



УДК 504.45
DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-2-294-307
EDN JEYUOK

Влияние русловых процессов реки Вычегды на функционирование инфраструктурных объектов в границах города Сыктывкара

Боровлев А.Ю., Денисова И.В., Новиков А.Д.

Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина,
Россия, 167000, г. Сыктывкар, ул. Петрозаводская, 12
machineboro@gmail.com, ilona4021@yandex.ru, artem.novikov.2001@mail.ru

Аннотация. Естественный ход руслового процесса часто является определяющим фактором возникновения природной экологической напряженности для функционирования инженерных сооружений и проживания населения в пределах речного бассейна. Геолого-геоморфологические условия и климатические факторы обуславливают слабую устойчивость русла р. Вычегды, по берегам которой расположены населенные пункты с соответствующей инфраструктурой и крупные предприятия лесопромышленного комплекса, играющие важную роль в экономике страны. Исследование и прогноз развития процессов в русле р. Вычегды в пределах г. Сыктывкара важны для обеспечения экологической безопасности территории, снижения и предотвращения экономического ущерба вследствие неблагоприятных гидрологических явлений и процессов, обеспечения штатной работы инженерных объектов в пределах речной долины, а также комфортного проживания населения. В процессе создания карт развития плановых деформаций исследуемого участка Вычегды использовались методы экстраполяции, сравнительно-географического анализа и анализа данных дистанционного зондирования Земли. В результате проведенного исследования на основании полученных карт были выявлены объекты производственной и социальной инфраструктуры, населенные пункты, наиболее подверженные негативному воздействию со стороны естественного хода развития русловых деформаций, а также даны рекомендации по снижению и предотвращению ущерба вследствие неблагоприятных гидрологических явлений и процессов.

Ключевые слова: русловый процесс, русловые деформации, долина Вычегды, экстраполяция, экологическая напряженность, неблагоприятные гидрологические явления

Для цитирования: Боровлев А.Ю., Денисова И.В., Новиков А.Д. 2025. Влияние русловых процессов реки Вычегды на функционирование инфраструктурных объектов в границах города Сыктывкара. Региональные геосистемы, 49(2): 2 294–307. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-2-294-307 EDN: JEYUOK

Impact of Channel Processes in the Vychegda River on Infrastructure Facilities Functioning in Syktyvkar

Alexander Yu. Borovlev, Ilona V. Denisova, Artyom D. Novikov

Pitirim Sorokin Syktyvkar State University
12 Petrozavodskaya St, Syktyvkar 167000, Russia
machineboro@gmail.com, ilona4021@yandex.ru, artem.novikov.2001@mail.ru

Abstract. The natural course of the riverbed process is often a determining factor in the occurrence of natural environmental tension for the functioning of engineering structures and the population living within the river basin. Geological and geomorphological conditions and climatic factors determine the weak stability of the Vychegda riverbed, along the banks of which there are settlements with appropriate infrastructure and large timber industry enterprises playing an important role in the country's economy.

Research and forecast of the development of riverbed processes of the Vychegda river in the area of Syktyvkar is important for ensuring the environmental safety of the territory, reducing and preventing economic damage due to adverse hydrological phenomena, ensuring the regular operation of engineering structures within the river valley, as well as comfortable living of the population. The authors used methods of extrapolation, comparative geographical analysis, and analysis of Earth remote sensing data for creating maps of the riverbed process development in the investigated area of the Vychegda. As a result of the study, based on the maps obtained, industrial and social infrastructure objects and settlements were identified that are most susceptible to negative impacts from the natural course of riverbed deformations, and recommendations were made to reduce and prevent damage due to adverse hydrological phenomena and processes.

Keywords: riverbed process, riverbed deformations, the Vychegda valley, extrapolation, environmental tension, unfavorable hydrological phenomena

For citation: Borovlev A.Yu., Denisova I.V., Novikov A.D. 2025. Impact of Channel Processes in the Vychegda River on Infrastructure Facilities Functioning in Syktyvkar. Regional Geosystems, 49(2): 294–307 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-2-294-307 EDN: JEYUOK

Введение

Экологическая напряженность интерпретируется в ракурсе природных и антропогенных аспектов. С позиции антропогенных факторов – это различные состояния окружающей природной среды, определяемые хозяйственной деятельностью, результаты которой приводят к изменениям экосистемы в целом и утрате ее свойств, обеспечивающих нормальные жизнедеятельность и жизнеобеспечение человека. В контексте природных условий и явлений экологическая напряженность проявляется в негативном влиянии факторов окружающей природной среды на здоровье, хозяйственную деятельность и инфраструктурные объекты [Беркович и др., 2001; Денисова, 2006]. Среди природных факторов экологической напряженности важное место в структуре неблагоприятных гидрологических явлений и процессов на реках занимают плановые и вертикальные русловые деформации, подтопления территорий и наводнения [Доброумов, Тумановская, 2002; Жук и др., 2004].

Особенности геолого-геоморфологического строения долины Вычегды – преобладание рыхлых песчаных и супесчаных отложений – предопределили слабую устойчивость русла реки и обилие взвешенных наносов. В гидрологическом режиме четко выражена стадия весеннего половодья, что в сочетании с особенностями строения речной долины, является важной причиной подтопления прилегающих территорий, а также частого изменения положения русла [Ковалёв, 2023]. В результате незавершенного меандрирования речной поток способен трансформироваться так, что это может явиться причиной сбоя в работе многих инженерных объектов и опасности для проживания населения вследствие подтопления жилых домов, в частности, микрорайона Заречье г. Сыктывкара и поселка Седкыркеш.

Длина Вычегды составляет 1130 км, площадь бассейна – 121 тыс. км² [Атлас Республики Коми, 2011; Денисова, 2021]. Следовательно, средняя плотность населения в бассейне реки в пределах территории Республики Коми сравнительно низкая от 0,923 чел./км² до 4,968 чел./км², однако для него типична концентрация в населенных пунктах, расположенных по берегам рек. Для Сыктывкара средняя плотность населения составляет 313,207 чел./км² [Федеральная служба государственной статистики РФ..., 2024]. Город Сыктывкар – столица Республики Коми – расположен у слияния рек Вычегды и Сысолы, имеет важное культурно-историческое значение, выполняет административно-хозяйственные функции, а также является одним из центров целлюлозно-бумажной промышленности и лесопромышленного комплекса страны. Расположение территории рассматриваемого участка реки в пределах подзоны средней тайги предопределяет его важность для промышленной лесозаготовки. Длительная, часто неконтролируемая выруб-

ка леса привела к изменению стока воды и наносов рек в сторону увеличения, а также более краткого и стремительного прохождения весеннего половодья [Беркович, 2010; Алфёров, Яковенко, 2015; Денисова, 2021].

В результате особенностей своего местоположения для г. Сыктывкара характерны подтопления территории в период весеннего половодья и паводков, вследствие естественного движения форм руслового рельефа и размыва берегов часто под угрозой находятся важные инфраструктурные сооружения, в частности, водозабор, мостовые переходы и другие важные объекты. Все эти процессы являются причиной возникновения экологической напряженности для территории, а, следовательно, – экономического ущерба [Геер и др., 2002]. Прогноз русловых деформаций на основании космоснимков должен стать важной составляющей мониторинга неблагоприятных гидрологических явлений и способствовать снижению и предотвращению экономического ущерба от них.

Целью исследования является анализ развития русловых процессов и движения форм руслового рельефа как факторов, определяющих функционирование инфраструктурных объектов на Вычегде в границах г. Сыктывкара, а также моделирование изменения русла реки с использованием ГИС-технологий для нивелирования и предотвращения экологической напряженности вследствие неблагоприятных гидрологических явлений.

Теоретическая значимость работы заключается в построении модели вероятностного развития русла Вычегды с использованием ГИС-систем. Основополагающими положениями для анализа явились работы ведущих специалистов МГУ им. М.В. Ломоносова – Р.С. Чалова и А.В. Чернова. Практическая значимость работы состоит в разработке рекомендаций по прогнозу и минимизации риска вследствие негативного воздействия русловых процессов на функционирование инженерных объектов, обеспечении безопасности проживания населения, а также для предотвращения возможных чрезвычайных ситуаций в пределах долины Вычегды для г. Сыктывкара. В дальнейших исследованиях предполагается детализация отдельных участков реки и увеличение объема данных для повышения точности моделирования.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования является участок долины реки Вычегды – от места впадения реки Локчим до устья реки Большой Тэг – протяженность которого около 97 км (рис. 1) [Перечень внутренних ..., 1969], а также расположенные на территории указанного участка инженерные сооружения. Выбор исследуемого участка реки обусловлен расположением в его пределах г. Сыктывкара – важного административного, хозяйственного и культурно-исторического центра. В районе г. Сыктывкара происходит слияние рек Сысолы и Вычегды (см. рис. 1), что может являться дополнительным фактором появления экологической напряженности вследствие неблагоприятных гидрологических процессов и подпорных явлений, учитывая, что Сысола является источником водоснабжения города. Анализ развития русловых процессов, происходящих на указанной территории, необходим для обеспечения безопасности функционирования инженерных сооружений в пределах речной долины, а также бесперебойной работы объектов транспортной инфраструктуры [Агеева и др., 2022].

Ключевым аспектом при пространственном анализе было совместное использование данных дистанционного зондирования Земли и архивных топографических карт масштаба 1:500 000. В качестве космоснимков была выбрана платформа *Landsat*, позволяющая проводить долговременный мониторинг динамики ландшафтов с 1975 года по настоящее время [Roy et al., 2014]. Пространственное разрешение спутниковых изображений – 30 метров на пиксель (15 метров в панхроматическом канале), что позволяет грамотно проводить визуальное дешифрирование ландшафтов. Еще одно важное преимущество этих данных – мультиспектральная структура растровых моделей, которая существенно повышает информативность спутникового изображения [Дунаева и др., 2015]. С ресурса *EarthExplorer* были скачаны и обработаны следующие сцены: снимок от 04.08.1975 (*Landsat*

1 MSS), снимок от 01.08.1990 (*Landsat 5 TM*), снимок от 04.08.2003 и от 29.07.2018 (*Landsat 7 ETM*), снимок от 11.08.2023 (*Landsat 9 OLI*) [EartExplorer, 2024]. Все растровые модели были обработаны в полнофункциональной геоинформационной системе *Quantum GIS* 3.

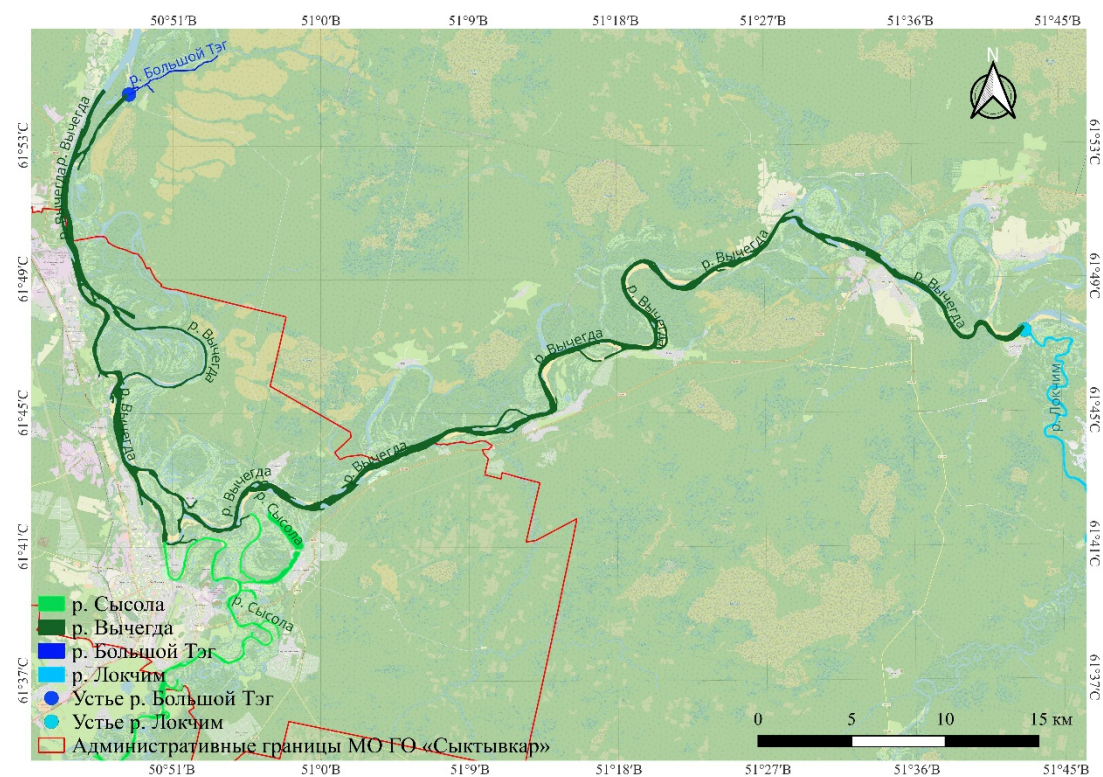


Рис. 1. Участок р. Вычегды от устья р. Локчим до устья р. Большой Тэг (подложка: Google Earth)
Fig. 1. The section of the Vychegda river from the mouth of the Lokchim River to the mouth of the Bolshoy Tag River (the substrate: Google Earth)

Исследование динамики изменений ландшафтов на основе данных дистанционного зондирования Земли заключается в формировании набора спутниковых изображений разных лет, однако сезон и территория (сцена космоснимка) являются неизменными для каждого года. Такой подход, называемый мультитременным композитом, позволяет максимально корректно провести сравнительный анализ трансформации местности [Hansen et al., 2013].

На основе анализа космоснимков, мелкомасштабных и крупномасштабных карт за пятидесятилетний период времени были созданы карты изменения русловых деформаций Вычегды для исследуемого участка реки в целях прогноза изменений с помощью метода экстраполяции. Прогноз развития руслового процесса является важной составляющей мониторинга для предотвращения и нивелирования возможных неблагоприятных гидрологических явлений, которые представляют опасность штатному функционированию инженерных сооружений, с возможным экономическим ущербом [Рыбак, 2022; Алали, 2024].

Метод экстраполяции – математический подход, используемый для прогноза будущих изменений на основе анализа трендов и закономерностей, зафиксированных в прошлом [Михайлов, Мысливчик, 2020]. Указанный метод использовали для анализа развития русловых деформаций реки Вычегды за последние 50 лет.

Процесс создания карт изменения русловых деформаций р. Вычегды включал следующие этапы:

1) сбор и обработка данных: были собраны и обработаны данные о русловых деформациях Вычегды за период последних 50 лет, включая гипсометрические данные, информацию о плановых деформациях русла, а также необходимые гидрологические параметры;



2) анализ данных: полученные данные подверглись анализу методом экстраполяции для определения тенденций и закономерностей изменения русловых деформаций Вычегды [Пархоменко, Гоман, 2021];

3) определение модели: по результатам анализа данных была определена математическая модель, описывающая изменения русловых деформаций Вычегды за предыдущие годы;

4) экстраполяция: математическая модель использовалась для экстраполяции трендов и закономерностей изменений русловых деформаций Вычегды в будущем [Борщ и др., 2021];

5) создание карт: по результатам экстраполяции были построены прогностические карты изменения русловых деформаций Вычегды, отображающие будущие изменения;

6) интерпретация результатов: полученные карты были проанализированы и интерпретированы для определения возможных изменений деформаций русла Вычегды и их влияния на окружающую природную среду и инженерные объекты.

При построении карт развития русловых деформаций Вычегды использовался метод экстраполяции, что сделало возможным прогноз эволюции русла и определение соответствующих мероприятий для сохранения экологического баланса территории [Чалов, 2015], а также уменьшения экономического ущерба вследствие неблагоприятного проявления естественного развития русловых процессов. Теоретическим фундаментом для работы явились основы гидролого-морфологического подхода к исследованиям русловых процессов и сравнительно-географический метод. Гидролого-морфологический подход, разработанный в ГГИ, анализирует русловой процесс в ракурсе его структурности и дискретности, а также учитывает типизацию русловых процессов. К основным детерминантам относятся сток воды, наносов и ограничивающие условия – общее падение речной долины, местные базисы эрозии, выход неразмываемых горных пород, наличие базального слоя и другие. Гидротехнические сооружения обуславливают необходимость учета их воздействия на русловые процессы [Шикломанов, 1995; Шахов, Черняк, 2000; Снисченко и др., 2004] и обратно – влияние русловых процессов на функционирование инженерных объектов.

Сравнительно-географический (сравнительно-морфологический) метод не требует знания составляющих баланса наносов, выяснения механизма переформирования и позволяет получить результат, минуя рассмотрение промежуточных этапов переформирования русел, в отличие от гидродинамических методов [Денисова, 2006].

Результаты и их обсуждение

Территория участка Вычегды от устья Локчима до устья Большого Тэга представлена пластово-денудационными субгоризонтальными возвышенными ярусными равнинами, расчлененными реками и другими водотоками. Для большей части местности характерны высоты более 150 м, лишь левобережный участок от Сыктывкара до устья Большого Тэга представлен высотами менее 150 м. Абсолютные высоты местности находятся в пределах 40–200 м [Атлас Республики Коми, 2011].

Основные руслообразующие факторы – сток воды и наносов – обусловлены в первую очередь геолого-геоморфологическим строением территории и климатом. Долина реки исследуемого участка представлена в основном рыхлыми отложениями – песками, песчаниками, глинами и суглинками, что является типичным для всего речного бассейна. Для начала участка от устья Локчима до Корткероса типичны алевроиты, глинистые алевроиты, диатомиты, пески и суглинки с сильно выветренной галькой и щебнем. Для остальной части исследуемой территории характерны глины, алевроиты, пески, песчаники, гравелиты и конгломераты. Геологическое строение является предопределяющим фактором слабой устойчивости русла.

Территория расположена в подзоне подзолистых почв средней тайги, Онего-Двинской провинции подзолистых и болотно-подзолистых почв. От устья Локчима и примерно до г. Сыктывкара участок относится к Вымь-Вычегодскому округу подзолов торфянисто-глеевых иллювиально-гумусовых, торфянисто- и торфяно-подзолисто-

глеевых песчаных и супесчаных почв на маломощных флювиогляциальных отложениях, подстилаемых моренными суглинками, с участием подзолов иллювиально-железистых на древнеаллювиальных песках. Остальная территория до устья Большого Тэга приурочена к Сысола-Вычегодскому округу подзолистых и торфянисто- и торфяно-подзолисто-глеевых суглинистых почв на моренных отложениях.

Климат территории обусловлен расположением речного бассейна в умеренном поясе европейской части России. Ведущие климатообразующие факторы: малое количество солнечной радиации зимой; западный перенос воздушных масс; круглогодичное воздействие со стороны северных морей. Среднемесячная температура июля составляет $+16^{\circ}\text{C}$, января – -15°C . Переход среднесуточной температуры через 0°C происходит в пределах 21 октября осенью и 11 апреля весной. За год в среднем 27 % атмосферных осадков выпадает в виде снега, 55 % – в виде дождя, 12 % составляют смешанные осадки. Годовое количество осадков – 600–700 мм. В процессе годового хода величина осадков превышает испаряемость, коэффициент увлажнения превышает единицу [Денисова, 2006; Атлас Республики Коми, 2011]. Потепление климата в настоящее время приводит к усилению циклонической деятельности в Северном полушарии [Барышников и др., 2006], что влияет на изменения гидрологического режима рек – более ранние даты наступления весеннего половодья и более поздние осеннего ледостава. Осенние ледовые явления на Вычегде начинаются около 20 октября в начале исследуемого участка и около 25 октября от Сыктывкара. Весенний ледоход в среднем начинается 25 апреля. Средняя многолетняя продолжительность ледовых явлений – 190–200 дней.

Вследствие избыточного увлажнения, а также геолого-тектонических и геолого-геоморфологических особенностей строения для территории бассейна Вычегды характерна густая гидрографическая сеть. Согласно гидрологическому районированию, он относится к Вычегодско-Мезенскому округу, для которого густота гидрографической сети составляет $0,3\text{--}1,1\text{ км/км}^2$, заболоченность – 5–10 %. Густота речной сети исследуемого участка располагается в диапазоне $0,8\text{--}0,9\text{ км/км}^2$ [Атлас Республики Коми, 2011].

По типу руслового процесса Вычегда и нижнее течение Сысолы относятся к рекам с незавершенным меандрированием. Руслу рек слабоустойчивые, число Лохтина для Вычегды составляет 2,5; коэффициент извилистости – от 1 до 2. В речных долинах развита сегментно-гривистая и параллельно-гривистая пойма. Для отрезка Вычегды от устья Локчима до устья Большого Тэга, а также устьевое участка Сысолы типичным является повышенное поступление в русла песка с надпойменных террас. Сток взвешенных наносов в среднем составляет 1,43 млн т/год, мутность – $50\text{--}100\text{ г/м}^3$. Наличие перекатных участков на Вычегде выше г. Сыктывкара способствует образованию ледовых заторов в периоды ледохода [Карта реки Вычегда..., 1982, 1992, Карта Русловые процессы..., 1990; Атлас Республики Коми, 2011].

Средний годовой слой стока составляет 300–350 мм. Основными источниками питания являются талые снеговые воды, дожди теплого периода года и подземные воды. Вычегда относится к рекам с преимущественным снеговым питанием, составляющим 43–48 % годового стока. Значительную часть своего стока, составляющего в среднем 150 мм, река сбрасывает в период затяжного высокого весеннего половодья, в этот же период наблюдаются и максимальные расходы воды (табл. 1). Затяжное половодье определяют высокая залесенность территории – 95 %, и «возвраты холодов» в период весеннего снеготаяния. Доля дождевого питания составляет 22 % годового стока, на питание подземными водами приходится 27 %. Средний минимальный сток в летне-осенний период составляет $3\text{--}5\text{ л/с км}^2$ [Ресурсы поверхностных вод..., 1972; Денисова, 2006, 2021].

Высокие уровни воды весной наблюдаются от двух до десяти дней, далее происходит равномерный спад. При прохождении половодья для реки характерны ледовые заторы, обуславливающие подтопление территории. Также в период весеннего половодья активизируются процессы размыва и движения руслового аллювия. Это наносит ущерб объ-

ектам производственной и транспортной инфраструктуры, а также жилым постройкам близ реки [Ресурсы поверхностных вод СССР, 1972; Атлас Республики Коми, 2011; Денисова, 2021]. Для предотвращения и снижения экономического ущерба вследствие неблагоприятных гидрологических процессов необходимо тщательное исследование и прогнозирование развития русловых деформаций, а также движения форм руслового рельефа для исследуемого участка Вычегды. Для этого была построена карта прогноза развития русла.

Таблица 1
Table 1

Максимальные расходы воды паводий
Maximum water consumption of high water

Река – пункт	Площадь водосбора, км ²	Период наблюдений		Расходы за период наблюдений			За многолетний период	
		годы	Число лет	наибольший		средний	Q, м ³ /с	q, л/с·км ²
				Q, м ³ /с	год			
Вычегда – г. Сыктывкар	66900	1924 – 1966	43	6670	1929	4050	4160	62,2

В процессе переформирования руслового рельефа существует вероятность повреждения следующих коммуникаций: дорог и мостов, проходящих через реку или вдоль ее берегов; трубопроводного транспорта; линий электропередачи и связи, проходящих через реку или вдоль ее берегов; объектов коммунальной инфраструктуры населенных пунктов, расположенных вдоль реки (рис. 2) [Чалов и др., 2021].

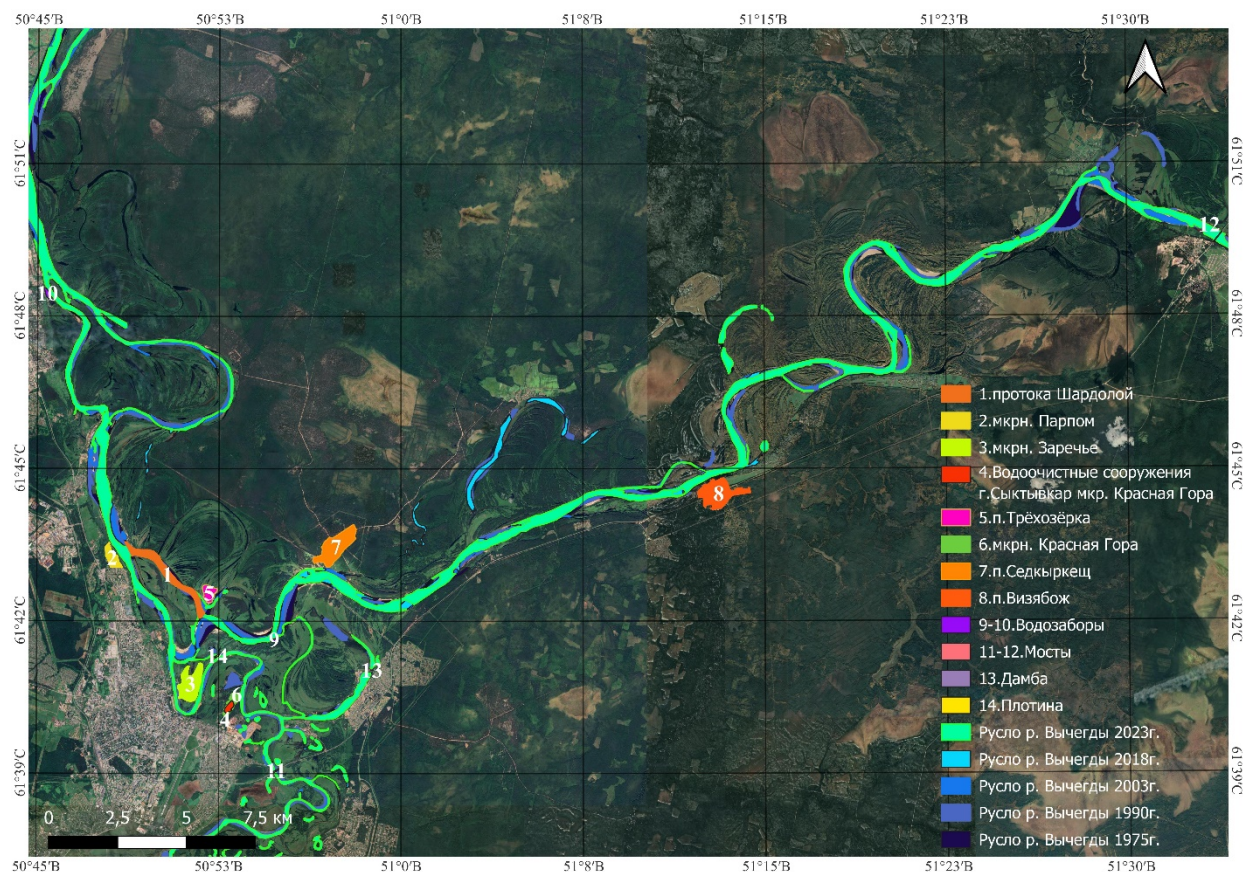


Рис. 2. Изменение русла р. Вычегды в период с 1975 по 2023 г. (подложка: Google Earth)
Fig. 2. Changes in the Vychegda riverbed from 1975 to 2023 (base layer: Google Earth)

Согласно составленной прогностической карте русловых переформирований (рис. 3), возможно выявить зоны потенциального риска – населенные пункты и инфраструктурные сооружения, которые будут подвергаться опасности вследствие неблагоприятных гидрологических явлений в будущем.

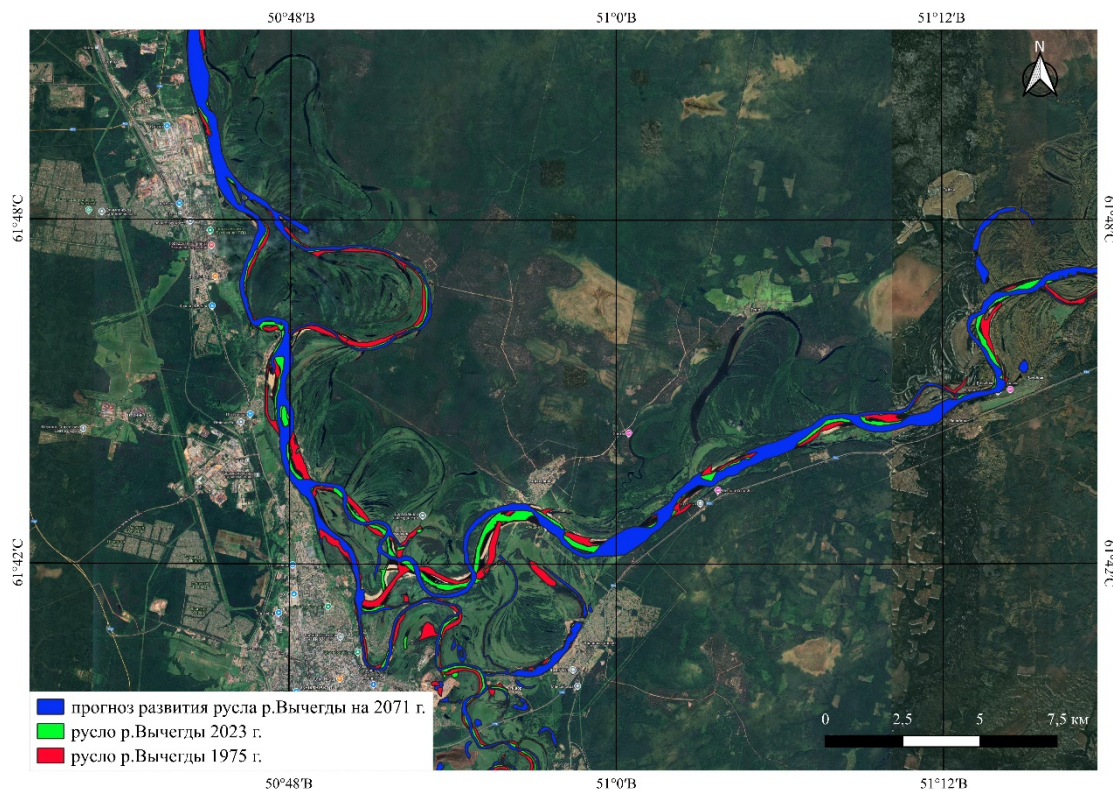


Рис. 3. Прогноз развития русла р. Вычегды на 2071 год (подложка: Google Earth)

Fig. 3. The forecast of the development of the Vychegda riverbed for 2071 (base layer: Google Earth)

1. Поселок Визябож, где существует риск для функционирования грунтовой дороги. Ведущими причинами подмыва берега и размыва дороги будут являться эрозия левого берега реки, а также повышения уровня воды вследствие высоких половодий и паводков. Мерами для предотвращения подмыва берега и защиты дороги могут являться берегоукрепление с помощью железобетонных конструкций или каменной наброски, а также создание защитной дамбы для предотвращения эрозии берега.

2. Поселок Седкыркеш, где размыв берегов способен нанести серьезный ущерб ул. Уральской. Одна из причин размыва берегов – гидравлическое действие: воздействие потока воды на берег может привести к размыву почвенных горизонтов и обрушению берега. Это особенно актуально, поскольку указанная улица расположена в излучине реки. Второй причиной являются рыхлые песчаные грунты [Буравская и др., 2012]. Превентивными мероприятиями по устранению размыва берега будут являться стабилизация русла, которая осуществляется при помощи установки подпорных стен, габионов или облицовки; посадка древесной, кустарниковой и травянистой растительности, способствующей предотвращению эрозии берегов; проведение дноуглубления [Денисова, 2006].

3. Водозабор, г. Сыктывкар в микрорайоне Красная Гора, расположенный на левом берегу Сысолы близ ее устья. К основным причинам подмыва берега и повреждения водозабора относятся:

- эрозия берега реки из-за сильного течения воды и образования перекатов;
- повреждение или разрушение трубопроводов и оборудования водозабора вследствие сильного течения воды и турбулентности;



- сокращение срока эксплуатации водозабора из-за постоянного воздействия турбулентного течения воды;
- геологическая нестабильность берега, которая способна привести к обвалам и осыпям;
- строительство водозабора без надлежащего берегоукрепления;
- ошибки при проектировании и строительстве водозабора, не учитывавшие естественный ход течения реки и образование перекатных участков.

К превентивным мерам ликвидации экологической напряженности со стороны подмыва берега следует отнести:

- укрепление берега реки с помощью железобетонных конструкций или каменной наброски;
- создание защитной дамбы, предотвращающей эрозию берега и направление воды в сторону от водозабора;
- рекомендацию переноса водозабора на более безопасное расстояние от берега;
- мониторинг уровней воды в реке и своевременное информирование о возможных наводнениях и образовании перекатов;
- создание системы дренажа для отвода воды из-под водозабора и предотвращения размыва;
- регулярное обслуживание и своевременный ремонт водозабора;
- использование современных доступных технологий – искусственных противоэрозионных сооружений или геосинтетических материалов для берегоукрепления и защиты водозабора [Виноградова, Иванова, 2020; Селезнева и др., 2020].

4. Микрорайон Заречье г. Сыктывкара, расположенный в излучине Сысолы в устьевом участке по левобережью Вычегды, улицы Луговая и Судоходная. Ведущие причины повреждений улиц Судоходной и Луговой – переформирование русла Вычегды после прорыва дамбы, что может привести к изменению направления течения воды и увеличению ее скорости; гидравлический удар со стороны Вычегды, способный вызвать эрозию берега и размыв улицы Луговой; резкие подъемы уровней воды в период весеннего половодья и паводков.

Мерами по устранению подмыва берега могут явиться укрепление левого берега Вычегды с помощью железобетонных конструкций или каменной наброски; создание защитной дамбы или вала для предотвращения эрозии берега и направления воды в сторону от улиц Судоходной и Луговой; по возможности – перенос строений с улицы Судоходной на более безопасное расстояние от берега при соответствующем экономическом обосновании; мониторинг критических уровней воды в реке; создание современной дренажной системы.

5. Дамба, находящаяся между Сысолой и Вычегдой. Причины возможного повреждения или разрушения дамбы: естественные гидрологические процессы сезонного колебания уровня воды, эрозия и отложение осадков; недостаточное или ненадлежащее техническое обслуживание, способное привести к ослаблению дамбы и ее разрушению; резкие повышения уровней воды вследствие высокого половодья или паводков из-за ливневых дождей. Основной мерой для устранения и предотвращения экологической напряженности является регулярное обслуживание и ремонт дамбы.

6. Прибрежная зона поселка Трехозерка в составе г. Сыктывкара. Причины повреждений прибрежных строений в поселке Трехозерка: изменение положения русла Вычегды; эрозия правого берега, а также его геологическая нестабильность, способные вызвать обвалы и осыпи, которые могут повредить прибрежные строения; повышения уровней воды вследствие высокого половодья или паводков.

Превентивными мерами для устранения подмыва берега и защиты прибрежных сооружений в поселке Трехозерка будут являться берегоукрепление с помощью железобетонных конструкций или каменной наброски; возможный перенос металлических ангаров складского назначения на более безопасное расстояние от берега; мониторинг уровней

воды в реке; создание системы дренажа для отвода воды из-под прибрежных строений и предотвращения размыва.

7. Микрорайон Парпом на левом берегу р. Вычегды, г. Сыктывкар, улица проезд Геологов в районе действующей паромной переправы. Причинами повреждений прибрежных строений могут явиться гидравлический удар протоки Шардолой, который может вызвать эрозию берега и повреждение прибрежных строений; подъемы воды в фазы половодья и паводков.

Мерами предотвращения подмыва берега и защиты прибрежных строений будут укрепление берега протоки Шардолой с помощью железобетонных конструкций или каменной наброски; создание защитной дамбы или вала; возможный перенос прибрежных строений при должном экономическом обосновании; мониторинг уровней воды в протоке; создание системы дренажа.

Заключение

Причинами экологической напряженности для исследуемой территории остаются природные факторы: размыв берегов, изменение положения русла, движение форм руслового рельефа, подтопление водами весеннего половодья. Создание карт прогноза русловых преформирований р. Вычегды на участке устье Локчима – устье Большого Тэга создает возможность для контроля проведения мониторинга появления экологической напряженности вследствие природного хода русловых процессов, а также снижения и предотвращения негативных последствий в работе инженерных сооружений с помощью ГИС-систем, способствуя, в том числе, уменьшению экономического ущерба вследствие неблагоприятных гидрологических процессов и явлений. На основании полученных карт возможно более детальное изучение эволюции русловых процессов и движения форм руслового рельефа участка; установление корреляции между развитием русловых процессов, движением форм руслового рельефа и функционированием объектов инфраструктуры; получение результатов моделирования русловых процессов с использованием ГИС-систем; выявление локализации мест, опасных для инженерных конструкций, наиболее подверженных риску вследствие неблагоприятного развития русловых процессов, опасных для инфраструктурных объектов. Созданные карты также могут быть полезными для планирования хозяйственной деятельности: в ближайшем будущем предполагается возрождение речного судоходства на европейском Северо-Востоке РФ. Без рационального проектирования гидротехнических работ, в частности, дноуглубления и выправления русел, это не представляется возможным.

Список источников

- Атлас Республики Коми. 2011. М., Феория, 448 с.
- Карта реки Вычегда от г. Сыктывкар до устья. 1982. Министерство речного флота РСФСР. Северное БУП, 441: Лист 30–31.
- Карта реки Вычегда от г. Сыктывкар до устья. 1992. Российский государственный концерн речного флота (Росречфлот). Главводпуть. Гос. предприятие «Водные пути Северного бассейна», 260: Лист 32–35.
- Карта «Русловые процессы на реках СССР». 1990. Карты: 1:4 000 000, 40 км в 1 см. отв. ред. Т.Г. Сваткова. Москва, Государственное управление геодезии и картографии.
- Перечень внутренних водных путей, эксплуатируемых Министерством речного флота РСФСР. 1969. Москва, Изд-во «Транспорт».
- Ресурсы поверхностных вод СССР. 3 том (Северный край). 1972. Лен., Гидрометеиздат, 418 с.
- Федеральная служба государственной статистики РФ, «Численность населения по муниципальным образованиям Республики Коми по полу и возрасту на 1 января 2024 года». Электронный ресурс. URL: <https://11.rosstat.gov.ru/population?ysclid=m6dz6hs4458877> (дата обращения: 26.01.2025).
- EartExplorer. Electronic resource. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (date of access: 13.04.2025).

Список литературы

- Агеева В.В., Люкина Е.А., Матюгин М.А. 2022. Мероприятия по снижению негативного воздействия на гидрологические и судоходные условия реки при разработке руслового карьера выправительными сооружениями. Научные проблемы водного транспорта, 71(2): 199–212. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi71.257>
- Алали Х. 2024. Геоинформационные системы в исследовании гидрологических характеристик рек и озер. Журнал передовых исследований в области технических наук, 44: 34–36. <https://doi.org/10.26160/2474-5901-2024-44-34-36>
- Алфёров И.Н., Яковенко Н.В. 2015. Измененность русла бассейна реки Урал под антропогенным воздействием. Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева, 2(24): 126–133.
- Барышников Н.Б., Польцина Е.В., Кузнецова Е.Н. 2006. Антропогенное воздействие на пойменные процессы. В кн.: Пойма и пойменные процессы. СПб., Российский государственный гидрометеорологический университет: 39–47.
- Беркович К.М. 2010. Направленные антропогенные деформации русел равнинных рек. Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова, 2(6): 52–55.
- Беркович К.М., Чалов Р.С., Злотина Л.В., Чернов А.В. 2001. Принципы и методы оценки и районирования России по экологической напряженности русел и пойм рек. Труды Академии проблем водохозяйственных наук. Русловедение и гидроэкология, 7: 50–59.
- Борщ С.В., Колий В.М., Семенова Н.К., Симонов Ю.А., Христофоров А.В. 2021. Возможность прогнозирования стока рек России методом экстраполяции гидрографа в зависимости от характеристик их водосборов. Гидрометеорологические исследования и прогнозы, 3(381): 115–130. <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2021-3-115-130>
- Буравская М.Н., Голубева Ю.В., Марченко-Вагапова Т.И. 2012. Расчленение старичных отложений в обнажении Седкыркеш (среднее течение р. Вычегды) по результатам комплексного анализа. Известия Коми научного центра УрО РАН, 2(10): 84–97.
- Виноградова Л.И., Иванова О.И. 2020. Способы применения берегозащитных конструкций в гидротехническом и гидромелиоративном строительстве. Международный сельскохозяйственный журнал, 63(6): 10–16. <https://doi.org/10.24411/2588-0209-2020-10227>
- Геер В., Карлиз Дж., Неррл Т., Брукс К., Митина Н.Н. 2002. Влияние характеристик русла на устойчивость речных берегов при катастрофическом паводке. Аридные экосистемы, 8(16): 40–46.
- Денисова И.В. 2006. Экологическое состояние Велико-Устюгского и Котласского водных узлов (русловой аспект). Дис. ... канд. геогр. наук. СПб., 170 с.
- Денисова И.В. 2021. Проблемы выделения границ водоохранных зон Вычегды от г. Сыктывкара до устья. Региональные геосистемы, 45(4): 590–600. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2021-45-4-590-600>
- Денисова И.В. 2021. Факторы экологической напряженности нижнего и среднего течения Вычегды в контексте руслового аспекта. Астраханский вестник экологического образования, 3(63): 24–36. <https://doi.org/10.36698/2304-5957-2021-3-24-36>
- Доброумов Б.М., Тумановская С.М. 2002. Наводнения на реках России: их формирование и районирование. Метеорология и гидрология, 12: 70–78.
- Дунаева Е.А., Попович В.Ф., Ляшевский В.И. 2015. Анализ динамики количественных и качественных характеристик водных ресурсов с использованием открытых ГИС и агрогидрологических моделей. Мелиорация и гидротехника, 1(17): 127–141.
- Жук В.А., Фролова Н.Л., Широкова В.А. 2004. Катастрофические наводнения на р.Сухона у г.Великий Устюг: причины, прогнозирование, возможность защиты. В кн.: VI всероссийский гидрологический съезд. Тезисы докладов VI Всероссийского гидрологического съезда, Санкт-Петербург, 28 сентября – 01 октября 2004. СПб., Гидрометеоиздат: 218–222.
- Ковалёв С.Н. 2023. Влияние эрозионно-русловых систем на инфраструктуру населенных пунктов европейской части России. Географический вестник, 2(65): 49–61. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2023-2-49-61>
- Михайлов В.И., Мысливчик Е.Ю. 2020. Картографическая экстраполяция как метод прогнозирования природных явлений и процессов. Наука и техника, 19(5): 407–412. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2020-19-5-407-412>

- Пархоменко Н.А., Гоман В.А. 2021. Мониторинг изменения русла рек Западной Сибири с использованием результатов дистанционного зондирования. Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ, 2(25): 7–14.
- Рыбак В.А. 2022. Технология мониторинга русловых процессов и гидрологического режима рек с использованием данных дистанционного зондирования Земли. В кн.: Актуальные вопросы и векторы развития современной науки и технологий. Петрозаводск, Международный центр научного партнерства «Новая Наука»: 23–61.
- Селезнева Н.В., Колосов М.А., Боровков С.В. 2020. Инженерная защита берегов и населенных пунктов от негативного воздействия вод. Гидротехника, 3(60): 63–67.
- Снищенко Б.Ф., Дебольский В.К., Чалов Р.С., Гладков Г.Л., Кузнецов М.С. 2004. Проблемы изучения и мониторинга руслового процесса, эрозии и стока наносов для обеспечения современных потребностей экономики. В кн.: VI Всероссийский гидрологический съезд. Тезисы докладов VI Всероссийского гидрологического съезда. Пленарное заседание, Санкт-Петербург, 28 сентября – 1 октября 2004. СПб., Гидрометеиздат: 42–47.
- Чалов Р.С. 2015. О прогнозах русловых деформаций. Геоморфология, 4: 20–30. <https://doi.org/10.15356/0435-4281-2015-4-20-30>
- Чалов Р.С., Чернов А.В., Михайлова Н.М. 2021. Опасность русловых процессов на реках России: критерии оценки, картографирование, региональный анализ. Географический вестник, 1(56): 53–67. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2021-1-53-67>
- Шахов И.С., Черняк В.Я. 2000. Экологические ограничения использования рек. Мелиорация и водное хозяйство, 2: 37–38.
- Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю. 1995. Влияние антропогенных факторов на сток рек бывшего СССР. Географические направления в гидрологии: 96–107.
- Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R., Hancher M., Turubanova S.A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S.V., Goetz S.J., Loveland T.R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C.O., Townshend J.R.G. 2013. High-Resolution Global Maps of 21-st-Century Forest Cover Change. Science, 342(6160): 850–853. <https://doi.org/10.1126/science.1244>
- Roy D.P., Wulder M.A., Loveland T.R., Woodcock C.E., Allen R.G., Anderson M.C., Helder D., Irons J.R., Johnson D.M., Kennedy R., Scambos T.A., Schaaf C.B., Schott J.R., Sheng Y., Vermote E.F., Belward A.S., Bindschadler R., Cohen W.B., Gao F., Hipple J.D., Hostert P., Huntington J., Justice C.O., Kilic A., Kovalskyy V., Lee Z.P., Lymburner L., Masek J.G., McCorkel J., Shuai Y., Trezza R., Vogelmann J., Wynne R.H., Zhu Z. 2014. Landsat-8: Science and Product Vision for Terrestrial Global Change Research. Remote Sensing of Environment, 145: 154–172. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.001>

References

- Ageeva V.V., Lyukina E.A., Matyugin M.A. 2022. Measures to Reduce the Negative Impact on the Hydrological and Navigational Conditions of the River During the Development of a Channel Quarry by Correctional Facilities. Russian Journal of Water Transport, 71(2): 199–212 (in Russian). <https://doi.org/10.37890/jwt.vi71.257>
- Alali H. 2024. Geoinformation Systems in the Study of Hydrological Characteristics of Rivers and Lakes. Journal of Advanced Research in Technical Science, 44: 34–36 (in Russian). <https://doi.org/10.26160/2474-5901-2024-44-34-36>
- Alferov I.N., Yakovenko N.V. 2015. Modifications of Ural River Basin Channels Under Anthropogenic Impact. Vestnik of Volzhsky University named after V.N. Tatishchev, 2(24): 126–133 (in Russian).
- Baryshnikov N.B., Pol'eina E.V., Kuznecova E.N. 2006. Antropogennoe vozdejstvie na pojmnnyye process [Anthropogenic Impact on Floodplain Processes]. In: Pojma i pojmnnyye process [Floodplain and Floodplain Processes]. St. Petersburg, Publ. Rossiyskiy gosudarstvennyy gidrometeorologicheskiiy universitet: 39–47.
- Berkovich K.M. 2010. Napravlennoye antropogennyye deformacii rusel ravninnyh rek [Directional Anthropogenic Channel Deformations of Lowland Rivers]. Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova, 2(6): 52–55.
- Berkovich K.M., Chalov R.S., Zlotina L.V., Chernov A.V. 2001. Principy i metody ocenki i rajonirovaniya Rossii po ekologicheskoy napryazhennosti rusel i pojm rek [Principles and Methods of Assessment and



- Zoning of Russia According to the Ecological Tension of Riverbeds and Floodplains]. *Trudy Akademii problem vodohozyajstvennyh nauk. Ruslovedenie i gidroekologiya*, 7: 50–59.
- Borsch S.V., Koliy V.M., Semenova N.K., Simonov Yu.A., Khristoforov A.V. 2021. Assessment of Runoff Predictability for the Russian Rivers Depending on their Catchment Characteristics by the Hydrograph Extrapolation Method. *Hydrometeorological Research and Forecasting*, 3(381): 115–130 (in Russian). <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2021-3-115-130>
- Buravskaya M.N., Golubeva Yu.V., Marchenko-Vagapova T.I. 2012. Separation of Holocene Sediments at the Sedkyrkeshch Section (the Middle Vychegda River) Based on Integrated Analysis. *Processing of the Komi Science Centre, Ural Branch, Russian Academy of Sciences*, 2(10): 84–97 (in Russian).
- Vinogradova L.I., Ivanova O.I. 2020. Methods of Application of Coastal Protection Structures in Hydrotechnical and Hydro-Reclamation Construction. *International agricultural journal*, 63(6): 10–16 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/2588-0209-2020-10227>
- Geyer W., Carlisle J., Nepl T., Brooks K., Mitina N. 2002. Stream Characteristics Affecting Bank Stability During a Major Flooding Event. *Arid ecosystems*, 8(16): 40–46.
- Denisova I.V. 2006. *Ekologicheskoe sostoyanie Veliko-Ustyugskogo i Kotlasskogo vodnyh uzlov (ruslovoj aspekt) [Environmental Status of the Veliko-Ustyug and Kotlas Water Junctions (Riverbed Aspect)]*. Dis. ... cand. geogr. sciences. St. Petersburg, 170 p.
- Denisova I.V. 2021. Problems of Allocation of Borders of Water Protection Areas of Vychegda River from Syktyvkar City to the Mouth. *Regional Geosystems*, 45(4): 590–600 (in Russian). <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2021-45-4-590-600>
- Denisova I.V. 2021 Factors of Ecological Tension of the Lower and Middle Reaches of the Vychegda in the Context of the Channel Aspect. *Astrakhan Bulletin for Environmental Education*, 3(63): 24–36 (in Russian). <https://doi.org/10.36698/2304-5957-2021-3-24-36>
- Dobroumov B.M., Tumanovskaya S.M. 2002. Navodneniya na rekah Rossii: ih formirovanie i rajonirovanie [Floods on Russian Rivers: their Formation and Zoning]. *Meteorologiya i gidrologiya*, 12: 70–78.
- Dunaieva E.A., Popovych V.F., Lyashevskiy V.I. 2015. Dynamics Analysis of Quantitive and Qualitative Sharacteristecs of Water Resources Using Open GIS and Agro-Hydrological Models. *Melioraciya i gidrotekhnika*, 1(17): 127–141 (in Russian).
- Zhuk V.A., Frolova N.L., Shirokova V.A. 2004. Katastroficheskie navodneniya na r.Suhona u g.Velikij Ustyug: prichiny, prognozirovanie, vozmozhnost' zashchity [Catastrophic Floods on the Sukhona River Near Veliky Ustyug: Causes, Forecasting, Possibility of Protection]. In: VI vserossiyskiy gidrologicheskii syezd [VI All-Russian Hydrological Congress]. Abstracts of the reports of the VI All-Russian Hydrological Congress, St. Petersburg, 28 September – 1 October 2004. St. Petersburg, Publ. Gidrometeoizdat: 218–222
- Kovalev S.N. 2023. The Impact of Erosion-Channel Systems on the Infrastructure of Settlements in the European Part of Russia. *Geographical Bulletin*, 2(65): 49–61 (in Russian). <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2023-2-49-61>
- Mikhailov V.I., Myslivchik E.Yu. 2020. Cartographic Extrapolation as Method for Forecasting Natural Phenomena and Processes. *Science and Technique*, 19(5): 407–412 (in Russian). <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2020-19-5-407-412>
- Parkhomenko N.A., Goman V.A. 2021. Monitoring of Changes in the Riverbed of Western Siberia Using Remote Sensing Results. *Elektronnyj nauchno-metodicheskij zhurnal Omskogo GAU*, 2(25): 7–14 (in Russian).
- Rybak V.A. 2022. Technology for Monitoring Runner Processes and Hydrological Regime of Rivers Using Earth Remote Sensing Data. In: *Current Issues and Vectors of Development of Modern Science and Technology*. Petrozavodsk, Publ. Mezhdunarodnyy tsentr nauchnogo partnerstva «Novaya Nauka»: 23–61 (in Russian).
- Selezneva N.V., Kolosov M.A., Borovkov S.V. 2020. Engineering Protection of Banks and Settlements from Negative Impact of Flooding. *The Hydrotechnika*, 3(60): 63–67 (in Russian).
- Snishchenko B.F., Debolskiy V.K., Chalov R.S., Gladkov G.L., Kuznetsov M.S. 2004. Problemy izucheniya i monitoringa ruslovogo processa, erozii i stoka nanosov dlya obespecheniya sovremennyh potrebnostej ekonomiki [Problems of Studying and Monitoring the Riverbed Process, Erosion and Sediment Runoff to Meet Modern Economic Needs]. In: VI Vserossiyskiy

- gidrologicheskiy syezd [VI All-Russian Hydrological Congress]. Abstracts of the reports of the VI All-Russian Hydrological Congress. Plenary session, St. Petersburg, 28 September – 1 October 2004. St. Petersburg, Publ. Gidrometeoizdat: 42–47.
- Chalov R.S. 2015. On the Channel Deformations Forecasting. *Geomorfologiya*, 4: 20–30 (in Russian). <https://doi.org/10.15356/0435-4281-2015-4-20-30>
- Chalov R.S., Chernov A.V., Mihajlova N.M. 2021. Danger of Riverbed Processes on Russian Rivers: Assessment Criteria, Mapping, Regional Analysis. *Geographical Bulletin*, 1(56): 53–67 (in Russian). <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2021-1-53-67>
- Shahov I.S., Chernyak V.YA. 2000. *Ekologicheskie ograniceniya ispol'zovaniya rek* [Environmental restrictions on the use of rivers]. *Melioraciya i vodnoe hozyajstvo*, 2: 37–38.
- Shiklomanov I.A., Georgievskij V.Yu. 1995. Vliyanie antropogennykh faktorov na stok rek byvshego SSSR [The Influence of Anthropogenic Factors on the Flow of Rivers of the Former USSR]. *Geograficheskie napravleniya v gidrologii*: 96–107.
- Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R., Hancher M., Turubanova S.A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S.V., Goetz S.J., Loveland T.R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C.O., Townshend J.R.G. 2013. High-Resolution Global Maps of 21-st-Century Forest Cover Change. *Science*, 342(6160): 850–853. <https://doi.org/10.1126/science.1244>
- Roy D.P., Wulder M.A., Loveland T.R., Woodcock C.E., Allen R.G., Anderson M.C., Helder D., Irons J.R., Johnson D.M., Kennedy R., Scambos T.A., Schaaf C.B., Schott J.R., Sheng Y., Vermote E.F., Belward A.S., Bindschadler R., Cohen W.B., Gao F., Hipple J.D., Hostert P., Huntington J., Justice C.O., Kilic A., Kovalskyy V., Lee Z.P., Lymburner L., Masek J.G., McCorkel J., Shuai Y., Trezza R., Vogelmann J., Wynne R.H., Zhu Z. 2014. Landsat-8: Science and Product Vision for Terrestrial Global Change Research. *Remote Sensing of Environment*, 145: 154–172. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.001>

*Поступила в редакцию 21.02.2025;
поступила после рецензирования 23.03.2025;
принята к публикации 10.05.2025*

*Received February 21, 2025;
Revised March 23, 2025;
Accepted May 10, 2025*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Боровлев Александр Юрьевич, старший преподаватель кафедры экологии и геологии Института естественных наук, Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, г. Сыктывкар, Россия

Денисова Илона Владимировна, кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры экологии и геологии Института естественных наук, Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, г. Сыктывкар, Россия

Новиков Артем Дмитриевич, магистрант кафедры экологии и геологии Института естественных наук, Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, г. Сыктывкар, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexander Yu. Borovlev, Senior Lecturer of the Department of Ecology and Geology, Institute of Natural Sciences, Pitirim Sorokin Syktyvkar State University, Syktyvkar, Russia

Iлона V. Denisova, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Ecology and Geology, Institute of Natural Sciences, Pitirim Sorokin Syktyvkar State University, Syktyvkar, Russia

Artyom D. Novikov, Master's student of the Department of Ecology and Geology, Institute of Natural Sciences, Pitirim Sorokin Syktyvkar State University, Syktyvkar, Russia