. DOI: 10.18384/2712-7621-2025-4-35-57

## 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 ещё более выраженное воздействие на изменения эрозионно-русловых систем [16; 33; 34; 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, вызывая миграцию русла в пределах днища долины, сопровождаясь интенсивными размывами берегов, смещением излучин и увеличением извилистости русла. Это происходит обычно в ходе эволюции форм русла (излучин) на протяжении многих десятков и сотен лет. В последние годы появились работы, в которых современная трансформация русла связывается с происходящим увеличением речного стока, вызванным изменениями природной среды и климата [23; 38].

Слабо изученной до сих пор является вклад русловых деформаций в балансовую составляющую стока наносов [43; 52]. Важнейшая задача — определить критические параметры излучин, при достижении

которых они спрямляются с образованием прорванных излучин. Разработка гидротехнических мероприятий не может быть решена без исследования закономерностей русловых процессов [1; 3; 35; 40; 43; 45]. Поэтому весьма актуальна проблема количественной оценки динамики (эволюции) русловых форм (излучин) на реках разных порядков, развивающихся в условиях свободного меандрирования.

Исследований русловых процессов на территории Удмуртской Республики (УР) ранее не проводилось. Работы по изучению русловых размывов берегов нами впервые были начаты в 1999 г. по заданию Государственного комитета по недрам УР [28]. На территории же соседних регионов исследованиями русловых процессов занимались достаточно активно [13; 20; 21, 22]. Мониторинг горизонтальных русловых деформаций в большинстве равнинных регионов России проводится эпизодически, продолжительность регулярных наблюдений редко превышает 5–6 лет и это в основном касается крупных рек [8; 10; 14; 19; 34; 39; 41]. В большинстве публикаций авторы судят о динамике размывов берегов на основании сопоставления разновременных карт, в последние годы для этого используются космические снимки. В этом отношении наши многолетние исследования, полученные в полевых условиях с применением современных геодезических приборов, имеют большое преимущество и высокую достоверность [29; 30; 48].

Целью данной статьи является количественная оценка многолетней динамики размывов берегов на малых и средних реках Удмуртии, полученных путём тахеометрической съёмки участков излучин,

различающихся как расходами воды, морфолого-морфометрическими характеристиками, так и ландшафтными особенностями их бассейнов. Сопоставление данных, полученных разными методами, и выявление наиболее значимых факторов с помощью корреляционного анализа.

Равнинная территория Удмуртской Республики расчленена многочисленными водотоками со средней густотой 0,71 км/км<sup>2</sup>. Преобладающими являются широкопойменные реки с активным развитием процессов свободного меандрирования [2; 26; 28]. В пределах исследуемой территории доминируют южно-таёжные ландшафты, которые на юге сменяются сильно преобразованными деятельностью человека сельскохозяйственными ландшафтами.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

С целью исследования особенностей развития горизонтальных русловых деформаций на территории УР по топографическим картам было выделено 55 ключевых участков, охватывающих реки разной величины. Основными критериями выбора участков являлись:

1. яркое проявление русловых процессов на данной территории;
2. типичность развития русловых процессов с соседними территориями;
3. транспортная доступность участка.

Полевые работы на изучаемых реках проводятся с 1999 г. ежегодно в летний период, а на отдельных участках (около г. Ижевска) дважды в год – весной (май) и осенью (октябрь или начало ноября) [28; 30].

Одним из надёжных и доступных методов изучения динамики рельефа является метод стержней и марок [30; 32]. В пределах 30 ключевых участков осуществлялась эпизодическая тахеометрическая съёмка размываемого берегового уступа. Здесь же представлены результаты относительно регулярной геодезической съёмки размываемых береговых уступов на 8 участках рек, которые проводились в течение 2003–2024 гг. (рис. 1).

Геодезическая съёмка, как правило, проводилась на активно размываемых

участках излучин рек с помощью электронного тахеометра «Nikon NPR-332». Такая съёмка позволяет рассчитать не только линейные параметры размыва, но также площадные и объёмные показатели [4; 5].

С 2019 г. при инструментальной съёмке нами применяется спутниковый приёмник «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 завершение которых создаётся цифровая модель местности (ЦММ) и ортофотоплан [7].

Обработка аэрофотоснимков проводится в отечественной программе *Agisoft Metashape Professional*. Подготовка топографических планов, расчёт площадей и объёмов размываемого материала осуществляется с использованием программного комплекса «Кредо» [6].

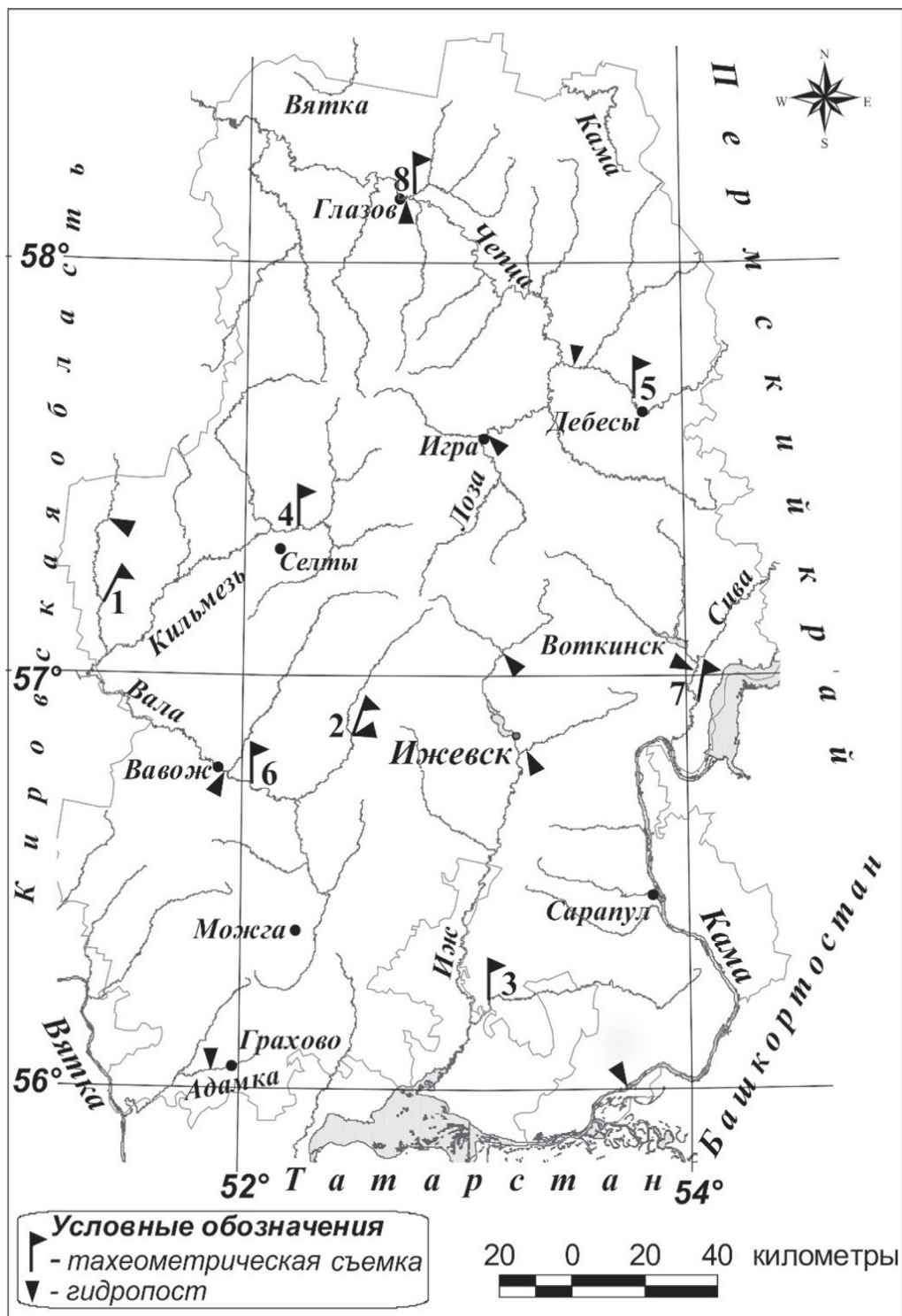
Алгоритм исследования включает следующие основные этапы:

– *экспедиционный* (тахеометрическая съёмка с применением спутникового приёмника, съёмка с БПЛА, измерение с применением реперных объектов или марок, определение состава размываемых отложений);

– *камеральный* (составление топографической картосхемы размываемого участка излучины, расчёт морфометрических характеристик: протяжённость и высота размываемого участка, средняя и максимальная ширина размыва, площадь и объём размыва, радиус кривизны; определение типа и вида излучины; среднегодовые и максимальные расходы и уровни реки при наличии гидроста).

Одним из важных показателей речного потока, дающим осреднённое представление о её размере, своеобразным индексом водотока является порядок реки. С этим показателем тесно связаны и ряд важнейших морфодинамических характеристик русла, такие как её ширина и глубина, их отношение между собой, а также среднегодовые расходы реки [8; 9; 21; 26; 28].

Для исследуемых рек расчёт их порядков выполнялся по известной методике А. Е. Шайдеггера [42], базирующейся на подсчёте притоков первого порядка, име-



**Рис. 1 / Fig. 1.** Карта-схема расположения ключевых участков по изучению морфодинамики русел рек УР с применением инструментальных методов / Layout Map of Key Areas for Studying the Morphodynamics of River Channels Using Instrumental Methods

*Источник:* составлено авторами

**Условные обозначения ключевых участков:**

1 – р. Лумпун (д. Харламовская Пристань), 2 – р. Нылга (с. Нылга), 3 – р. Кырыкмас (д. Тавзямал), 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)

юшим 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 [28; 29; 30].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ниже впервые представлена к обсуждению морфодинамика тахеометрических съёмки на размываемых участках свободных излучин малых и средних рек УР за период 2003–2024 гг. Исследуемые реки размывают пойменный аллювий, представленный преимущественно опесчаненными в разной степени лёгкими и средними суглинками. Среди них иногда встречаются тонкие прослойки торфа и глея. Для удобства анализа рассмотрим их согласно принадлежности к группе в соответствии с рассчитанным порядком.

### *Малые реки*

#### *Река Лумпун*

На р. Лумпун (прав. приток р. Кильмезь) в 80 м от моста вверх по течению в д. Харламовская Пристань (рис. 1) геодезическая съёмка береговой линии осу-

ществлялась на протяжении 111 м, здесь средняя высота размываемого берегового уступа равна 8,8 м. Как и в большинстве случаев, тахеометрическая съёмка осуществлялась ежегодно с 2003 по 2014 г. В 2015–2022 гг. съёмка не проводилась; в эти годы осуществлялись 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 м<sup>3</sup>/с. Максимальный суточный расход был зарегистрирован 3–4 мая 1979 г. и составил 292 м<sup>3</sup>/с [2].

Протяжённость 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. Максимальное значение ширины размыва на участке зафиксировано в 2005 г. (2,26 м) (табл. 1). Самые низкие значения площадей размыва приурочены к 2012 и 2013 г., в эти же годы были зарегистрированы и минимальные значения объёмов (табл. 2). Максимальные значения площадей и объёмов размыва не всегда совпадают по годам с максимальной шириной размывов, что вполне очевидно, поскольку максимальный размыв часто имеет локальный характер и может быть

Таблица 1 / Table 1

**Средняя и максимальная ширина размывов на участках рек по данным тахеометрической съёмки за 2004–2024 гг. / Average and maximum scour widths at river sections based on tacheometric survey data for 2004–2024**

Годы наблюдений	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	0.48/2.25
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	-

Окончание табл. 1

Годы на- блюдений	Лумпун	Нылга	Кырык- мас	Кильмезь	Чепца/ Варни	Сива	Вала	Чепца/ Адам
2016	-	-	-	-	-	1.69/4.02	-	-
2017	-	-	<b>0.39/0.81</b>	-	-	-	-	-
2018	-	-	0.42/1.70	-	-	-	-	-
2019	-	-	0.75/3.59	-	-	-	-	-
2020	-	-	0.44/1.38	-	-	<b>0.12/0.41</b>	-	-
2021	-	<b>0.15/0.27</b>	2.44/8.14	-	-	0.58/2.65	<b>0.13/0.39</b>	-
2022	-	-	0.77/3.40	-	-	0.22/0.62	0.30/1.88	-
2023	<b>0.19/0.32</b>	<b>0.19/0.33</b>	2.12/5.16	<b>0.20/0.49</b>	<b>0.39/0.71</b>	0.23/0.80	0.16/1.70	<b>0.82/1.52</b>
2024	0.73/2.88	0.46/1.60	0.99/2.88	0.21/0.70	0.25/1.62	0,80/2.03	0,22/0.65	0,98/3.98

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

Источник: данные авторов

Таблица 2 / Table 2

Площади и объёмы размывов на участках рек по данным тахеометрической съёмки за 2004–2024 гг. / Squares and volumes of scour at river sections based on tachymetric survey data for 2004–2024

Годы на- блюдений	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	17219,0	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	-	-	<b>74.1/506</b>	-	-	-	-	-
2018	-	-	54/369	-	-	-	-	-
2019	-	-	174.1/1184	-	-	-	-	-
2020	-	-	54.1/368	-	-	<b>15.4/54</b>	-	-
2021	-	<b>42.8/107</b>	596.8/4058	-	-	113.8/398	<b>41.1/173</b>	-
2022	-	-	212.2/1443	-	-	34.8/122	87.8/369	-
2023	<b>20.1/181</b>	<b>10.2/26</b>	402.1/2731	<b>35.8/79</b>	<b>71.3/306</b>	39/136	39.2/165	<b>439/2370</b>
2024	53.7/510	121.9/305	166.6/1133	27.1/60	36.6/157	86.7/303	55.3/232	367.3/1983

\* В числителе – площадь размыва в м<sup>2</sup>, в знаменателе – объём размыва в м<sup>3</sup>; средние многолетние значения выделены п/ж

Источник: данные авторов

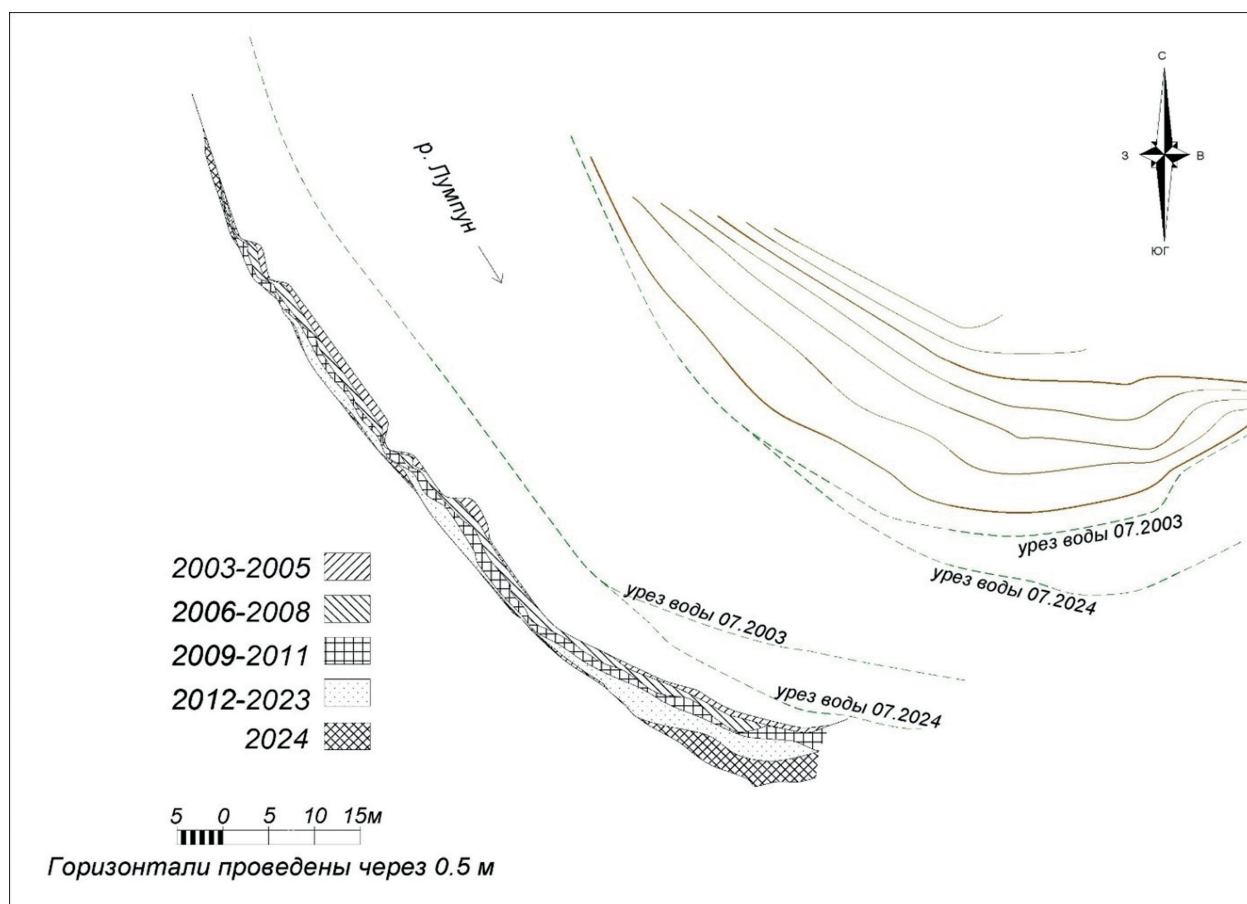
связан, например, с небольшим оползнем-обвалом или обрушением одиночного дерева вместе с мощной корневой системой. В данном случае максимальные значения площади и объёма размыва были зафиксированы в 2006 г. (табл. 2), когда на реке в апреле был зафиксирован наивысший уровень (912 см) за весь рассматриваемый период. В 2005 г. площади и объёмы размыва были существенно ниже, в тот год были заметно ниже и среднемесячные расходы в апреле (39.6 м<sup>3</sup>/с). Существенные размывы в 2007 и 2010 г. хорошо коррелируют с высокими уровнями половодья в эти годы, когда они составили 830 и 807 см, соответственно.

Топографический план участков размыва по длине излучины выявил здесь особенности, существенно отличающиеся от ниже рассмотренных объектов (рис. 2). Анализ топографического плана и крупномасштабной карты исследуемого участ-

ка показывает, что излучина данной реки, согласно классификации МГУ [37], в морфогенетическом плане относится к типу свободных, а по внешнему виду — к сегментным. Съёмка осуществлялась в вершине излучины, которая характеризуется плавным уменьшением радиуса кривизны вниз по течению, соответственно наблюдается и аналогичное же возрастание ширины и площади размываемого участка вниз по течению. Участок выше по течению осложнён серией небольших оползней-обвалов.

#### Река Нылга

Тахеометрическая съёмка на р. Нылга (на Ю-З окраине с. Нылга), являющейся правым притоком р. Вала (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



**Рис. 2 / Fig. 2.** Схема смещения размываемого берегового уступа на р. Лумпун (д. Харламовская Пристань) за 2003–2024 гг. / Scheme of displacement of the eroding bank scarp on the Lumpun River (v. Kharlamovskaya Priistan) for 2003–2024

Источник: составлено авторами

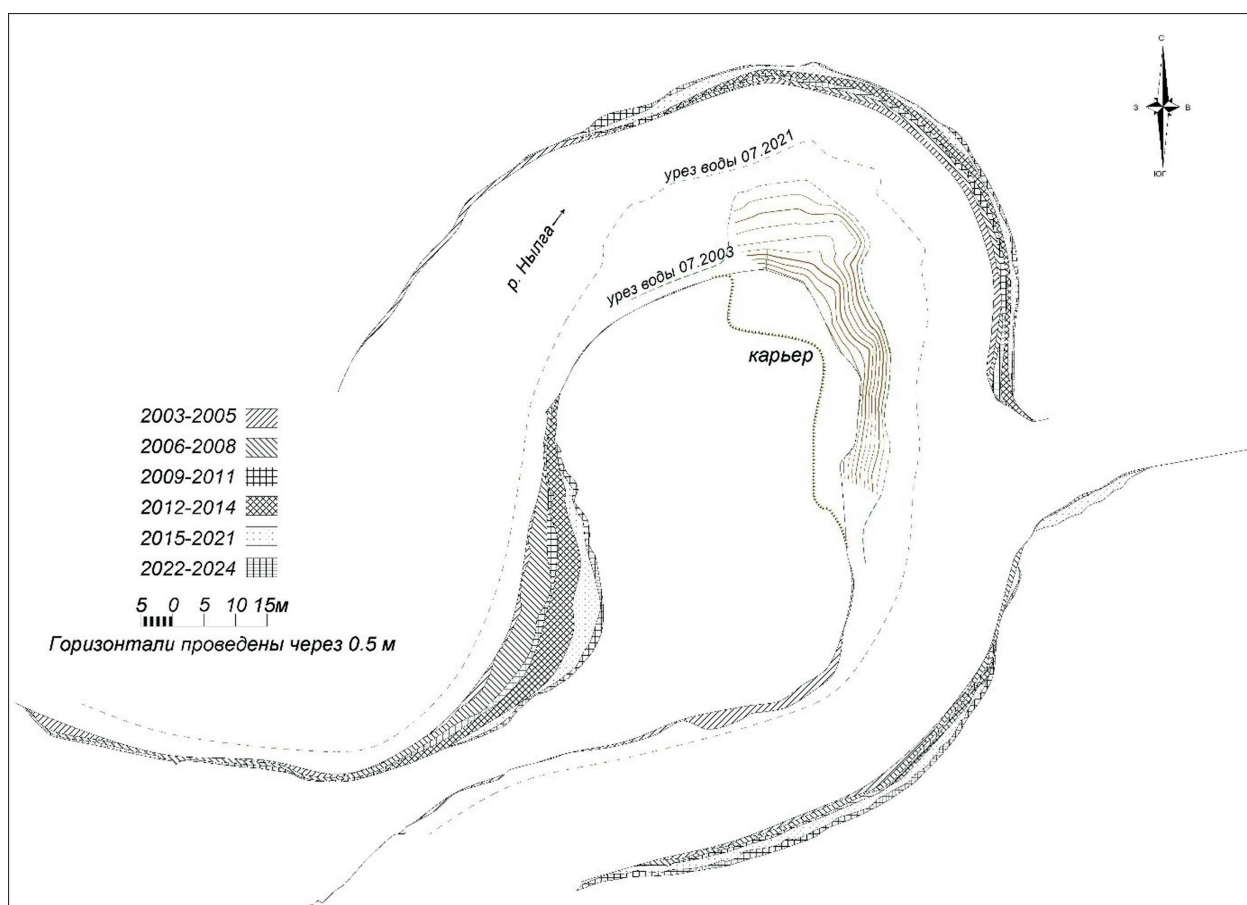
имеет порядок 8,3, средний многолетний расход реки у с. Нылга (1968–2010 гг.) равен  $6,28 \text{ м}^3/\text{с}$ , максимальный годовой был зарегистрирован весной 2014 г. и составил  $95,8 \text{ м}^3/\text{с}$  [24], высоким данный показатель был и в 2013 г. ( $93,1 \text{ м}^3/\text{с}$ ). Протяжённость береговой линии, где осуществляется геодезическая съёмка, составила в 2005 г. 330 м, а средняя высота размываемого берегового уступа – 2,5 м.

Анализ полученных данных показывает, что протяжённость размываемого участка на реке изменялась в значительных пределах: от 55 м в 2023 г. до 329 м в 2005 г., что соответствует 6-кратному уменьшению за указанный период. Наибольшие значения максимальной ширины размывов были зафиксированы в 2013 (3.29 м) и 2006 (3.23 м) годах (табл. 1). Максимальные же площади и объёмы 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. (табл. 2), что хорошо согласуется с высокими уровнями и расходами половодий.

По топографическому плану исследуемого участка видно, что излучина данной реки, в соответствии с выше упомянутой 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 отчётливо видно, что зона с максимальными размывами немного 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:



**Рис. 3 / Fig. 3.** Схема смещения размываемого берегового уступа на р. Нылга (с. Нылга) за 2003–2024 гг. / Scheme of the displacement of the eroding bank scarp on the Nylga River (Nylga village) for the years 2003–2024

*Источник:* составлено авторами

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 её правом берегу выделяется ещё одна зона очень слабого размыва, где исследуемые процессы были зафиксированы лишь в первые годы наблюдения.

#### *Река Кырыкмас*

Наиболее продолжительный ряд непрерывных инструментальных наблюдений на малых реках в настоящее время имеется для реки Кырыкмас (лев. приток р. Иж) (рис. 1). Здесь геодезическая съёмка около д. Тавзямал (в 1100 м к Ю-В от окраины деревни) началась в 2003 г. и продолжается до настоящего времени. Перерывы в съёмочных работах по различным причинам были только в 2015 и 2022 г. Протяжённость береговой линии, где осуществляется тахеометрическая съёмка составляет 290 м, средняя высота размываемого берегового уступа, соответственно 6,8 м.

Ключевой участок расположен около 10 км выше устья реки. Река на исследуемом участке имеет порядок 8,4, по размеру, расходам и ландшафтным условиям она близка к р. Позимь (лев. приток р. Иж), имеющей порядок 8,5. Поскольку на исследуемой реке отсутствует гидрологический пост, то для анализа динамики расходов мы использовали указанную реку в качестве аналога.

За 20-летний период наблюдений длина размываемой береговой линии здесь изменялась в значительных пределах: от 102 м в 2008 до 284 м в 2004 г. Среднегодовая ширина размывов на реке изменялась в небольших пределах: от 0,39 м (2015–2017 гг.) до 2 м и более (2010, 2021, 2023 гг.). Максимальные значения размывов варьировали более существенно: от 1,38 м до 3,5–8 м и более в 2012, 2019–2021 гг. (табл. 1). Наибольшие значения площадей и объёмов размывов отмечались в 2021, 2016, 2010 и 2012 г. (табл. 2).

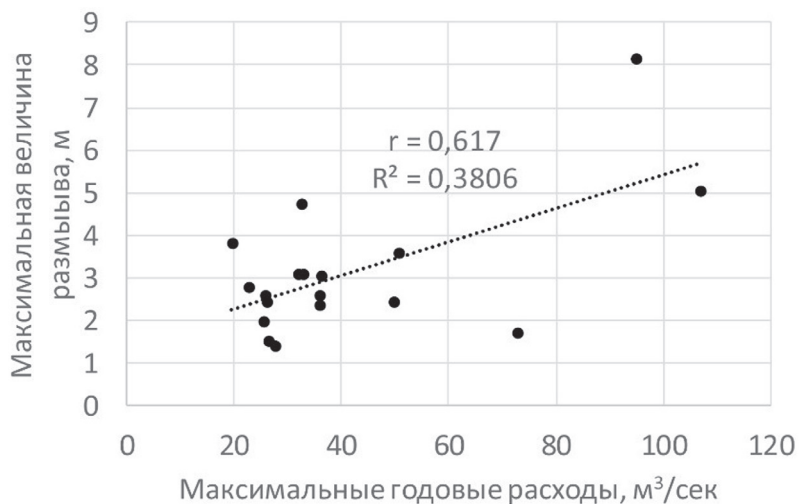
Представленные данные показывают, что в нижнем течении р. Кырыкмас наибольшие значения протяжённости, ширины, площади и объёмов размыва приурочены ко второй половине периода наблюдений, что свидетельствует о хорошо выраженной положительной (восходящей) тенденции во временной динамике исследуемого процесса. 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 чём свидетельствуют значения коэффициентов корреляции ( $r=0,617$ ) и детерминации ( $R^2=0,381$ ) (рис. 4). Достоверная положительная связь выявлена также между площадями ( $r=0,58$ ) и объёмами ( $r=0,59$ ) размывов на р. Кырыкмас и максимальными годовыми расходами на р. Позимь за указанный период.

Пространственное распределение зон размыва представлено на топографическом плане участка (рис. 5). Согласно выше упомянутой классификации [35], данную излучину можно охарактеризовать как развитую сегментную, исследуемый участок находится в её нижнем крыле, где отчётливо выделяются 3 зоны размыва. Верхняя часть крыла соответствует зоне слабого размыва, достаточно протяжённая центральная часть характеризуется максимальными размывами, достигающими суммарно 24–25 м. В самой нижней части крыла излучины расположена 3-я зона умеренного размыва с наибольшей кривизной со значениями размыва до 8–10 м, куда в последние годы смещается зона интенсивного размыва.

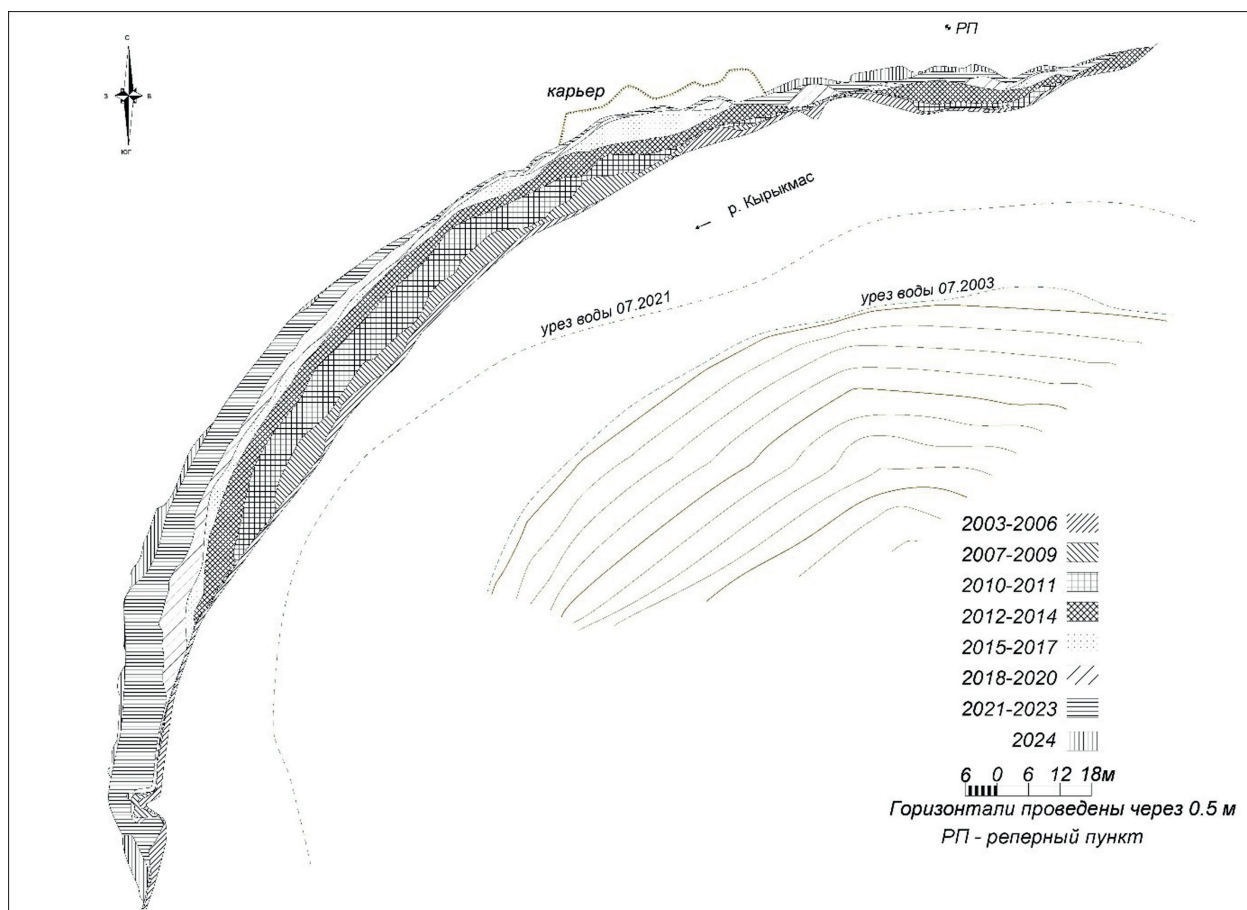
#### *Река Кильмезь*

Аналогичные исследования проводятся и в верхнем течении р. Кильмезь (лев. приток р. Вятка) в д. Головизнин Язок в 50 м от автомобильного моста вниз по течению (рис. 1). Геодезическая съёмка береговой линии здесь осуществляется на протяжении 176 м, средняя высота размываемого берегового уступа – 2,8 м. Тахеометрическая съёмка на этом участке проводит-



**Рис. 4 / Fig. 4.** График зависимости между максимальной величиной размыва на р. Кырыкмас и максимальными годовыми расходами на р. Позимь за 2004–2021 гг. / Graph of the relationship between maximum scour on the Kyrykmas River and maximum annual water flow on the Pozim River for the years 2004–2021

*Источник:* составлено авторами



**Рис. 5 / Fig. 5.** Схема смещения размываемого берегового уступа на р. Кырыкмас (д. Тавзямал) за 2003–2024 гг. / Scheme of displacement of the eroding bank scarp on the Kyrykmas River (v. Tavziamal) for 2003–2024

*Источник:* составлено авторами

ся с 2003 г. с 8-летним перерывом после 2015 г., когда 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 м<sup>3</sup>/с. Максимальный среднегодовой расход был зарегистрирован в 1957 г. и составил 34,3 м<sup>3</sup>/с [24].

Длина линии размываемого участка изменялась в небольших пределах: от 90 м в 2009 г., до 175 м в 2023 г. Максимальные линейные размывы были зафиксированы в 2008 (2.49 м) и 2012 г. (2.46 м) (табл. 1). Максимальные площадные размывы немного отличаются от линейных, они были зарегистрированы в 2012 и 2014 г. В эти же годы отмечались и рекордные для ключевого участка объёмы размыва (табл. 2).

Анализ пространственного распределения участков размыва по длине излучины выявил некоторые особенности. В данном случае размывается относительно прямолинейный участок нижнего крыла сегментной излучины, незначительно осложнённый выступающими мысами, к которым и приурочены основные площади размыва. Участки же между мысами размываются незначительно.

#### *Река Чепца (верхнее течение)*

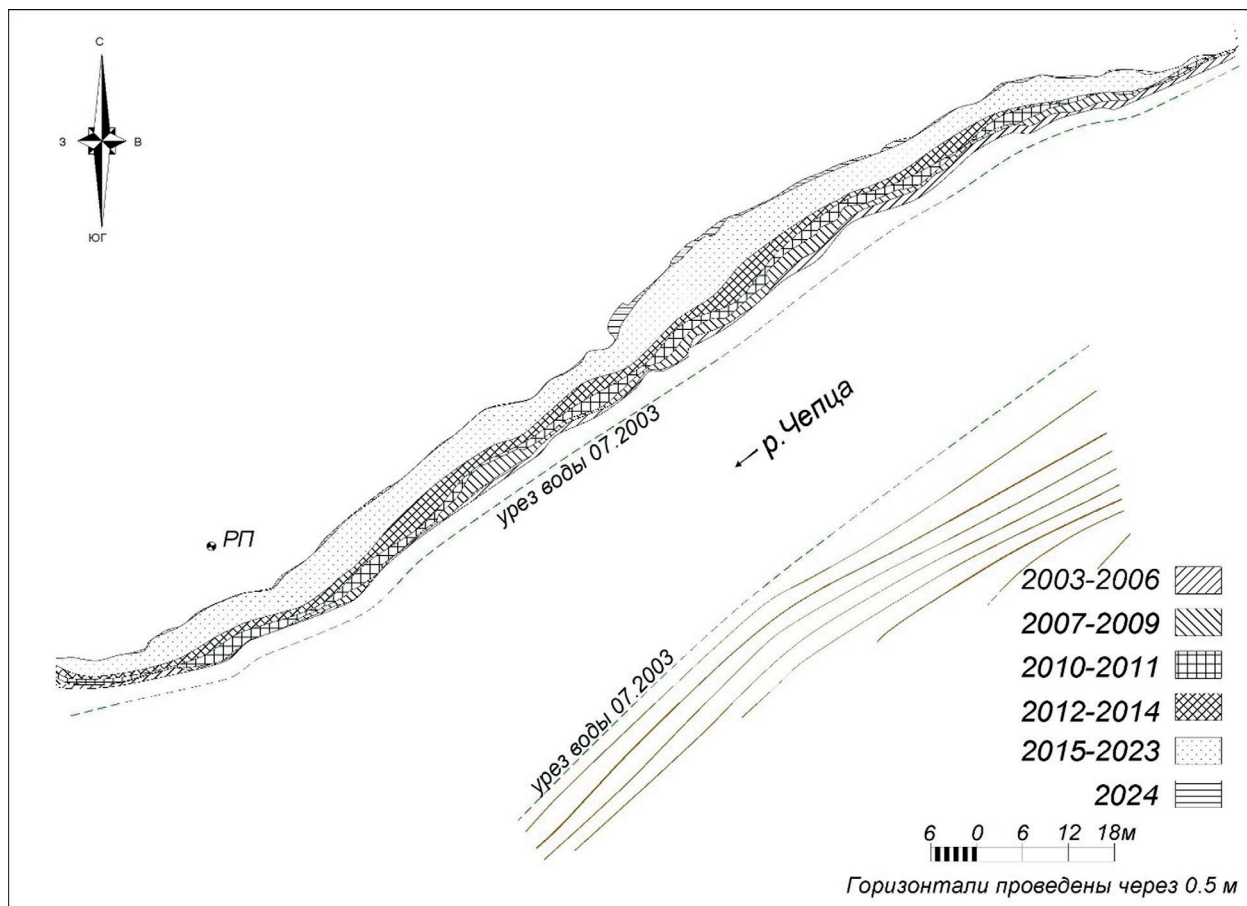
На р. Чепца (лев. приток р. Вятка) исследования русловых деформаций с применением инструментальных методов проводятся в её верхнем (д. Варни) и среднем течении (с. Адам) (рис. 1). Длина береговой линии в д. Варни (С-3 окраина деревни в 270 м вверх по течению от моста), где осуществляется съёмка, составляет 190 м. Средняя высота размываемого берегового уступа на этом ключевом участке равна 3,9 м. Тахеометрическая съёмка осуществлялась здесь с 2003 г. с 8-летним перерывом в 2015 г. 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 м<sup>3</sup>/с [2].

Протяжённость размываемого участка у д. Варни изменялась в небольших преде-

лах: от 88 м в 2013 до 184 м в 2023 г. Высокие значения максимальной ширины размывов зарегистрированы в 2012, 2007, 2013 и 2014 г. (табл. 1), когда на реке были зарегистрированы наибольшие значения расходов половодья. Высокие значения максимальных площадей и объёмов размывов были отмечены преимущественно в последние годы наблюдения, включая 2012, 2011, 2014 и 2015–2023 гг. (табл. 2). Максимальные расходы половодья были зарегистрированы именно в последние годы наблюдения: в 2016 (1010 м<sup>3</sup>/с), 2012 (617 м<sup>3</sup>/с), 2013 (585 м<sup>3</sup>/с) и 2014 г. (580 м<sup>3</sup>/с). Таким образом, в верховьях р. Чепца максимальные значения ширины, площади и объёмов размыва приурочены ко второй половине периода наблюдений, следовательно, здесь выявляется положительный тренд в многолетней динамике размыва берегов.

Пространственное распределение зон размыва иллюстрирует топографический план исследуемого участка, полученный при тахеометрической съёмке (рис. 6). На представленном рисунке показано нижнее крыло пологой сегментной излучины, имеющей сравнительно малую кривизну, где достаточно чётко выделяются 3 неравномерные по протяжённости зоны: зоны слабого размыва в самой верхней и самой нижней частях крыла, протяжённостью не более 20–25 м каждая и центральная зона сильного размыва, где ширина размыва достигает 8–12 м.

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 являются лишь одна река, где продолжительность регулярных наблюдений достаточная для утверждения о наблюдающейся положительной тенденции в динамике размывов за исследуемый период. Величина размывов на р. Кырыкмас имеет достаточно надёжную положительную связь с максимальными расходами половодья на реке Позимь, выбранной в качестве реки аналога.



**Рис. 6 / Fig. 6.** Схема смещения размываемого берегового уступа на р. Чепца (д. Варни) за 2003–2024 гг. / Scheme of displacement of the eroding bank scarp on the Cheptsya River (v. Varni) for 2003–2024

*Источник:* составлено авторами

### **Средние реки**

#### **Река Вала**

В следующей группе средних рек относятся реки Вала, Сива и Чепца. На р. Вала (лев. приток р. Кильмезь) на участке у д. Макарово (в 1,6 км от моста вниз по течению) тахеометрическая съёмка проводилась в течение 15 лет, начиная с 2003 г. В 2015–2019 гг. геодезическая съёмка не проводилась, в эти годы наблюдения осуществлялись с помощью реперов и марок. Средняя высота размываемого берегового уступа здесь составляет 4,2 м, а длина съёмки 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 м<sup>3</sup>/с. Максимальный расход был зарегистрирован 2 мая 1979 г. и составил 468 м<sup>3</sup>/с [2].

Здесь протяжённость размываемого участка излуины изменялась от 155 м (2006 г.) до более 300 м в 2020 и 2021 г.

Наибольшие значения средней ширины размывов отмечены в 2005, 2021 и 2011 г. (табл. 1). Наибольшие площади отступления береговых уступов здесь также не всегда совпадают по времени наибольшим линейным значениям. Так, существенные площади размыва отмечены в 2005, 2021, 2008 и 2004 г. (табл. 2).

Максимальные величины линейного и площадного размывов по годам соответствуют высоким значениям максимальных годовых расходов, так в 2005 г. он составил 217 м<sup>3</sup>/с, а в 2021 – 304 м<sup>3</sup>/с, что лишь незначительно уступает расходу 2016 г (319 м<sup>3</sup>/с), он наивысший за весь период исследований на реке. К сожалению, в этот год инструментальные наблюдения не проводились, а по данным реперных наблюдений в этот год здесь был зафиксирован второй по величине максимум среднегодового размыва за весь период наблюдений (0,8 м) и один из высоких значений

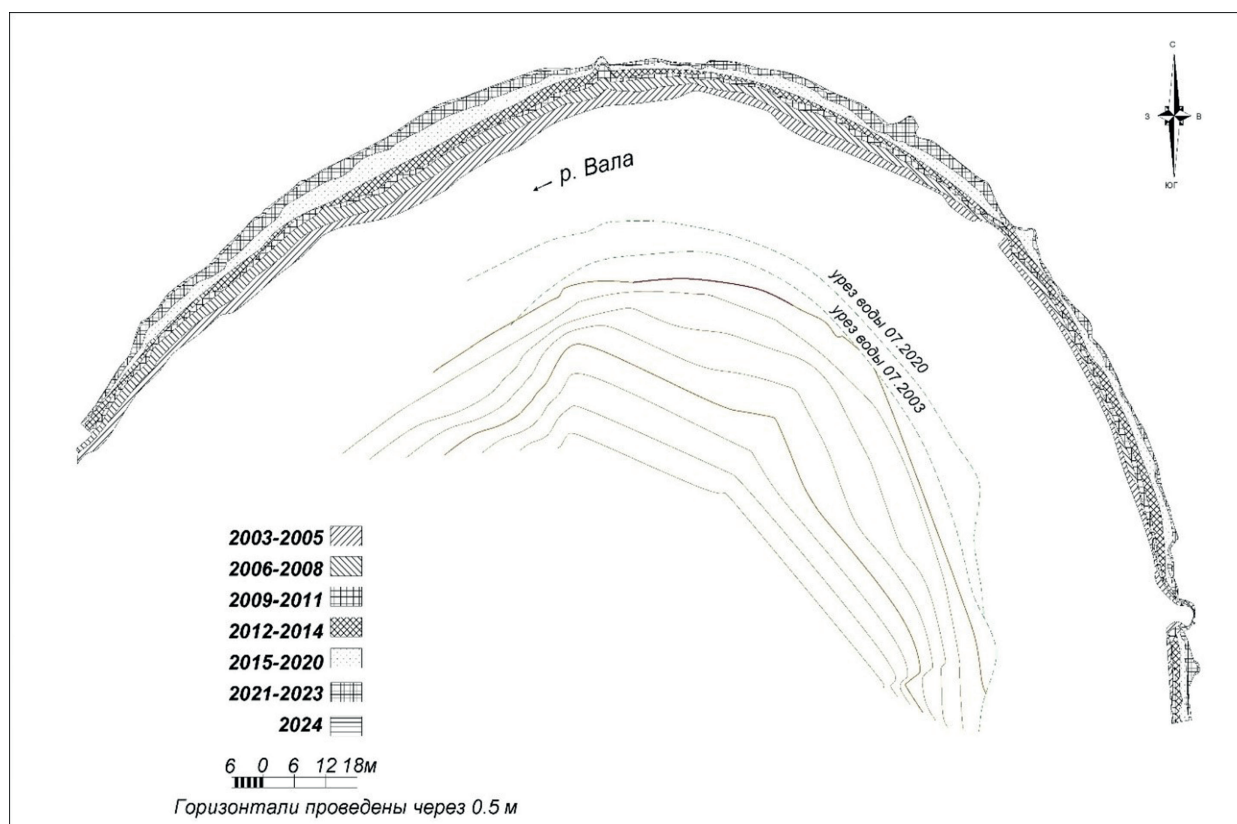
максимального размыва (1,4 м). Значительные вариации характерны и для объёмов размыва. Наиболее высокие объёмы размыва были зарегистрированы, как и в случае с площадями, в 2005, 2021 и 2008 г. (табл. 2). В 2008 г. максимальные расходы половодья были выше, чем в 2005 г. и составили 226 м<sup>3</sup>/с. Учитывая относительно короткий срок наблюдения и наличие 5-летнего перерыва, трудно сделать однозначные выводы о тренде в динамике процессов размыва на исследуемом участке.

Рассмотрим, как изменяются величины размывов в пределах исследуемой излучины, являющейся по типу свободной, а по внешнему виду сегментной (рис. 7). 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 течению, немного уступает по величине размывов от ниже расположенного участка. На 3 месте по величине размыва находится нижняя (четвёртая) часть излучины. Наименьшая зона размыва расположена в самой верхней части излучины, где прослеживаются локальные оползни-обвалы в береговых уступах.

О расположении максимальных участков размыва ближе к нижнему крылу излучины описывается также в исследованиях на р. Керженец в Нижегородском Заволжье [13; 14]. Механизм размыва излучин и отложения наносов в русловом потоке весьма дискутируемый и не до конца разработанный вопрос. Критический обзор различных гипотез содержится в многочисленных трудах как отечественных, так и зарубежных учёных [11; 12; 16; 17; 31; 33; 37; 44; 45; 46; 50; 51].



**Рис. 7 / Fig. 7.** Схема смещения размываемого берегового уступа на р. Вала (д. Макарово) за 2003–2024 гг. / Scheme of the displacement of the eroding bank scarp on the Vala River (v. Makarovo) for 2003–2024

*Источник:* составлено авторами

*Река Сива*

На р. Сива (прав. приток р. Кама) у д. Метляки геодезическая съёмка береговых размывов осуществляется на 2 площадках. Здесь представлены данные лишь по первой площадке, расположенной в 500 м к западу от северной окраины деревни (рис. 1). Протяжённость рассматриваемой площадки, где осуществляется тахеометрическая съёмка, составляет 300 м, средняя высота размываемого берегового уступа 3,5 м. Инструментальная съёмка здесь проводится с 2003 г. с перерывом в 2017–2019 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 м<sup>3</sup>/с, максимальный годовой расход был зарегистрирован в 2021 г. и составил 260 м<sup>3</sup>/с [2].

За рассматриваемый период протяжённость размываемого участка излучины варьировалась от 115 м в 2015 г. до 283 м в 2007 г. Величины средней ширины отступания береговых уступов изменялись от 0,22 м (2022 г.) до 1,99 м (2010 г.), при этом значительные показатели были получены также в 2006 и 2012 г. Высокие значения максимальной ширины размывов были зарегистрированы в 2012, 2006, 2015, 2016 и 2010 годах (табл. 1). В эти же годы на реке были зарегистрированы наиболее высокие половодные расходы. Наибольшие значения площадей и объёмов размывов были зарегистрированы в 2006, 2010–2012 и 2016 г. (табл. 2).

Анализ максимальных значений ширины, площади и объёма размывов свидетельствует о наличии слабо выраженной положительной тенденции в динамике развития береговых размывов на р. Сива. Анализ же максимальных годовых (половодных) расходов на реке свидетельствует о явно выраженном положительном тренде, что особенно заметно, начиная с 2010 г.

Изучение топографического плана исследуемого участка показывает, что здесь представлена часть нижнего крыла развитой сегментной излучины свободного типа с достаточно выраженной кривизной в её вершине, где и фиксируются максимальные значения ширины и площади раз-

мывов, суммарно достигающие 18–20 м (рис. 8). В зоне максимальной кривизны излучины находится активно растущий пойменный овраг и локальное оползневое обрушение берегового уступа, образовавшееся в 2014 г. Здесь также отмечается классическое смещение максимальной зоны размыва к нижнему крылу излучины, о чём указывалось выше.

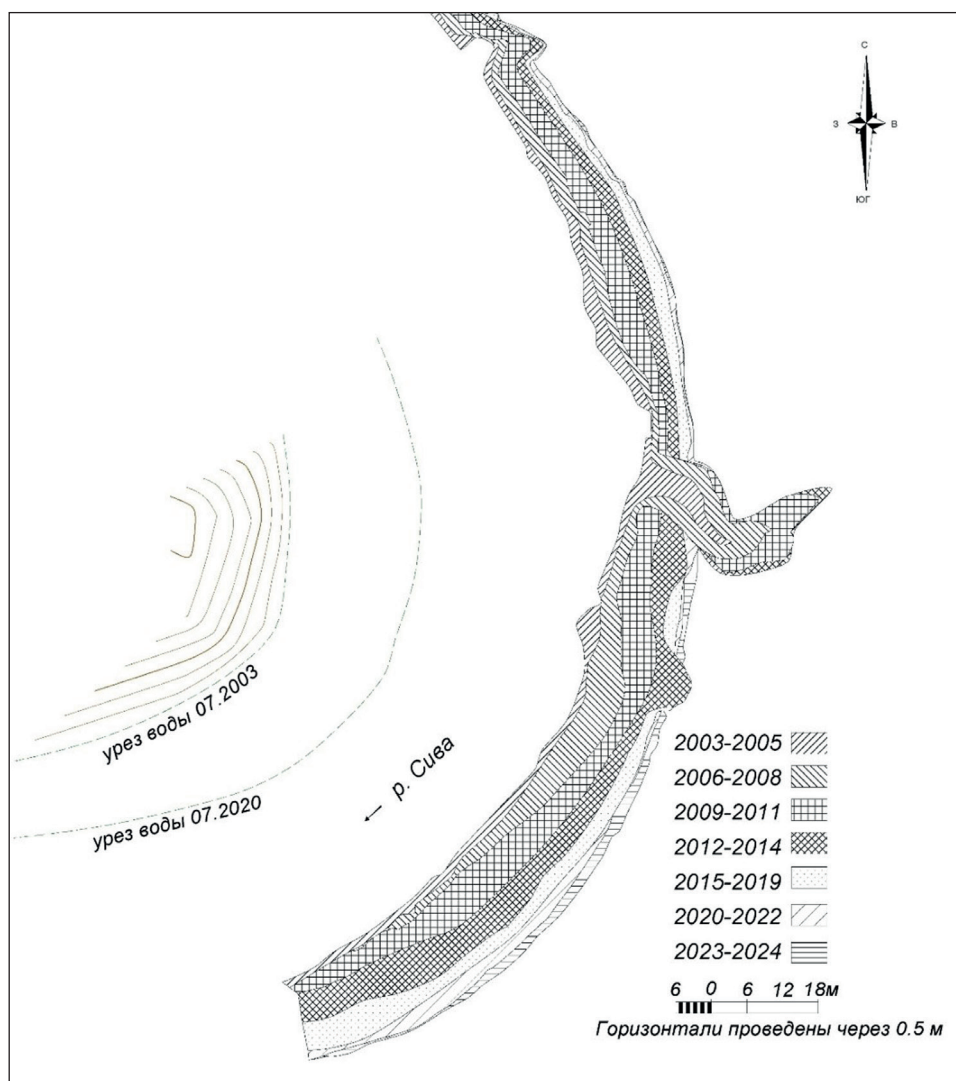
*Река Чепца (среднее течение)*

Тахеометрическая съёмка в среднем течении р. Чепца у с. Адам (в 1,2 км на Ю-3 от западной окраины села) проводилась в те же годы, что и на выше рассмотренном участке. Длина участка, где проводится геодезическая съёмка наиболее протяжённая и составляет 533 м. Средняя высота размываемого берегового уступа здесь – 5,6 м. Протяжённость размываемого участка изменялась в следующих пределах: от 291 м в 2008 г. до 533 м в 2023 г., при этом наиболее высокие значения отмечались в последние 12 лет: в 2011–2013 и 2015–2023 гг.

Река на исследуемом участке имеет порядок 11,8, средний многолетний расход реки у г. Глазов (1937–2018 гг.), расположенного в 10 км ниже по течению, равен 65,8 м<sup>3</sup>/с, максимальный суточный расход был зарегистрирован 6 мая 1979 г. и составил 1800 м<sup>3</sup>/с [2].

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

В указанные годы были зарегистрированы и максимальные годовые расходы: 1130 м<sup>3</sup>/с (2006 г.), 1010 м<sup>3</sup>/с (2012 г.), 962 м<sup>3</sup>/с (2013 г.), 895 м<sup>3</sup>/с (2014 г.), наивысший же расход за последние 25 лет был отмечен в 2016 г. и составил 1409 м<sup>3</sup>/с. Именно аномальное половодье 2016 г. и обеспечило высокие показатели размыва за последние 9 лет. Достаточно высоким было половодье и в 2021 г., когда максимальные расходы достигли 934 м<sup>3</sup>/с. Приведённые данные показывают, что в



**Рис. 8 / Fig. 8.** Схема смещения размываемого берегового уступа на р. Сива (д. Метляки) за 2003–2024 гг. / Scheme of displacement of the eroding bank scarp on the Siva River (v. Metlyaki) for 2003–2024

*Источник:* составлено авторами

среднем и верхнем течении р. Чепца максимальные значения ширины, площади и объёмов размыва, приурочены ко второй половине периода наблюдений, следовательно, и на этих участках выявляется хорошо выраженный положительный тренд в динамике показателей размыва берегов.

Анализ топографического плана исследуемого участка показывает, что здесь представлено нижнее крыло пологой сегментной излучины с достаточно малой кривизной. 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.

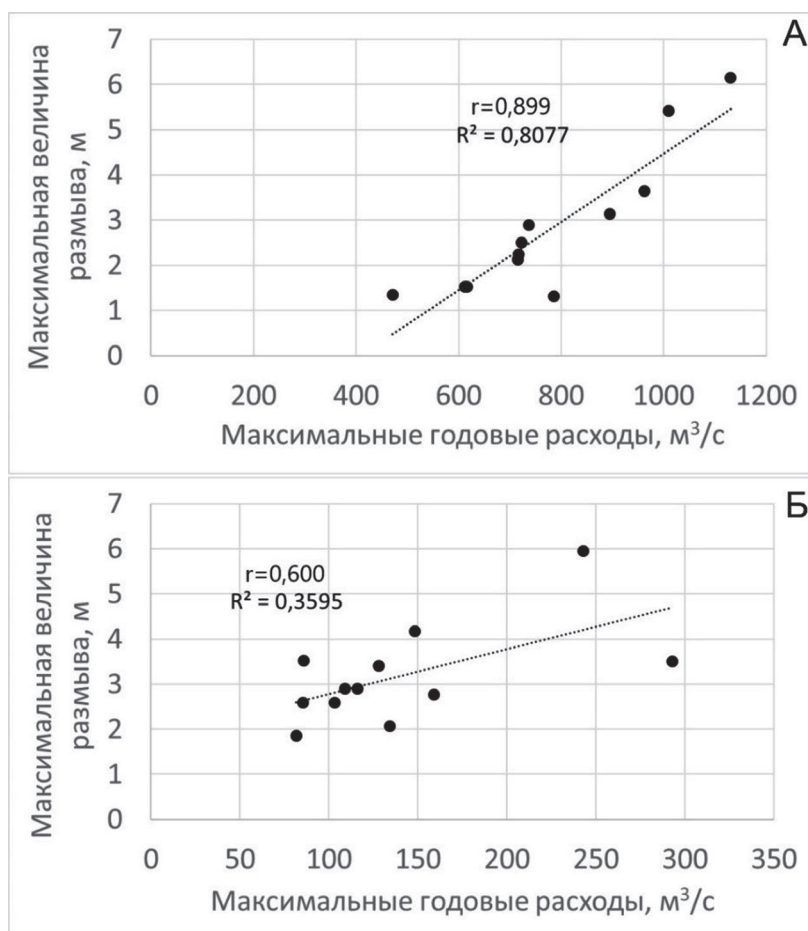
Поскольку для выше рассмотренных участков на реках имеются гидрологические посты с данными о среднегодовых и максимальных годовых (половодных) расходах, включая период с 2004 по 2015 г., то нами был проведён корреляционный анализ между максимальной шириной размыва и показателями стока. Корреляционная связь между максимальной шириной размыва и среднегодовыми расходами на р. Сива (Гавриловка) и р. Чепца (Глазов) не обнаружена, поскольку они сглаживаются меженными расходами и характеризуются незначительными вариациями. Связь же с максимальными годо-

выми расходами на р. Чепца получилась очень высокой ( $r=0,899$ ), а для р. Сива высокой ( $r=0,600$ ) (рис. 9). На р. Чепца для участка у с. Адам связь между площадью и объёмом размыва с одной стороны и максимальными годовыми расходами с другой, также оказалась высокой и получилась равной для обеих показателей ( $r=0,787$ ). Аналогичная ситуация возникла и для р. Сива на участке Метляки, где зависимость площадей и объёмов 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 [15].

Анализ размывов на 3 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 немного смещены (или смещаются) 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 [18; 19; 25; 27; 36; 38, 47; 49]. 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 [10].



**Рис. 9 / Fig. 9.** Зависимости между максимальной шириной размыва на р. Чепца у с. Адам (А) и р. Сива у д. Метляки (Б) и их максимальными годовыми расходами за 2004–2015 гг. / Dependencies between the maximum scour width on the Cheptsya River near Adam village (A) and the Siva River near Metlyaki village (B) and their maximum annual discharges for 2004–2015

*Источник:* составлено авторами

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ многолетних инструментальных наблюдений показал, что для средних рек (реки Вала, Чепца в среднем течении и Сива) наибольшие значения ширины размыва достигают 6,15 м/год, а высота размываемого берегового уступа изменяется от 3,5 м на р. Сива до 5,6 м на р. Чепца. В пространственном отношении размываемые участки приурочены к участкам излучин с наибольшей кривизной или смещены ниже по течению, что можно объяснить усилением здесь скорости винтообразного течения. В многолетней динамике размывов на р. Чепца отчётливо прослеживается положительный тренд, что связано, прежде всего, с возросшими расходами. На р. Вала из-за больших перерывов в съёмках после 2015 г. о каких-либо тенденциях в динамике судить невозможно. На р. Сива в отношении многолетней динамики размывов отмечается слабая положительная тенденция, подтверждаемая высокими половодными расходами в последние годы.

Для малых рек (Кильмезь, Лумпун, Нылга, Кырыкмас и верхняя Чепца) наибольшие величины размывов изменяются в значительных пределах: от 2,3 м (р. Лумпун) до 8,1 м (р. Кырыкмас), следовательно, по максимальным значениям они даже превышают некоторые средние значения реки. Средняя высота размываемого уступа на указанных реках изменяется от 2,5 м (р. Нылга) до 6,8 м (р. Кырыкмас) и даже 8,8 м на р. Лумпун. Расположение размываемых участков в пределах различных видов излучин характеризуется локальными особенностями, но чаще приурочены к участкам с наибольшей крутизной. В каждом случае можно выделить несколько зон с различной интенсивностью размыва, что связано с морфолого-морфометрическими и литологическими особенностями. В данной группе только на р. Кырыкмас, для которой отмечается лишь 2-летний перерыв в тахеометрических съёмках, отчётливо выражен положительный (восходящий) тренд в динамике русловых размывов, что подтверждается возросшими половодными расходами в бассейне р. Иж.

Установлена очень тесная связь между максимальной шириной размыва на

р. Чепца (с. Адам) и максимальными годовыми расходами реки за период с 2004 по 2015 г., о чём свидетельствуют очень высокие коэффициенты корреляции ( $r=0.899$ ). Достаточно тесная связь получилась с площадью и объёмом размывов за указанные годы ( $r=0.787$ ). На р. Сива корреляционная связь между максимальной шириной размыва и максимальными годовыми расходами за указанный период оказалась чуть ниже ( $r=0.600$ ), но тоже существенная. Показатель же связи с площадным и объёмным размывами получился более значимым ( $r=0.794$ ). Корреляционный анализ максимальной ширины размывов на р. Кырыкмас за 2004–2021 гг. с максимальными годовыми расходами на реке аналоге также показал достаточно значимую связь ( $r=0,617$ ). Связь рассматриваемых показателей со среднегодовыми расходами не выявлена, поскольку они сглаживаются межгодовыми расходами и характеризуются незначительными вариациями.

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 как для 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 надёжных прогнозов их развития в конкретных ландшафтно-геоморфологических условиях с целью предотвращения опасных геоэкологических ситуаций.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Антроповский В. И. Гидролого-морфологические закономерности и фоновые прогнозы переформирования русел рек. СПб., 2006. 216 с.
2. Атлас Удмуртской Республики / под ред. И. И. Рысина. М.: Феория; Ижевск: Удмуртия, 2020. 288 с.
3. Беркович К. К. Географический анализ антропогенных изменений русловых процессов. М.: ГЕОС, 2001. 164 с.

4. 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 Московского университета. Серия 5. География. 2018. № 5. С. 61–71.
5. Григорьев И. И., Рысин И. И. Исследования техногенных и сельскохозяйственных оврагов в Удмуртии с применением ГИС-технологий // Вестник Удмуртского университета. Серия: Биология. Науки о земле. 2008. Вып. 1. С. 49–58.
6. Григорьев И. И., Рысин И. И. Применение геоинформационных систем при исследованиях техногенных и сельскохозяйственных оврагов в Удмуртии // Геоморфология. 2009. № 1. С. 69–75.
7. Григорьев И. И., Рысин И. И. Использование беспилотного летательного аппарата (квадрокоптера) с применением цифровых технологий в географических исследованиях // Цифровая география: мат-лы конф. Т. 1: Цифровые и геоинформационные технологии в изучении природных процессов в экологии, природопользовании и гидрометеорологии / под ред. С. В. Пьянкова и др. Пермь, 2020. С. 54–57.
8. Джуха И. Г., Чалов Р. С. Морфология и динамика русла р. Юг как пример руслоформирующей деятельности малой реки // Геоморфология. 1989. № 1. С. 83–91.
9. Завадский А. С., Чалов Р. С. Региональный анализ свободного меандрирования // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 1997. № 3. С. 32–36.
10. Завадский А. С., Лобанов Г. В., Петухова Л. Н. и др. Результаты стационарных исследований русловых процессов на реках ЕТР // Эрозионные и русловые процессы: сб. трудов. Вып. 5. М.: МАКС Пресс, 2010. С. 220–251.
11. Замышляев В. И. О причинах меандрирования рек (обзор работ зарубежных авторов) // Вопросы гидрологии суши. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. С. 133–141.
12. Знаменская Н. С. Донные наносы и русловые процессы. Л.: Гидрометеоиздат, 1976. 192 с.
13. Кораблева О. В., Чернов А. В. Динамика пойменно-русловых комплексов рек Нижегородского Заволжья (на примере реки Керженец). Н. Новгород: Государственный природный биосферный заповедник «Керженский», 2012. 196 с.
14. 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.
15. Лакин Г. Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.
16. Маккавеев Н. И. Русло реки и эрозия в её бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 347 с.
17. Матвеев Б. В. Влияние геолого-геоморфологических факторов на образование и морфологию речных излучин // Геоморфология. 1985. № 3. С. 51–57.
18. Махинов А. Н., Ким В. И., Аношкин А. В. и др. Преобразование локальных пойменно-русловых систем рек Амур и Усури как фактор возникновения трансграничных проблем // Региональные проблемы. 2018. Т. 21. № 2. С. 61–68.
19. Михайлова Н. М., Турыкин Л. А., Ботвин 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, 2023. С. 161–163.
20. Мозжерин В. И., Курбанова С. Г. Деятельность человека и эрозионно-русловые системы Среднего Поволжья. Казань: Арт. Дизайн, 2004. 128 с.
21. Назаров Н. Н., Егоркина С. С. Реки Пермского Прикамья: Горизонтальные русловые деформации. Пермь, 2004. 155 с.
22. Назаров Н. Н., Копытов С. В. Этапы формирования речной сети бассейна верхней Камы в плейстоцене // Учёные записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2020. Т. 162. Кн. 1. С. 180–200. DOI: 10.26907/2542-064X.2020.1.180-200
23. Назаров Н. Н., Копытов С. В. История перестройки русловых систем Камско-Кельтминской низменности в позднем плейстоцене – голоцене // Географический вестник. 2020. № 4. С. 6–19. DOI: 10.17072/2079-7877-2020-4-6-19
24. Научно-прикладной справочник: Основные гидрологические характеристики рек бассейна Камы / под ред. В. Ю. Георгиевского. Ливны, 2015. 135 с.
25. Павлов И. Н. Морфология русел рек равнинной части Алтайского края // Геоморфология. 1994. № 3. С. 78–85.
26. Петухова Л. Н., Рысин И. И. Факторы русловых процессов и их влияние на морфодинамику русел рек Удмуртии // Геоморфология. 2006. № 4. С. 70–78.
27. Попов И. В., Кондитерева Э. А. Прогноз русловых деформаций Волги на участке

- Саралёвского водного узла в связи с проектированием улучшения его судоходных условий // Труды ГГИ. 1974. № 216. С. 65–93.
28. Рысин И. И., Петухова Л. Н. Русловые процессы на реках Удмуртии. Ижевск: Научная книга, 2006. 176 с.
29. Рысин И. И., Григорьев И. И., Петухова Л. Н. и др. Результаты многолетних исследований русловых размывов на реках Удмуртии // Эрозионные и русловые процессы. Вып. 7. М.: Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, 2020. 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
31. Сидорчук А. Ю., Махинов А. Н. Морфология и динамика руслового рельефа. М.: ВИНТИ, 1985. 163 с.
32. Спиридонов А. И. Основы общей методики полевых геоморфологических исследований и геоморфологического картографирования. М.: Высшая школа, 1970. 456 с.
33. Чалов Р. С., Алабян А. М., Иванов В. В. и др. Морфодинамика русел равнинных рек. М.: ГЕОС, 1998. 288 с.
34. 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.
35. Чалов Р. С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 2: Морфодинамика речных русел. М.: КРАСАНД, 2011. 960 с.
36. 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.
37. Чалов Р. С., Завадский А. С., Панин А. В. Речные излучины. М.: Из-во МГУ, 2004. 371 с.
38. Чалов Р. С., Завадский А. С., Ботавин Д. В. и др. Покровско-Якутский водный узел на р. Лене: современные деформации и управление русловыми процессами // Известия РАН. Серия географическая. 2019. № 6. С. 83–96.
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.
40. Чалов Р. С., Голубцов Г. Б., Куракова А. А. Прямолинейные неразветвлённые русла: морфологическое разнообразие и типизация // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2025. Т. 80, № 1. С. 98–109. DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.1.7
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 / под ред. Р. С. Чалова, В. Н. Голосова, А. Ю. Сидорчука. М.: ИНФРА-М, 2017. 702 с.
44. Egozi R., Ashmore P. Experimental analysis of braided channel pattern response to increased discharge // Journal of Geophysical Research. 2009. P. 941–962. DOI: 10.1029/2008JF001099
45. Knighton A. D. The meander problem // Geography. 1977. № 275. Vol. 2. P. 106–111.
46. Knighton A. D. Fluvial Forms and Processes: A New Perspective. London: Arnold, 2014. 400 p.
47. Lysa A., Larsen E., Buylaert J.-P., et al. Late Pleistocene stratigraphy, and sedimentary environments of the Severnaya Dvina-Vycheгда region in northwestern Russia // Boreas. 2014. Vol. 43. P. 759–779. DOI: 10.1111/bor.12080
48. 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 / eds. R. S. Chalov, M. Kamykowska, K. Krzemien. Cracow, 2006. P. 119–131.
49. Robert A. River processes: an introduction to fluvial dynamics. London: Arnold, 2003. 214 p.
50. Schuurman F., Kleinhans M. G. Bar dynamics and bifurcation evolution in a modelled braided sand-bed river // Earth Surface Processes and Landforms. 2015. Vol. 40. Iss. 10. P. 1318–1333. DOI: 10.1002/esp.3722
51. Yang C. T. On river meanders // Journal of Hydrology. 1971. Vol. 13. P. 231–233.
52. Yermolaev O. P., Golosov V. N., Kumani M. V., et al. Recent changes in sediment redistribution in the upper parts of the fluvial system of European Russia: regional aspects // Sediment Dynamics from the Summit to the Sea / eds. Y. Jun Xu, M. A. Allison, et al. 2015. Vol. 367. P. 333–339. DOI: 10.5194/piahs-367-333-2015

## REFERENCES

1. Antropovsky V. I. *Gidrologicheskiye i morfologicheskiye zakonomernosti i fonovyye prognozy re-*

- konstruktsii rusla reki* [Hydrological and Morphological Patterns and Background Forecasts of River Channel Reformation]. St. Petersburg, 2006. 216 p.
2. Rysin I. I., ed. *Atlas Udmurtskoy Respubliki* [Atlas of the Udmurt Republic]. Moscow: Feoriya Publ.; Izhevsk: Udmurtia Publ., 2020. 288 p.
  3. Berkovich K. K. *Geograficheskiy analiz antropogennykh izmeneniy ruslovykh protsessov* [Geographical Analysis of Anthropogenic Changes in Channel Processes]. Moscow: GEOS, 2001. 164 p.
  4. Gafurov A. M., Rysin I. I., Golosov V. N., et al. [Assessment of the Modern Growth of Gully Tops on the Southern Megaslope of the East European Plain Using a Set of Instrumental Methods]. In: *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya* [Bulletin of Moscow University. Series 5: Geography], 2018, no. 5, pp. 61–71.
  5. Grigoriev I. I., Rysin I. I. [Studies of man-made and agricultural gullies in Udmurtia using GIS technologies]. In: *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya: Biologiya. Nauki o Zemle* [Bulletin of Udmurt University. Series: Biology. Earth Sciences], 2008, iss. 1, pp. 49–58.
  6. Grigoriev I. I., Rysin I. I. [Application of geographic information systems in the study of man-made and agricultural gullies in Udmurtia]. In: *Geomorfologiya* [Geomorphology], 2009, no. 1, pp. 69–75.
  7. Grigoriev I. I., Rysin I. I. [Use of an unmanned aerial vehicle (quadcopter) using digital technologies in geographical research]. In: Pyankov S. V., et al. *Tsifrovaya geografiya: konf. tom. 1: Tsifrovyye i geoinformatsionnyye tekhnologii v izuchenii prirodnykh protsessov v ekologii, prirodopol'zovanii i gidrometeorologii* [Digital geography: conf. Vol. 1: Digital and Geoinformation Technologies in the Study of Natural Processes in Ecology, Nature Management, and Hydrometeorology]. Perm, 2020, pp. 54–57.
  8. Dzhukha I. G., Chalov R. S. [Morphology and Dynamics of the Yug River Channel as an Example of the Channel-Forming Activity of a Small River]. In: *Geomorfologiya* [Geomorphology], 1989, no. 1, pp. 83–91.
  9. Zavadskiy A. S., Chalov R. S. [Regional Analysis of Free Meandering]. In: *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya* [Bulletin of Moscow University. Series 5: Geography], 1997, no. 3, pp. 32–36.
  10. Zavadskiy A. S., Lobanov G. V., Petukhova L. N., et al. [Results of stationary studies of channel processes on the rivers of the European Russian Region]. In: *Eroziya i ruslovyye protsessy: sobraniye sochineniy. Vyp. 5* [Erosion and channel processes. Issue 5]. Moscow: MAKS Press, 2010. P. 220–251.
  11. Zamyshlyayev V. I. [On the Causes of River Meandering (a Review of Works by Foreign Authors)]. In: *Trudy po gidrologii sushy* [Proceedings on Land Hydrology]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1978, pp. 133–141.
  12. Znamenskaya N. S. *Donnyye otlozheniya i ruslovyye protsessy* [Bottom Sediments and Channel Processes]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1976. 192 p.
  13. Korableva O. V., Chernov A. V. *Dinamika poymenno-ruslovykh kompleksov rek Nizhegorodskogo Zavolzhskego kraya (na primere reki Kerzhenets)* [Dynamics of Floodplain-Channel Complexes of Rivers in the Nizhny Novgorod Trans-Volga Region (using the Kerzhenets River as an Example)]. Nizhny Novgorod: Kerzhensky State Nature Biosphere Reserve, 2012. 196p.
  14. Korableva O. V., Chernov A. V. [Current dynamics of floodplain-channel complexes of the middle Kerzhenets River (based on monitoring observations in 2001–2018)]. In: *Nauchnyye problemy uluchsheniya sostoyaniya rossiyskikh rek i puti ikh resheniya* [Scientific problems of improving the health of Russian rivers and ways to solve them]. Moscow: Institute of Water Problems RAS Publ., 2019, pp. 172–176.
  15. Lakin G. F. *Biometriya* [Biometry]. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 1990. 352 p.
  16. Makkaveev N. I. *Ruslo reki i eroziya v yeyo basseyne* [River bed and erosion in its basin]. Moscow: USSR Academy of Sciences Publ., 1955. 347 p.
  17. Matveev B. V. [Influence of geological and geomorphological factors on the formation and morphology of river bends]. In: *Geomorfologiya* [Geomorphology], 1985, no. 3, pp. 51–57.
  18. Makhinov A. N., Kim V. I., Anoshkin A. V., et al. [Transformation of local floodplain-channel systems of the Amur and Ussuri rivers as a factor in the emergence of transboundary problems]. In: *Regionalnyye problemy* [Regional problems], 2018, vol. 21, no. 2, pp. 61–68.
  19. Mikhailova N. M., Turykin L. A., Botavin D. V. [Features of channel deformation in semi-mountain sections of rivers in the Kuban River basin]. In: *Tridsat vosmoye plenarnoye mezhuniversitetskoye koordinatsionnoye soveshchaniye po probleme erozii, ruslovykh i estuarnykh protsessov: doklady i soobshcheniya* [Thirty-eighth plenary interuniversity coordination meeting on the problem of erosion, channel and estuary processes: reports and communications]. Perm, 2023, pp. 161–163.
  20. Mozzherin V. I., Kurbanova S. G. *Chelovecheskaya deyatelnost i erozionno-ruslovyye sistemy*

- Srednego Povolzhya* [Human activity and erosion-channel systems of the Middle Volga region]. Kazan: Art. Design Publ., 2004. 128 p.
21. Nazarov N. N., Egorkina S. S. *Reki Permsko-Kamskoy oblasti: Gorizontalnyye deformatsii rusla* [Rivers of the Perm Kama region: Horizontal channel deformations]. Perm, 2004. 155 p.
  22. Nazarov N. N., Kopytov S. V. [Stages of formation of the river network of the upper Kama basin in the Pleistocene]. In: *Nauchnyye zametki Kazanskogo universiteta. Seriya: Yestestvennyye nauki* [Scientific Notes of Kazan University. Series: Natural Sciences], 2020, vol. 162, book 1, pp. 180–200. DOI: 10.26907/2542-064X.2020.1.180-200
  23. Nazarov N. N., Kopytov S. V. [History of restructuring of channel systems of the Kama-Keltma Lowland in the Late Pleistocene – Holocene]. In: *Geograficheskiy vestnik* [Geographical Bulletin], 2020, no. 4, pp. 6–19. DOI: 10.17072/2079-7877-2020-4-6-19
  24. Georgievskiy V. Yu., ed. *Nauchno-prikladnoy spravochnik: Osnovnyye gidrologicheskiye kharakteristiki rek Kamskoy kotloviny* [Scientific and Applied Handbook: Main Hydrological Characteristics of the Rivers of the Kama Basin]. Livny, 2015. 135 p.
  25. Pavlov I. N. [Morphology of River Channels in the Flat Part of Altai Krai]. In: *Geomorfologiya* [Geomorphology], 1994, no. 3, pp. 78–85.
  26. Petukhova L. N., Rysin I. I. [Factors of Channel Processes and Their Impact on the Morphological Dynamics of River Channels in Udmurtia]. In: *Geomorfologiya* [Geomorphology], 2006, no. 4, pp. 70–78.
  27. Popov I. V., Konditereva E. A. [Forecast of channel deformations of the Volga in the section of the Saralevskiy water node in connection with the design of improvement of its shipping conditions]. In: *Trudy Gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo instituta* [Proceedings of the State Hydrometeorological Institute], 1974, no. 216, pp. 65–93.
  28. Rysin I. I., Petukhova L. N. *Ruslovyye protsessy na rekakh Udmurtii* [Channel processes on the rivers of Udmurtia]. Izhevsk: Nauchnaya kniga Publ., 2006. 176 p.
  29. Rysin I. I., Grigoriev I. I., Petukhova L. N., et al. [Results of long-term studies of channel erosion on the rivers of Udmurtia]. In: *Eroziya i ruslovyye protsessy. Vyp. 7* [Erosion and channel processes. Issue 7]. Moscow, 2020, pp. 269–280.
  30. Rysin I. I., Grigoriev I. I., Petukhova L. N., et al. [Long-term dynamics of horizontal channel erosion rates on the rivers of Udmurtia]. In: *Geomorfologiya i paleogeografiya* [Geomorphology and paleogeography], 2024, no. 1, pp. 24–37. DOI: 10.31857/S2949178924010033
  31. Sidorchuk A. Yu., Makhinov A. N. *Morfologiya i dinamika relyefa rusla* [Morphology and Dynamics of Channel Relief]. Moscow: VINITI Publ., 1985. 163 p.
  32. Spiridonov A. I. *Osnovy obshchey metodologii polevykh geomorfologicheskikh issledovaniy i geomorfologicheskogo kartirovaniya* [Fundamentals of the General Methodology of Field Geomorphological Research and Geomorphological Mapping]. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 1970. 456 p.
  33. Chalov R. S., Alabyan A. M., Ivanov V. V., et al. *Morfodinamika rusel nizmennykh rek* [Morphodynamics of Lowland River Channels]. Moscow: GEOS, 1998. 288 p.
  34. Chalov R. S. *Issledovaniya rusel rek: teoriya, geografiya, praktika. Tom 1: Ruslovyye protsessy: faktory, mekhanizmy, formy proyavleniya i usloviya formirovaniya rusla reki* [River Channel Studies: Theory, Geography, Practice. Vol. 1: Channel Processes: Factors, Mechanisms, Forms of Manifestation, and Conditions of River Channel Formation]. Moscow: Izdatelstvo LKI Publ., 2008. 608 p.
  35. Chalov R. S. *Issledovaniya rusel rek: teoriya, geografiya, praktika. T. 2: Morfodinamika rusel rek* [River Channel Studies: Theory, Geography, Practice. Vol. 2: Morphodynamics of River Channels]. Moscow: KRASAND, 2011. 960 p.
  36. Chalov R. S., Zavadskiy A. S., Ruleva S. N., et al. [Morphology, Deformations, and Modern Changes in the Lena River Channel and Their Impact on the Economic Infrastructure in the Yakutsk Area]. In: *Geomorfologiya* [Geomorphology], 2016, no. 3, pp. 22–35.
  37. Chalov R. S., Zavadskiy A. S., Panin A. V. *Izluchiny rek* [River Bends]. Moscow: Moscow State University Publ., 2004. 371 p.
  38. Chalov R. S., Zavadskiy A. S., Botavin D. V., et al. [The Pokrovsk-Yakutsk Water Node on the Lena River: Modern Deformations and Management of Channel Processes]. In: *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk. Geograficheskaya seriya* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series], 2019, no. 6, pp. 83–96.
  39. Chalov R. S., Chernov A. V., Berkovich K. M., et al. [Geography of Channel Processes on Russian Rivers]. In: *Vestnik Rossiyskogo geograficheskogo obshchestva* [Bulletin of the Russian Geographical Society], 2017, vol. 149, iss. 4, pp. 13–33.
  40. Chalov R. S., Golubtsov G. B., Kurakova A. A. [Straight Unbranched Channels: Morphological Diversity and Typification]. In:

- Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya* [Bulletin of Moscow University. Series 5: Geography], 2025, vol. 80, no. 1, pp. 98–109. DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.1.7
41. Chernov A. V. *Geografiya i geoekologicheskoye sostoyaniye rusel i poym rek Severnoy Yevrazii* [Geography and geoecological state of the channels and floodplains of rivers in Northern Eurasia]. Moscow: Krona LLC Publ., 2009. 614 p.
  42. Scheidegger A. E. *Teoreticheskaya geomorfologiya* [Theoretical geomorphology]. Moscow: Progress Publ., 1964. 450 p.
  43. Chalova R. S., Golosova V. N., Sidorchuk A. Yu., eds. *Erozionno-ruslovyye sistemy* [Erosion-channel systems]. Moscow: INFRA-M, 2017. 702 p.
  44. Egozi R., Ashmore P. Experimental analysis of braided channel pattern response to increased discharge. In: *Journal of Geophysical Research*, 2009, pp. 941–962. DOI: 10.1029/2008JF001099
  45. Knighton A. D. The meander problem. In: *Geography*, 1977, no. 275, vol. 2, pp. 106–111.
  46. Knighton A. D. *Fluvial Forms and Processes: A New Perspective*. London: Arnold, 2014. 400 p.
  47. Lysa A., Larsen E., Buylaert J.-P., et al. Late Pleistocene stratigraphy, and sedimentary environments of the Severnaya Dvina-Vychegda region in northwestern Russia. In: *Boreas*, 2014, vol. 43, pp. 759–779. DOI: 10.1111/bor.12080
  48. Petukhova L. N., Rysin I. I. Patterns in the development of horizontal river channel transformations in the Republic of Udmurtia, Russian Federation. In: Chalov R. S., Kamykowska M., Krzemien K., eds. *Channel processes in the rivers of mountains, foothills and plains*. Cracow, 2006. P. 119–131.
  49. Robert A. *River processes: an introduction to fluvial dynamics*. London: Arnold, 2003. 214 p.
  50. Schuurman F., Kleinhans M. G. Bar dynamics and bifurcation evolution in a modelled braided sand-bed river. In: *Earth Surface Processes and Landforms*, 2015, vol. 40, iss. 10, pp. 1318–1333. DOI: 10.1002/esp.3722
  51. Yang C. T. On river meanders. In: *Journal of Hydrology*, 1971, vol. 13, pp. 231–233.
  52. Yermolaev O. P., Golosov V. N., Kumani M. V., et al. Recent changes in sediment redistribution in the upper parts of the fluvial system of European Russia: regional aspects. In: Jun Xu Y., Allison M. A., et al., eds. *Sediment Dynamics from the Summit to the Sea*, 2015, vol. 367, pp. 333–339. DOI: 10.5194/piahs-367-333-2015

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Рысин Иван Иванович (г. Ижевск)* – доктор географических наук, профессор, профессор кафедры экологии и природопользования института естественных наук Удмуртского государственного университета;  
e-mail: rysin.iwan@yandex.ru; ORCID: 0009-003-6062-8078

*Григорьев Иван Иванович (г. Ижевск)* – кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры географии, картографии и геоинформатики института естественных наук Удмуртского государственного университета;  
e-mail: ivangrig@yandex.ru; ORCID: 0000-0001-8498-1202

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Ivan I. Rysin* (Izhevsk) – Dr. Sci. (Geography), Prof., Department of Ecology and Nature Management, Institute of Natural Sciences, Udmurt State University;  
e-mail: rysin.iwan@yandex.ru; ORCID: 0009-003-6062-8078

*Ivan I. Grigoriev* (Izhevsk) – Cand. Sci. (Geography), Assoc. Prof., Department of Geography, Cartography and Geoinformatics, Institute of Natural Sciences, Udmurt State University;  
e-mail: ivangrig@yandex.ru; ORCID: 0000-0001-8498-1202