



ЭРОЗИЯ ПОЧВ И РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

SOIL EROSION AND RIVER CHANNEL PROCESSES

№ 1

январь – март 2025 г.

No. 1

January – March 2025

ЭРОЗИЯ ПОЧВ И РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ. М. – 2025. – № 1. – 107 с.

Журнал освещает вопросы исследования:

- теоретических и экспериментальных механизмов эрозионных и русловых процессов;
- проявления эрозии и русловых процессов в различных природных и природно-антропогенных условиях;
- формирования и движения речных наносов, их геохимических и экологических проявлений;
- исследования эффективности различных средств борьбы с эрозией;
- управления русловыми процессами и регулирования русел рек;
- устьевых процессов;
- воздействия хозяйственной деятельности на эрозионно-русловые системы.

Журнал координируется Межвузовским научно-координационным советом по эрозионным, русловым и устьевым процессам и лабораторией эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

СОСТАВ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ ЖУРНАЛА «ЭРОЗИЯ ПОЧВ И РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ»

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

С.Р. Чалов – д-р геогр. наук, профессор кафедры гидрологии суши, заведующий научно-исследовательской лабораторией эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева, географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова (г. Москва, Россия)

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

О.А. Макаров – д-р биол. наук, заведующий кафедрой эрозии и охраны почв, факультет почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова (г. Москва, Россия)

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

М.М. Иванов – канд. геогр. наук, лаборатория эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева, географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, старший научный сотрудник (г. Москва, Россия)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д-р техн. наук **В.В. Беликов**, заведующий лабораторией численного гидродинамического моделирования, главный научный сотрудник, Институт водных проблем РАН (г. Москва, Россия)

канд. геогр. наук **Ю.Р. Беляев**, кафедра геоморфологии и палеогеографии, географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, доцент (г. Москва, Россия)

д-р техн. наук **Г.Л. Гладков**, кафедра водных путей и водных изысканий, Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, заведующий (г. Санкт-Петербург, Россия)

д-р геогр. наук **В.Н. Голосов**, лаборатория эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева, географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, ведущий научный сотрудник (г. Москва, Россия)

д-р **А.К. Дарвишан**, кафедра управления водосборными бассейнами, факультет природных ресурсов, Университет Тарбиат Модарес, профессор (г. Тегеран, Иран)

д-р биол. наук **В.В. Демидов**, кафедра эрозии и охраны почв, факультет почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, профессор (г. Москва, Россия)

д-р геогр. наук **О.П. Ермолаев**, кафедра ландшафтной экологии, Институт экологии, биотехнологии и природопользования, Казанский федеральный университет, профессор (г. Казань, Россия)

канд. геогр. наук **А.П. Жидкин**, лаборатория эрозии почв, Почвенный институт им. В.В. Докучаева, заведующий (г. Москва, Россия)

канд. геогр. наук **А.С. Завадский**, лаборатория эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева, географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, ведущий научный сотрудник (г. Москва, Россия)

д-р **М. Златич**, факультет лесного хозяйства, Белградский университет, профессор (г. Белград, Сербия)

канд. техн. наук **В.М. Католиков**, отдел русловых процессов, Государственный гидрологический институт, заведующий (г. Санкт-Петербург, Россия)

д-р биол. наук **Г.С. Куст**, отдел физической географии и проблем природопользования, Институт географии РАН, главный научный сотрудник (г. Москва, Россия)

д-р **Э. Латрубесс**, программа аспирантуры по экологическим наукам, Федеральный университет штата Гояс, профессор (г. Гояния, Бразилия)

д-р геогр. наук **Ф.Н. Лисецкий**, кафедра природопользования и земельного кадастра, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, профессор (г. Белгород, Россия)

д-р **Лю Шугуан**, кафедра гидротехники, факультет гражданского строительства, Университет Тунцзи, профессор (г. Шанхай, Китай)

д-р **М. Маеркер**, факультет наук о Земле и окружающей среде, Павийский университет, профессор (г. Павия, Италия)

д-р **Ж. Минелла**, кафедра почвоведения, Федеральный университет Санта-Марии, профессор (г. Санта-Мария, Бразилия)

чл.-корр. РАН, д-р геогр. наук **А.В. Панин**, отдел палеогеографии четвертичного периода, Институт географии РАН, заведующий, заместитель директора (г. Москва, Россия)

д-р **С.Х. Садеги**, кафедра управления водосборными бассейнами, факультет природных ресурсов, Университет Тарбиат Модарес, профессор (г. Тегеран, Иран)

д-р геогр. наук **А.Ю. Сидорчук**, лаборатория эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева, географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, ведущий научный сотрудник (г. Москва, Россия)

д-р **В. Спалевич**, биотехнический факультет, Университет Черногории, профессор (г. Подгорица, Черногория)

д-р **А. Цыпленков**, научно-исследовательский институт «Manaaki Whenua – Landcare Research», научный сотрудник (г. Палмерстон Норт, Новая Зеландия)

д-р геогр. наук **Р.С. Чалов**, кафедра гидрологии суши, географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, профессор (г. Москва, Россия)

канд. с.-х. наук **А.Н. Червань**, кафедра почвоведения и ГИС, факультет географии и геоинформатики, Белорусский государственный университет, заведующий (г. Минск, Беларусь)

д-р **М. Шлеттерер**, институт гидробиологии и управления водными экосистемами, Университет природных ресурсов и наук о жизни, профессор (г. Вена, Австрия)

КООРДИНАТОР РЕДАКЦИИ

канд. геогр. наук **Е.Д. Павлюкевич**, лаборатория эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева, географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова (г. Москва, Россия)

РЕДАКТОР-КОРРЕКТОР **Р.М. Синаюк**

ОРИГИНАЛ-МАКЕТ И ДИЗАЙН **Л.В. Езерова**

ФОТО НА 1-й ОБЛОЖКЕ: река Анадырь, июнь 2024 года
(фото Школьного Данилы Игоревича, н.с. кафедры гидрологии суши и НИЛ эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева, географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова)

АДРЕС РЕДАКЦИИ

119619 Россия, Москва, улица Лазенки 6-я, д. 2, стр. 15

E-mail: erpr@geogr.msu.ru

Сайт: <https://journal.sediment.ru/>

УЧРЕДИТЕЛЬ

Общество с ограниченной ответственностью «Экспертная лаборатория
«Гидроинформационные системы»

© Редколлегия журнала «Эрозия почв и русловые процессы» (составитель), 2025

© ООО «Экспертная лаборатория

«Гидроинформационные системы», 2025

ISSN (PRINT) 3034-4638

Журнал основан в 2024 году
Периодичность издания — 4 раза в год

The journal covers issues of research of theoretical and experimental mechanisms of erosion and channel processes, manifestations of erosion and channel processes in various natural and natural-anthropogenic conditions, development of new methods of combating erosion applicable to various branches of the economy and research of efficiency of various means of combating erosion. The journal is coordinated by the Interuniversity Scientific Coordination Council on Erosion, Channel and Estuary Processes.

EDITORIAL BOARD

EDITOR-IN-CHIEF
Prof. Dr. S.R. Chalov

DEPUTY OF THE EDITOR-IN-CHIEF
Prof. Dr. O.A. Makarov

EDITORIAL SECRETARY
Dr. M.M. Ivanov

EDITORIAL BOARD

Dr. V.V. Belikov, Dr. Yu.R. Belyaev, Prof. Dr. R.S. Chalov, Dr. A.N. Chervan, Dr. A.K. Darvishan (Iran),
Prof. Dr. V.V. Demidov, Prof. Dr. O.P. Ermolaev, Prof. Dr. G.N. Gladkov, Dr. V.N. Golosov, Dr. G.S. Kust,
Prof. Dr. E. Latrubesse (Brazil), Prof. Dr. F.N. Lisetsky, Prof. Dr. M. Maerker (Italy), Prof. Dr. J.P.G. Minella (Brazil),
Dr. A.V. Panin, Prof. Dr. S.H. Sadeghi (Iran), Prof. Dr. M. Schletterer (Austria), Prof. Dr. Liu Shuguang (China),
Dr. A.Yu. Sidorchuk, Prof. Dr. V. Spalevic (Montenegro), Dr. A. Tsyplenkov (New Zealand), Dr. A.S. Zavadsky,
Dr. A.P. Zhidkin, Prof. Dr. M. Zlatic (Serbia)

EDITORIAL COORDINATOR
Dr. E.D. Pavlyukevich

EDITOR R.M. Sinaiuk

ORIGINAL LAYOUT AND DESIGN L.V. Ezerova

PHOTO ON THE 1ST COVER – Anadyr River, June 2024

(photo by Danila Shkolnyi, researcher of the Department of Land Hydrology and The Makkaveev laboratory of Soil Erosion and River Channel Processes, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University)

EDITORIAL OFFICE ADDRESS

119619 Russia, Moscow, st. Lazenki 6, 2, build. 15
E-mail: eprp@geogr.msu.ru

<https://journal.sediment.ru/>

FOUNDER

Limited Liability Company “Expert Laboratory
“Hydroinformational Systems”

© Editorial Board of the journal “Soil Erosion and River
Channel Processes” (editor-compiler), 2025

© Expert Laboratory “Hydroinformational Systems” LLC, 2025

ОТ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Этот номер представляет собой тематический сборник трудов членов Межвузовского научно-координационного совета по эрозионным, русловым и устьевым процессам. Всего за историю Совета было выпущено семь таких сборников, имевших название «Эрозионные и русловые процессы». Последний, седьмой сборник вышел в свет в 2020 году. Все статьи сборника доступны на сайте Совета sediment.ru, а также в системе РИНЦ. Фактически данный номер журнала, как и следующий (№ 2 за 2025 год), – прямое продолжение этих сборников, но уже в формате периодического издания. В связи с этим номер открывает редакционная заметка, посвященная Совету, его жизни в последние годы.

В данный номер журнала вошло восемь статей, представляющих труды ученых МГУ имени М.В. Ломоносова, Уфимского государственного университета науки и технологий, Удмуртского государственного университета, Нижегородского государственного педагогического университета имени К. Минина, Рязанского государственного университета имени С.А. Есенина и Брянского государственного университета имени И.Г. Петровского.

Номер имеет русловую направленность. Сразу в трех статьях приведен анализ результатов стационарных наблюдений за эрозией берегов – на реках Удмуртии, в бассейне р. Кудьмы и на одном из участков р. Оки. Две статьи посвящены аспектам изучения пойм. Кроме того в номер вошли статьи, где изложены гидролого-экологическая характеристика малых рек бассейна р. Урал и методические аспекты картографирования устьевых систем.

*Профессор, д.г.н.,
заведующий НИЛ эрозии почв и русловых процессов
им. Н.И. Маккавеева*

С.Р. Чалов



СОДЕРЖАНИЕ

Р.С. Чалов, С.Р. Чалов, А.В. Чернов, Н.М. Михайлова. МЕЖВУЗОВСКАЯ КООРДИНАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭРОЗИОННЫХ И РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ: ИТОГИ 2021–2025 гг., ПРОБЛЕМЫ, ПУТИ РЕШЕНИЯ	8
В.В. Сурков, Д.В. Ботавин. ФОРМИРОВАНИЕ, ЭВОЛЮЦИЯ И МОРФОЛОГИЯ ПОЙМ РЕК С РАЗВЕТВЛЕННЫМ РУСЛОМ	14
А.М. Гареев. ГИДРОЛОГО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАЛЫХ РЕК БАССЕЙНА р. УРАЛ (в пределах России)	32
И.И. Рысин, И.И. Григорьев, Л.Н. Петухова. ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ РУСЛОВЫЕ ДЕФОРМАЦИИ НА РЕКАХ УДМУРТИИ	46
А.Л. Варенов. ДЕФОРМАЦИИ РУСЕЛ МАЛЫХ РЕК БАССЕЙНА КУДЬМЫ И ИХ СВЯЗЬ С ФАКТОРАМИ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ (по данным стационарных наблюдений за 2010–2023 гг.)	61
А.Ю. Воробьев, А.С. Кадыров, Д.С. Локтеев, Е.В. Бургов, А.А. Балобина. РЕЗУЛЬТАТЫ ЛОКАЛЬНОГО ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА БОКОВОЙ ЭРОЗИИ р. ОКИ	73
Г.В. Лобанов, Г.В. Чекин. ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОЙМЕННОГО АЛЛЮВИЯ В СРЕДНЕМ И ВЕРХНЕМ ТЕЧЕНИИ р. ДЕСНЫ И ФАКТОРЫ, ЕГО ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ	96
В.Н. Коротаев, Е.Р. Чалова. МЕТОДИКА СОСТАВЛЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ АТЛАСОВ ПО РУСЛОВОЙ МОРФОДИНАМИКЕ И ГЕОМОРФОЛОГИИ УСТЬЕВЫХ СИСТЕМ РЕК РОССИИ	101



CONTENTS

R.S. Chalov, S.R. Chalov, A.V. Chernov, N.M. Mikhaylova. INTERUNIVERSITY MANAGEMENT ON EROSION AND CHANNEL PROCESSES RESEARCH: RESULTS OF THE 2021–2025, PROBLEMS, SOLUTIONS	8
V.V. Surkov, D.V. Botavin. FORMATION, EVOLUTION AND MORPHOLOGY OF FLOODPLAINS OF RIVERS WITH A BRANCHED CHANNEL	14
A.M. Gareev. HYDROLOGICAL-ECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF SMALL RIVERS OF THE URAL RIVER BASIN (within Russia)	32
I.I. Rysin, I.I. Grigorev, L.N. Petukhova. HORIZONTAL CHANNEL EROSION ON THE RIVERS OF UDMURTIA	46
A.L. Varenov. CHANGES OF SMALL RIVERS CHANNELS IN THE KUDMA BASIN AND THEIR RELATIONSHIP WITH FACTORS OF CHANNEL PROCESSES (based on stationary observations from 2010 to 2023)	61
A.Y. Vorobyov, A.S. Kadyrov, D.S. Lokteev, E.V. Burgov, A.A. Balobina. RESULTS OF LOCAL GEODETIC MONITORING OF LATERAL EROSION OF THE OKA RIVER	73
G.V. Lobanov, G.V. Chekin. DISTRIBUTION OF THE GRANULOMETRIC COMPOSITION OF FLOODPLAIN ALLUVIUM IN THE MIDDLE AND UPPER REACHES OF THE DESNA RIVER AND ITS DETERMINING FACTORS	96
V.N. Korotaev, E.R. Chalova. METHODOLOGY FOR PREPARING SPECIAL GEOGRAPHICAL ATLASES ON CHANNEL MORPHODYNAMICS AND GEOMORPHOLOGY OF ESTUARINE RIVER SYSTEMS IN RUSSIA	101

УДК 661.6

МЕЖВУЗОВСКАЯ КООРДИНАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭРОЗИОННЫХ И РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ: ИТОГИ 2021–2025 гг., ПРОБЛЕМЫ, ПУТИ РЕШЕНИЯ

Р.С. Чалов, С.Р. Чалов, А.В. Чернов, Н.М. Михайлова

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Межвузовский научно-координационный совет по проблеме эрозионных,
русловых и устьевых процессов*

rschalov@mail.ru

Поступила в редакцию 09.02.2025

После доработки 14.02.2025

Принята к публикации 20.03.2025

Аннотация. В статье дается оценка мероприятий, проведенных Межвузовским научно-координационным советом по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов при МГУ имени М.В. Ломоносова за последние 5 лет (2021–2025) и являющихся логическим продолжением деятельности Совета на протяжении 40 лет его существования. Рассматриваются проблемы, связанные с работой Совета, и задачи, стоящие перед ним на ближайшую перспективу.

Ключевые слова: Межвузовский совет, эрозия почв, овражная эрозия, русловые процессы, координация, планы работы

DOI: [10.71367/3034-4638-2025-2-1-8-13](https://doi.org/10.71367/3034-4638-2025-2-1-8-13)

Межвузовский научно-координационный совет по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов (МНКС) при МГУ имени М.В. Ломоносова в 2025 г. отмечает свое 40-летие, проводя XL Всероссийскую научную межвузовскую конференцию с международным участием. Будучи созданным как раздел темы в плане НИР Минвуза СССР и претерпев несколько изменений своего статуса в связи с происходящими в стране событиями, Совет, не прекращая своей деятельности, проводил ежегодные пленарные совещания (ныне они трансформированы во Всероссийские конференции), расширял сферу деятельности, публиковал материалы (результаты) исследований вузов, им объединяемых. Итоги работы МНКС за каждые 5 лет, начиная с первого десятилетия, оформлялись в виде статей в издаваемых сборниках «Эрозионные и русловые процессы» (выпуски 2–7 [Чалов, 1996; Чалов, Рулева, 2000; Чалов и др., 2005; Рулева, Чалов, 2010, 2015; Чалов и др., 2020]), а также в статьях-информациях в «Вестнике Московского университета. Сер. 5. География» (Рулева, Чалов, 1995; Чалов, 2005) и опубликованных отчетных докладах на пленарных совещаниях в сборниках, подготовленных к их проведению, в которых до-

статочно подробно описаны история его создания, направления исследований и их координации, дана полная информация обо всех мероприятиях, проводимых Советом (Чалов, 2005, 2014, 2015).

Деятельность Совета за последнее пятилетие (2021–2025 гг.) явилась логическим продолжением той работы, которую Совет проводил на протяжении 40 лет, хотя за это время появлялись новые тенденции в его функционировании и приходилось преодолевать различные трудности, со временем усугубляющиеся, в организации мероприятий Совета. Тем не менее план работы был в основном выполнен, хотя и с некоторыми его корректировками и «потерями». В октябре 2023 г. на XXXVIII пленарном совещании в г. Перми было принято решение о переименовании пленарных совещаний во Всероссийские научные межвузовские конференции с международным участием в связи с отказом учитывать доклады на совещаниях во всевозможных рейтинговых оценках и научных фондах. Ко времени написания настоящего «отчета» состоялось 4 пленарных совещания — Всероссийские конференции с международным участием: в 2021 г. — в г. Ижевске, в Удмуртском государственном университете, в 2022 г. — в г. Рязани, в Рязанском

государственном университете им. С.А. Есенина, в 2023 г. — в г. Перми, в Пермском государственном национальном исследовательском университете, в 2024 г. — в г. Чебоксарах, в Чувашском государственном университете им. И.Н. Ульянова. В 2025 г. по плану очередная юбилейная XL конференция должна состояться во вновь вступившем в число вузов, объединяемых МНКС, Южном федеральном университете (г. Ростов-на-Дону).

Все пленарные совещания (Всероссийские конференции) прошли на высоком научном и организационном уровне (в этом большая заслуга университетов-организаторов и членов Совета, представляющих в нем свои вузы, — И.И. Рысина, А.Ю. Воробьева, С.В. Копытова, И.В. Никоноровой и их коллег по факультетам и кафедрам), были своевременно к началу работы изданы материалы конференций — сборники докладов и сообщений, проведены научные экскурсии. На всех заседаниях были организованы онлайн-трансляции по сети Интернет для дистанционного участия (на платформе ZOOM или Яндекс Телемост), благодаря чему в их работе заочно участвовали, в том числе с пленарными докладами, те члены Совета, которые по тем или иным причинам не смогли приехать на конференцию. Сейчас на сайте sediment.ru запущена регистрация членов Совета, ведется работа по приглашению как ученых, так и университетов и институтов, в состав членов Совета.

Публикуемые материалы конференций содержат тексты докладов и сообщений представителей большинства университетов, объединяемых Советом, в том числе зарубежных, хотя они не присутствуют на самих заседаниях. Регулярно или периодически участвуют в работе Совета представители Белорусского государственного университета, реже — Кутаисского университета им. Акакия Церетели (Грузия); в публикациях к конференциям всегда есть работы ученых Китая и, хотя и реже, Польши, Узбекистана.

Вторым важным видом мероприятий Совета были семинары молодых ученых вузов, объединяемых Советом. В последнее 5-летие их состоялось 2 — в г. Набережные Челны, в Набережночелнинском государственном педагогическом университете (2022 г.) и в г. Брянске, в Брянском государственном университете им. академика И.Г. Петровского (2024 г.). К сожалению, не состоялся семинар в г. Казани, в Казанском (Приволжском) федеральном университете в 2021 г., куда он был перенесен из-за пандемии COVID-19 с 2020 г. По итогам обоих семинаров (теперь они тоже именуется конференциями молодых ученых, иначе публикации во всевозможных рейтинговых оценках не учитыва-

ются) изданы сборники статей, что также уже стало традицией в работе Совета.

Тематическое совещание (теперь также именуемое конференцией), согласно плану, было одно — «Палео- и историческое русловедение» — в г. Санкт-Петербурге, в Российском государственном педагогическом университете им. А.И. Герцена. Материалы его также были опубликованы в спецвыпуске журнала «Гидросфера. Опасные процессы и явления» (№ 5, 2023 г.).

В мероприятиях Совета, в первую очередь, в пленарных совещаниях (конференциях) принимали участие представители некоторых научно-исследовательских институтов. В отчетный период таковыми были ученые из Государственного гидрологического института, Института озероведения РАН, Новосильской зональной агролесомелиоративной опытной станции — филиала ФНЦ агроэкологии РАН, Института географии РАН, Тихоокеанского института географии ДВО РАН, Института водных и экологических проблем ДВО РАН, Научного центра по изучению Арктики и др.

Кроме того, Совет участвовал, уже традиционно, как соорганизатор, в проведении один раз в два года Международной научно-практической конференции «Гришанинские чтения — Водные пути и русловые процессы. Гидротехнические сооружения водных путей»: в 2021 и 2023 гг. состоялись V и VI конференции в Государственном университете морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова в г. Санкт-Петербурге. Под эгидой МНКС проходила также научно-практическая конференция в г. Уфе, в Уфимском государственном университете науки и технологий в 2024 г.: «Актуальные проблемы геологии, гидрометеорологии, географии и туризма».

Каждый год проводилось два заседания президиума Совета для обсуждения текущих дел и решения оргвопросов при выполнении плана работы Совета: одно в Москве, в МГУ, весной, как правило, в марте, второе — накануне пленарных совещаний (конференций) в университете-организаторе. Текущая деятельность заключалась в разработке и согласовании плана работы на следующее 5-летие (2026–2030 гг.), подготовке к изданию материалов конференций, решению различных организационных вопросов. Согласовано проведение XLI–XLV Всероссийских конференций Совета в Научном центре по изучению Арктики в г. Салехарде (впервые организатором межвузовской конференции станет не университет, а вновь вошедшая в состав Совета научно-исследовательская организация), Нижневарттовском государственном университете, Национальном

исследовательском Томском государственном университете, МГУ имени М.В. Ломоносова (конференция будет посвящена 60-летию образования Научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева в 2029 г.) и Волжском государственном университете водного транспорта. Предполагается, что конференции молодых ученых состоятся в Рязанском, Волгоградском социально-педагогическом и Российском педагогическом им. А.И. Герцена университетах.

В 2021–2025 гг. в число вузов, объединяемых Советом, вошли 3 новых университета, в которых проводятся исследования эрозионных и русловых процессов. Однако реально к работе в составе Совета (участию в его мероприятиях) приступил только один – Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева; кроме того, практически решен вопрос о включении в состав МНКС Южного федерального университета, и в 2025 г. в нем состоится XL конференция Совета. В период 2021–2025 гг. активно участвовали в работе, проведении мероприятий 23 университета. Это Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Астраханский, Алтайский государственные университеты, Белгородский национальный исследовательский университет, Брянский государственный университет им. академика И.Г. Петровского, Волгоградский государственный социально-педагогический университет, Удмуртский государственный, Казанский (Приволжский) федеральный университеты, Набережночелнинский государственный педагогический университет, Московская академия водного транспорта РУТ (МИИТ), Волжский и Сибирский государственные университеты водного транспорта, Нижегородский государственный педагогический университет им. Козьмы Минина, Пермский государственный национальный исследовательский, Южный федеральный, Рязанский им. С.А. Есенина, Орловский им. И.С. Тургенева университеты, Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова, Российские государственные гидрометеорологический и педагогический им. А.И. Герцена университеты, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Уфимский университет науки и технологий, Нижневартковский государственный университет (Россия), Белорусский государственный университет, Белорусский национальный технический университет (Беларусь, г. Минск), Университет Тунцзи (Китай, г. Шанхай), Государственный университет им. Акакия Церетели (Грузия, г. Кутаиси);

сохраняют определенные контакты с Советом (на уровне представления материалов для публикации в сборниках) Национальный университет Узбекистана им. Мирзо Улугбека и Каршинский инженерно-экономический институт (Узбекистан).

За последние 10 лет невосполнимой потерей для Совета стал уход из жизни ряда крупных ученых – членов Совета, с именами и трудами которых были связаны научные направления в эрозии- и русловедении и в деятельности Совета, которые не только обеспечивали участие своих коллег по университетам в конференциях и других мероприятиях, но определяли научное лицо Совета. Многие из них были членами МНКС с первых лет его функционирования: Николай Борисович Барышников (РГГМУ, г. Санкт-Петербург), бывший на протяжении более 30 лет заместителем председателя Совета, Геннадий Григорьевич Наумов (МАДИ), Геннадий Александрович Ларионов и Сергей Николаевич Ковалев (МГУ), Владимир Михайлович Ботвинков и Виталий Алексеевич Седых (СГУВТ), Александр Николаевич Кичигин (ВолГТУ), Виктор Алексеевич Брылев (ВГСПУ), Владимир Иванович Антроповский (РГПУ им. А.И. Герцена), Андрей Феликсович Черныш (Белорусский гос. университет)...

В канун 40-летия МНКС произошла смена руководства Совета, и с октября 2024 г. его председателем стал новый заведующий Научно-исследовательской лабораторией эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева, доктор географических наук, профессор кафедры гидрологии суши МГУ имени М.В. Ломоносова Сергей Романович Чалов, что неизбежно внесет новую струю в деятельность Совета. При этом основное направление в исследованиях эрозионных и русловых процессов, их развития в условиях меняющегося климата и антропогенных воздействий, изменений режима и решении связанных с ним научных и прикладных проблем традиционно остается неизменным, но, как и всегда было, с внедрением новых подходов, методов и технологий исследований. Главной задачей Совета остается координация научно-исследовательских работ в области эрозионных, русловых и устьевых процессов, выполняемых учеными вузов, но со все большим привлечением в Совет академических и отраслевых научно-исследовательских институтов. Решение стоящих задач будет осуществляться посредством: 1) организации конференций, всероссийских общих, тематических и молодежных (последние по схеме «школ для молодых ученых»); 2) проведения совместных исследований и публикаций по их результатам, в том числе в рамках специальных выпусков в ведущих отечественных и зарубежных журналах;

3) оказания методической помощи в постановке исследований и подготовке специалистов; 4) развития информационной поддержки исследований; 5) расширения направлений научной деятельности Совета и тематики исследований, в том числе по проблемам гидрогеохимии речных бассейнов и русловых процессов, инженерных вопросов речной гидротехники; 6) расширения состава вузов, привлечения к работе Совета академических и профильных институтов, увеличения персонального членства в Совете.

Успешное выполнение этих задач связано, с одной стороны, с сохранением традиций Совета, сформировавшихся на протяжении 40 лет, а с другой, с развитием новых видов деятельности, с модернизацией уже сложившихся, в том числе благодаря расширению взаимодействия с научно-исследовательскими институтами.

Важную роль в дальнейшем развитии Совета должен сыграть новый журнал «Эрозия почв и русловые процессы». Это определяет основные направления работы журнала: исследования эрозионных, русловых и устьевых процессов в различных природных условиях; физическое и компьютерное моделирование эрозии почв, овражной эрозии и русловых процессов; экологические оценки реч-

ных систем и бассейнов, научное обоснование мер борьбы с эрозией почв, предотвращения овражной эрозии, методов регулирования речных русел и морских устьев рек с обоснованием гидротехнических мероприятий.

40 лет работы Межвузовского совета и уже обсуждаемые перспективы его дальнейшего развития позволяют с оптимизмом смотреть в будущее. Это — заслуга всех вузов, в том числе выбывших по объективным причинам, профессоров, преподавателей, научных сотрудников и молодых ученых, которые на протяжении многих лет активно работали в Совете, а молодые, только начинавшие свою деятельность, за время работы в Совете стали известными учеными и специалистами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Рулева С.Н., Чалов Р.С. Межвузовская координация эрозионных, русловых и устьевых процессов // Вест. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1995. № 4. С. 94–96.

Чалов Р.С. Деятельность Межвузовского научно-координационного совета по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов за 10 лет (1986–1995 гг.) // Эрозионные и русловые процессы. Вып. 2. М.: МНКС МГУ. 1996. С. 5–12.



XXXIX конференция МНКС (Чебоксары, 7–10 октября 2024 года).
Фото Пресс-службы ЧувГУ им. И.Н. Ульянова

Чалов Р.С., Рулева С.Н. Межвузовский совет по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов: к 15-летию деятельности и итоги работы за последние 5 лет // Эрозионные и русловые процессы. Вып. 3. М.: МГУ. 2000. С. 7–14.

Чалов Р.С. 20-летие межвузовской координации исследований эрозионных, русловых и устьевых процессов // Вест. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2005. № 4. С. 49–51.

Чалов Р.С. 20-летие Межвузовского научно-координационного совета по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов (итоги деятельности) // Двадцатое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Ульяновск. 2005. С. 4–12.

Чалов Р.С., Беркович К.М., Барышников Н.Б., Рулева С.Н. Межвузовская координация исследований эрозионных, русловых и устьевых процессов // Эрозионные и русловые процессы. Вып. 4. М.: МГУ. 2005. С. 5–22.

Рулева С.Н., Чалов Р.С. Межвузовский научно-координационный совет по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов при МГУ (в цифрах и фактах по состоянию на март 2010 г.) // Эрозионные и русловые процессы. Вып. 5. М.: МАКС Пресс. 2010. С. 5–26.

Чалов Р.С. Об истории создания Межвузовского совета (воспоминания к его 25-летию) // Двадцать пятое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Доклады и сообщения. Астрахань. 2014. С. 76–78.

Рулева С.Н., Чалов Р.С. Межвузовский научно-координационный совет по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов в 2011–2015 гг. (цифры, факты и комментарии к ним) // Эрозионные

и русловые процессы. Вып. 6. М.: Географ. ф-т МГУ. 2015. С. 5–12.

Чалов Р.С. Развитие эрозио- и русловедения в университетах, объединяемых Межвузовским советом по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов: итоги научно-координационной работы за 30 лет (1986–2015 гг.) и перспективы развития // Тридцатое пленарное (юбилейное) координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Набережные Челны. 2015. С. 4–15.

Чалов Р.С., Рулева С.Н., Чернов А.В. Межвузовский совет по эрозионным и русловым процессам в последнее пятилетие (2016–2020 гг.), проблемы и перспективы // Эрозионные и русловые процессы. Вып. 7. М.: МАКС Пресс. 2020. С. 5–12.

ОБ АВТОРАХ

Чалов Роман Сергеевич. Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, доктор географических наук, профессор
rschalov@mail.ru

Чалов Сергей Романович. Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, доктор географических наук, профессор
hydroserg@mail.ru

Чернов Алексей Владимирович. Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, доктор географических наук, ведущий научный сотрудник
alexey.chernov@inbox.ru

Михайлова Надежда Михайловна. Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, кандидат географических наук, старший научный сотрудник
nmmikhailova@yandex.ru

INTERUNIVERSITY MANAGEMENT ON EROSION AND CHANNEL PROCESSES RESEARCH: RESULTS OF THE 2021–2025, PROBLEMS, SOLUTIONS

R.S. Chalov, S.R. Chalov, A.V. Chernov, N.M. Mikhaylova

*Lomonosov Moscow State University,
Interuniversity Scientific Council on erosion, channel and estuarine processes research*

Abstract. The paper provides an assessment of the activities carried out by the Interuniversity Scientific Council on erosion, channel and estuarine processes research at the Lomonosov Moscow State University over the past 5 years (2021–2025) and being a logical continuation of the Council activities over the 40 years of its existence. Problems associated with the work of the Council and purposes for the nearest future are reviewed.

Key words. Interuniversity Council, soil erosion, gully erosion, channel processes, management

REFERENCES

- Ruleva S.N., Chalov R.S. Mezhvuzovskaya koordinaciya erozionnyh, ruslovyh i ustevykh processov // Vest. Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografiya. 1995. No 4. S. 94-96.
- Chalov R.S. Deyatel'nost' mezhvuzovskogo nauchno-koordinatsionnogo soveta po probleme erozionnyh, ruslovyh i ustevykh processov za 10 let (1986–1995 gg.) // Eroziionnye i ruslovye processy. Vyp. 2. M.: MNKS MGU. 1996. S. 5–12.
- Chalov R.S., Ruleva S.N. Mezhvuzovskii sovetskiy sovet po probleme erozionnyh, ruslovyh i ustevykh processov: k 15-letiyu dyatel'nosti i itogi raboty za poslednie 5 let // Eroziionnye i ruslovye processy. Vyp. 3. M.: MGU. 2000. S.7–14.
- Chalov R.S. 20-letie mezhvuzovskoi koordinatsii issledovaniy erozionnyh, ruslovyh i ustevykh processov // Vest. Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografiya. 2005. No 4. S. 49–51.
- Chalov R.S. 20-letie Mezhvuzovskogo nauchno-koordinatsionnogo soveta po probleme erozionnyh, ruslovyh i ustevykh processov (itogi deyatel'nosti) // Dvadcatoe plenarnoe mezhvuzovskoe koordinatsionnoe sovschaniye po probleme erozionnyh, ruslovyh i ustevykh processov. Ulyanovsk. 2005. S. 4–22.
- Chalov R.S., Berkovich K.M., Barytschnikov N.B., Ruleva S.N. Mezhvuzovskaya koordinaciya issledovaniy erozionnyh, ruslovyh i ustevykh processov // Eroziionnye i ruslovye processy. Vyp. 4. M.: MGU. 2005. S. 5–22.
- Ruleva S.N., Chalov R.S. Mezhvuzovskii nauchno-koordinatsionnyi sovetskiy sovet po probleme I erozionnyh, ruslovyh i ustevykh processov pri MGU (v cifrah i faktah po sostoyaniyu na mart 2010 g) // Eroziionnye i ruslovye processy. Vyp. 5. M.: MAKS Press. 2010. S. 5–26.
- Chalov R.S. Ob istorii sozdaniya Mezhvuzovskogo soveta (vospominaniya k ego 25-letiyu) // Dvadcat' pyatoe plenarnoe mezhvuzovskoe koordinatsionnoe sovschaniye po probleme erozionnyh, ruslovyh i ustevykh processov. Doklady i soobshcheniya. Astrahan. 2014. S. 76–79.
- Ruleva S.N., Chalov R.S. Mezhvuzovskii nauchno-koordinatsionnyi sovetskiy sovet po probleme erozionnyh, ruslovyh i ustevykh processov v 2011–2015 gg. (zifry, fakty i kovvntarii k nim) // Eroziionnye i ruslovye processy. Vyp. 6. M.: Geograf. f-t MGU. 2015. S. 5–12.
- Chalov R.S. Razvitiye eroziy i rusloveleniya v universitetah, obedinyayemykh Mezhvuzovskim sovetom po probleme erozionnyh, ruslovyh i ustevykh processov: itogi nauchno-koordinatsionnoi raboty za 30 let (1986–2015 gg.) i perspektivy razvitiya. Tridzhatoe plenarnoe (yubileinoe) koordinatsionnoe sovschaniye po probleme erozionnyh, ruslovyh i ustevykh processov. Nabtrtzhnyye Chelny. 2015. S. 4–15.
- Ruleva S.N., Chalov R.S., Chernov A.V. Mezhvuzovskii sovetskiy sovet po eroziionnym i ruslovykh processov v poslednee pyatiletie (2016–2020 gg.), problemy i perspektivy // Eroziionnye i ruslovye processy. Vyp. 7. M.: MAKS Press. 2010. S. 5–12.

ABOUT THE AUTHORS

Chalov Roman Sergeevich. Lomonosov Moscow State University. Doctor of geographical sciences, Professor. rschalov@mail.ru

Chalov Sergey Romanovich. Lomonosov Moscow State University, Doctor of geographical sciences, Professor. hydroserg@mail.ru

Chernov Alexey Vladimirovich. Lomonosov Moscow State University. Doctor of geographical sciences. Leading Researcher. alexey.chernov@inbox.ru

Mikhailova Nadezhda Mikhailovna. Lomonosov Moscow State University. Candidate of geographical sciences. Senior Researcher. nmmikhailova@yandex.ru

ФОРМИРОВАНИЕ, ЭВОЛЮЦИЯ И МОРФОЛОГИЯ ПОЙМ РЕК С РАЗВЕТВЛЕННЫМ РУСЛОМ

В.В. Сурков, Д.В. Ботавин

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
географический факультет

vita.surkov@yandex.ru, dmitry_botavin@mail.ru

Поступила в редакцию 03.02.2025

После доработки 17.02.2025

Принята к публикации 25.03.2025

Аннотация. Поймы разветвленных рек разнообразны, но принципиальный механизм их формирования сходен. Образование разветвлений связано с разделением речного потока на несколько ветвей и образованием в зонах аккумуляции между динамическими осями потока осередков, которые при обсыхании в маловодный период закрепляются растительностью и превращаются в элементарные пойменные острова. Протоки между элементарными островами с течением времени мелеют и заносятся; возникает консолидированный островной массив, который при отмирании одного из основных рукавов реки присоединяется к берегу. Бывшие острова становятся широкими повышениями с относительно ровной поверхностью, протоки — ложбинами разных размеров. Морфологический облик пойм рек с разветвленным руслом многообразен, поскольку рельеф и линейные размеры его элементов, количество и характеристики бывших протоков и рукавов между островами, ландшафтная структура зависят от структуры и морфологии разветвлений, их переформирований, водоносности и гидрологического режима реки, антропогенного воздействия. В статье рассматриваются морфология, формирование и эволюция пойм в долинах разветвленных рек, характеризуются основные их типы.

Ключевые слова. Поймы, разветвленные русла, рельеф пойм, типы пойм, формирование пойм, осередки, острова, старичные ложбины

DOI: [10.71367/3034-4638-2025-2-1-14-31](https://doi.org/10.71367/3034-4638-2025-2-1-14-31)

ВВЕДЕНИЕ

Разветвленные реки формируют специфические типы пойм; в отечественной научной литературе впервые упоминание об островных поймах как об особом природном образовании встречается в труде Р.А. Еленевского (1936). К настоящему времени механизм их формирования на разветвленных реках получил физическое объяснение. Последние классификации пойм (Чалов, Чернов, 1985; Чернов, 2009; Чалов, 2011) имеют сложную блоковую структуру, показывая строгую зависимость типов и разновидностей островных пойм, их рельефа от характеристик разветвленных русел, вертикальных и горизонтальных русловых деформаций и многочисленных нефлювиальных факторов.

Ложбинно-островные, проточно-островные и другие типы пойм, развивающиеся в долинах разветвленных рек, непросты в хозяйственном использовании. Они имеют большую ширину, не-

редко — длительное затопление, идущее по всей площади поймы за счет развитой сети рукавов и протоков, сложный рисунок поперечного потока. Относительная недоступность островных территорий сдерживает освоение, обязывая строить дополнительные мосты, переправы и разветвленные сети водозащитных сооружений. Но эти же факторы способствуют сохранению естественных урочищ, определяют перспективы для организации заповедников, заказников, туристических баз и маршрутов.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЙМ

Поймы рек, разветвленных на рукава, в общем случае состоят из широких повышений с относительно ровной поверхностью, между которыми протягиваются ложбины разных размеров, изогнутые или прямолинейные. Повышения являются бывшими островами, ложбины — разделявшими их

бывшими рукавами или протоками, обмелевшими, занесенными наносами, заиленными и заросшими. Морфологический облик пойм рек с разветвленным руслом многообразен, поскольку рельеф и линейные размеры его элементов, количество и характеристики бывших проток и рукавов между островами, ландшафтная структура зависят от структуры и морфологии разветвлений, их переформирований, водоносности и гидрологического режима реки, антропогенного воздействия. Относительно ровная поверхность повышений — бывших островов часто осложняется примыкающими к центральным ядрам островных массивов сегментами с гривистым рельефом. Последние формируются при меандрировании второстепенных рукавов и проток, которые постепенно трансформируются в ложбины — короткие и длинные, узкие и широкие. Поймы могут быть обвалованными и ступенчатыми в зависимости от направленности вертикальных деформаций, разделяясь на отдельные массивы постоянно действующими

рукавами раздвоенных русел (между рукавья) или пойменно-русловых разветвлений и пойменными протоками. На пойменных массивах в разных природных условиях встречаются эоловые дюны, заболоченные или мелководные соры, мерзлотные полигоны, делювиальные шлейфы, карстовые воронки и другие формы рельефа, образованные нефлювиальными процессами.

В условиях свободного развития русловых деформаций поймы разветвленных рек шире, чем поймы меандрирующих рек из-за, как правило, меньшей водоносности последних. Максимальная ширина пойм меандрирующих рек — 12–15 км, в редких случаях больше (табл. 1); ширина пойм на больших разветвленных реках нередко превышает 30 км, достигая 60 км (на нижней Оби). Поймы рек в России занимают площадь 42 млн га (Добровольский, Балабко и др., 2011). Учитывая большие их размеры на разветвленных реках, можно оценить их площадь в 60–65% от этой величины. Только

Таблица 1. Ширина пойм на больших и крупнейших реках с разветвленным и меандрирующим руслом

Table 1. Width of floodplains on large and largest rivers with branched and meandering channels

Разветвленные реки					Меандрирующие реки				
Река — пункт	Годовой сток, км ³	Ширина поймы B_n , км	Ширина русла b_p , км	$\frac{B_n+b_p}{b_p}$	Река — пункт	Годовой сток, км ³	Ширина поймы B_n , км	Ширина русла b_p , км	$\frac{B_n+b_p}{b_p}$
Амазонка — ниже устья р. Мадейры	5300	86.8	4.2	21.7	Миссисипи — ниже г. Виксберга	504	26.8	1.5	18.9
Конго — ниже г. Лисала	650	73.4	4.3	18.0	Иртыш — с. Реполово	95	20.9	0.8	27.1
Парана — г. Росарио	480	64.2	2.2	30.2	Инд — ниже г. Хала	90	18.3	0.6	31.5
Обь, ниже устья р. Северной Сосьвы	390	58.5	3.3	18.7	Таз — выше с. Толька	35	14.6	0.4	37.5
Нигер — п. Омоку	380	36.9	1.8	21.5	Ока — выше г. Рязани	30	12.7	0.3	43.3
Волга—Ахтуба — г. Ленинск	254	34.3	1.6	22.4	Дон — ниже г. Серафимовича	25	10.5	0.3	36.0
Лена — устье р. Алдан	228	32.7	6.3	6.1	Муррей — г. Ренмарк	14	12.7	0.2	64.5
Печора — устье р. Сулы	130	41.1	1.4	30.4	Припять — у п. Кожан-Городок	6	9.0	0.1	91.0
Северная Двина — с. Холмогоры	108	15.2	2.6	6.8	Урал — выше г. Чапаева	2.8	13.0	0.2	66.0

пойма р. Оби занимает 5 млн га. В то же время относительная ширина пойм разветвленных рек $(B_n + b_p)/b_p = 20-24$, что существенно меньше, чем на меандрирующих $((B_n + b_p)/b_p = 68-121)$ (Чернов, 1983). Это, в первую очередь, связано как с большей шириной рек с разветвленным руслом, так и с большей шириной пояса активных русловых деформаций — пояса меандрирования по сравнению с поясом разветвления: изгибы и излучины рукавов в разветвлениях, в основном, пологие и развиты меньше, чем у меандрирующего русла.

Основу формирования пойм на разветвленных реках составляют осередки, с течением времени превращающиеся в *элементарные острова*. Протоки между элементарными островами постепенно мелеют, заполняются наносами; элементарные острова объединяются, формируя малые, большие и в конечном счете *островные массивы*, которые, при отмирании одного из рукавов реки, присоединяются к берегу — возникает береговая пойма.

Пойменный морфолитогенез — непрерывный процесс, который включает пять элементов: 1) формирование поймы и образование ее первичного рельефа в ходе горизонтальных деформаций русла; 2) накопление аллювия (наилка) на поверхности поймы; 3) изменение первичного рельефа эрозионно-аккумулятивной деятельностью пойменных потоков при затоплении поймы в половодье и паводки (происходит образование вторичного рельефа); 4) модификация и перестройка поймы под влиянием вертикальных русловых деформаций; 5) трансформация рельефа поймы, особенно на редко затопляемых высоких уровнях нефлювиальными экзогенными процессами. Все процессы наблюдаются одновременно, но идут с разным темпом, охватывая как всю пойму, так и отдельные ее массивы.

Формирование поймы и ее первичного рельефа в ходе деформаций русловых разветвлений

Архитектоника морфологии пойм детерминирована, с одной стороны, — характеристиками потока (водоносностью, стоком наносов, гидрологическим режимом); с другой — размерами и морфологией разветвленного русла. Морфологический тип разветвленного русла, водоносность реки и сток наносов определяют рельеф поймы (Попов, 1965; Чалов, 1966, 1970, 1973; Чернов, 1983; Злотина, 1987); при блуждании (смещениях) русла по дну долины он многократно воспроизводится на вновь формирующихся ее массивах.

Основу первичного пойменного рельефа на разветвленных реках образуют осередки, возникающие посередине русла или у берегов (при оттор-

жении побочной, их расчленении и т. д.). С течением времени большая часть осередков покрывается пионерной растительностью. Во внетропической зоне это — вейники (*Calamagrostis langsdorffii*, *C. epigeios*), мощная корневая система которых выдерживает размыв и дефляцию песков при обсыхании осередков, а ее ростки выживают даже под 50-сантиметровым слоем наносов; быстро растущие побеги ивы (ветла *Salix alba*, ракита *S. euxina*, белолоз *S. triandra*, верба или шелюга *S. acutifolia*, бредина *S. caprea*, краснотал *S. purpurea*, Гмелина *S. gmelinii*), способные переносить затопление до 150 сут.; осоки; на галечных наносах — облепиха *Hippophae rhamnoides*; на реках и в рукавах со слабым течением — разнотравье: камыш озерный *Schoenoplectus lacustris*, сабельник болотный *Comarum palustre*, рогоз *Typha angustifolia*, сусак *Butomus umbellatus*, жерушник *Rorippa amphibia*, ежеголовники *Sparganium emersum*, *S. angustifolium* и др., вегетирующие и даже цветущие в период затопления, и тростник *Phragmites communis*.

Появление растительности — необходимое условие превращения осередка в элементарный пойменный остров. Но для образования очагов зарастания, особенно древесно-кустарниковой растительности, необходимо, чтобы сроки диссеминации совпадали с обсыханием осередков. На средней Оби за 30-летний период (1956—1985 гг.) такая возможность для ивы была всего четырежды (Бокк, 1990). Закрепление побегов ивы происходит за 3—5 маловодных лет, когда повышенные части осередков не затапливаются; в противном случае растительность гибнет в следующее половодье. Поэтому возникновение устойчивых очагов зарастания — наиболее длительный и сложный этап превращения осередка в остров. Куртины пионерной растительности могут появляться на поверхности осередка каждые 2—3 года, но образование на нем сомкнутых кустарниковых сообществ занимает, при благоприятных условиях, от 10 до 30 лет. На реках с растянутым половодьем осередки выходят из-под воды глубокой осенней меженью, когда вегетационный сезон на исходе. Большие не задернованные отмели (в том числе осередки) на реках с летним половодьем, в частности, в арктических и субарктических широтах — следствие очень короткого вегетационного периода.

Укоренившаяся растительность на осередках (затапливаемые в молодом возрасте кустарники более жизнеспособны, чем поросль ивы и взрослые деревья) способствует аккумуляции тонких наносов. Зарастающий осередок быстро растет в высоту, увеличивается в размерах и превраща-

ется в элементарный пойменный остров. Темп осадконакопления на низких поймах рек с большой мутностью потока достигает 20–50 см в год. На верхней Оби (среднегодовая мутность потока 140 г/м³) осерёдки превращаются в острова через 7–20 лет в зависимости от местных особенностей русла и мощности половодий; за 20–40 лет длина молодых островов достигает 1.5 км и более при высоте 3–3.5 м над меженным уровнем (рис. 1). На реках с небольшой мутностью время формиро-

вания острова увеличивается: в нижнем течении Северной Двине (среднегодовая мутность потока у с. Усть-Пинега 37 г/м³) для трансформации песчаного осерёдка в остров высотой 5 м требуется уже около 100 лет. Например, о. Шилингский в устье р. Ваги (4 × 0.7 км) консолидировался на месте группы песчаных отмелей в 1859–1965 гг., причем только за последние 35 лет его длина возросла на 500 м, ширина — на 300 м, площадь увеличилась почти вдвое.

Заращение осерёдков возможно при средней длительности затопления менее 100 суток в году (Сурков, 1999), с условием, что продолжительность теплого периода превышает 3.5–4 месяца. Уровень, на котором формируются пионерные сообщества, зависит от типа водного режима. На реках с растянутым половодьем (алтайский, западносибирский типы водного режима) или на реках с половодьем и паводками в летний период (дальневосточный, северокавказский типы, горные реки с ледниковым питанием, реки арктической и субарктической зоны) зарастают только самые высокие части осерёдков. Например, на верхней Оби высота отмелей для появления растительности — 0.8–1.3 м над меженным уровнем при высоте поймы 4.5–5 м, на нижнем Енисее — 3.5–4 м при высоте поймы 10–11 м. На реках с коротким половодьем и низкой летне-осенней меженью (восточно-европейский, казахстанский тип) заращение начинается на низких отметках; в тиховодных рукавах илисто-песчаные отмели могут покрываться растительностью непосредственно от меженного уровня.

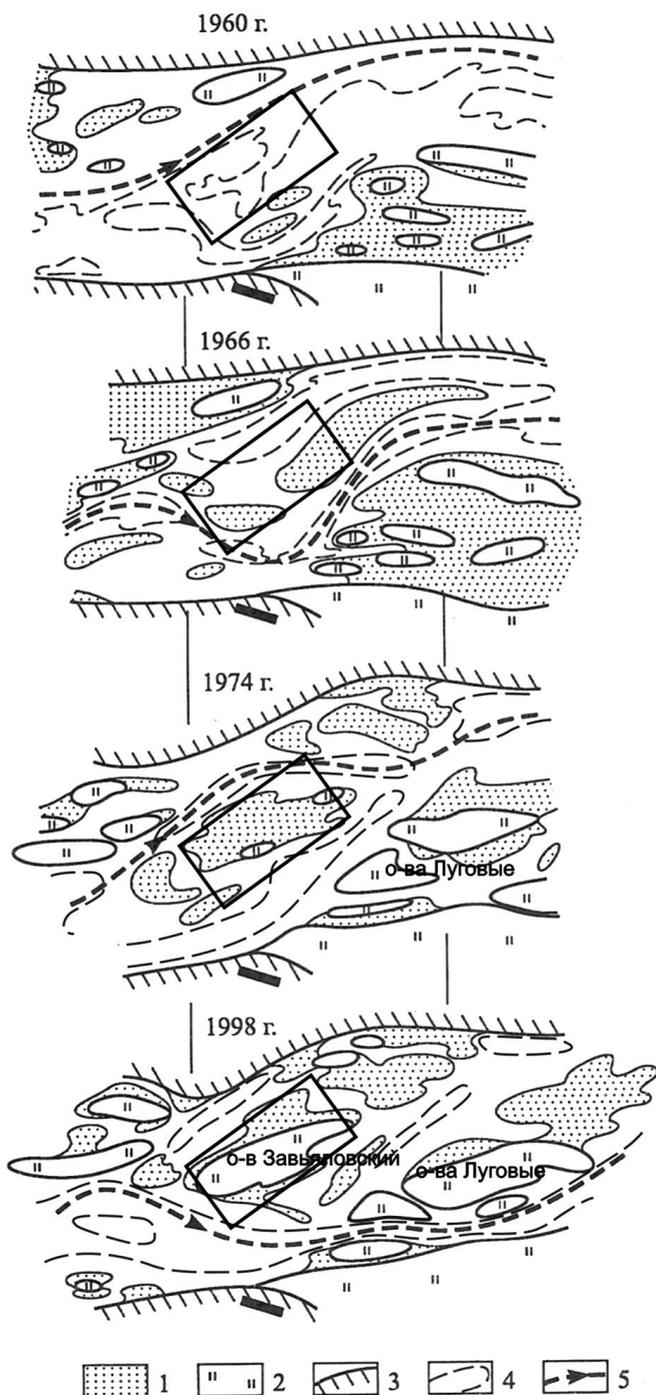


Рис. 1. Формирование о-ва Завьяловского на верхней Оби (Сурков, 1999). Планы русла: 1960 г. — подводная песчаная отмель с глубинами до 1 м над гребнем; 1966 г. — песчаные отмели высотой более 1.5 м над меженным уровнем; 1974 г. — зарастающий осерёдок высотой до 2.7 м; 1988 г. — остров высотой 2.8–3.6 м. 1 — обсыхающие в межень побочни и осерёдки; 2 — пойма; 3 — надпойменная терраса; 4 — изобата 1.5 м; 5 — стрежень потока

Fig. 1. Formation of Zavyalovsky Island on the upper Ob (Surkov, 1999). Riverbed plans: 1960 — underwater sandbank with depths up to 1 m above the crest; 1966 — sandbanks with a height of more than 1.5 m above the inter-level; 1974 — overgrown sediment with a height of up to 2.7 m; 1988 — island with a height of 2.8–3.6 m. 1 — dries and sediments in the inter-level, 2 — floodplain, 3 — above-floodplain terrace, 4 — 1.5 m isobate, 5 — stream stem

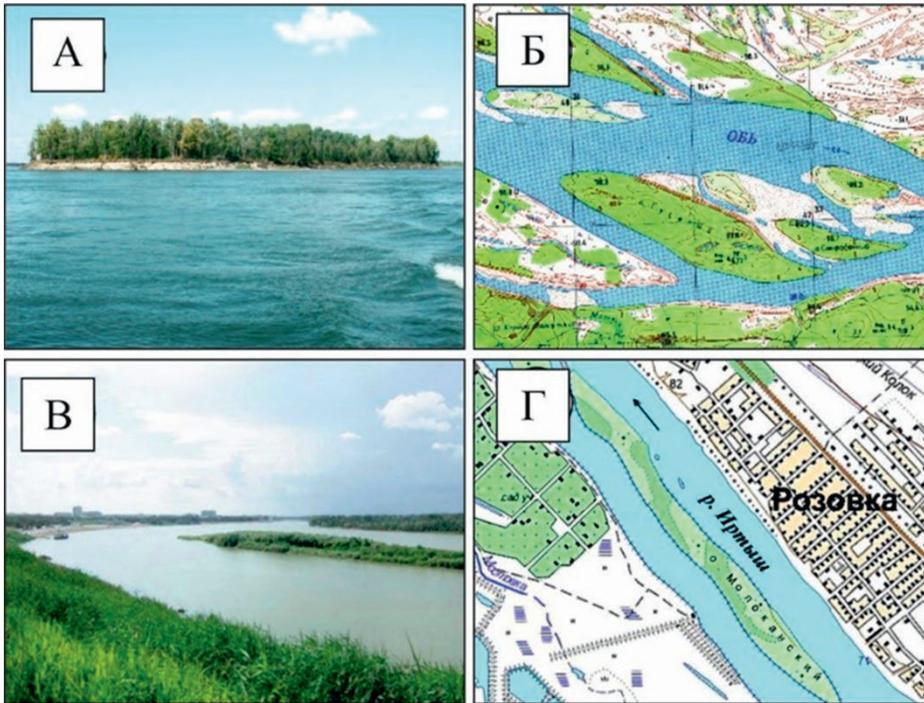


Рис. 2. Элементарные острова: А, Б – с размываемым высоким яром на оголовке (р. Обь, о-в Гусиный), В, Г – веретенообразной формы (р. Иртыш, о-в Молоканский); А, В – общий вид, Б, Г – планы

Fig. 2. Elementary islands: A, Б – with a washed-out high level on the head (Ob River, Gusinyi Island), В, Г – spindle-shaped (Irtysh River, Molokansky Island); A, В – general view, Б, Г – plans

Оголовок элементарного острова, благодаря более интенсивному накоплению наносов, быстро растет в высоту. При его размыве образуется обрывистый пойменный яр (рис. 2, А, Б); в устье, где аккумуляция наносов менее интенсивна, образуется длинная, вытянутая вниз по течению коса. Зарастая, она становится поймой; происходит трансгрессивное удлинение острова. Если перед оголовком острова образуется отмель, то остров нарастает вверх по течению, регрессивно, приобретая веретенообразную форму (рис. 2, В, Г). Элементарный остров имеет максимальные отметки на оголовке, вследствие повышенной

здесь аккумуляции. Вниз по течению поверхность острова постепенно понижается, переходя в низкие прибрежные отмели.

Дальнейшая эволюция острова идет параллельно с развитием разветвления. Каплевидный элементарный остров образует центральное «ядро» (рис. 3, А) с ровным высоким приверхом и пониженным гривистым ухвостом, которое, с течением времени, «обрастает» периферийными молодыми массивами поймы.

При $L_0/B_0 < 3-4$ разветвление увеличивается в размерах и может приобретать асимметричную в плане форму, если развивается излучина одного из

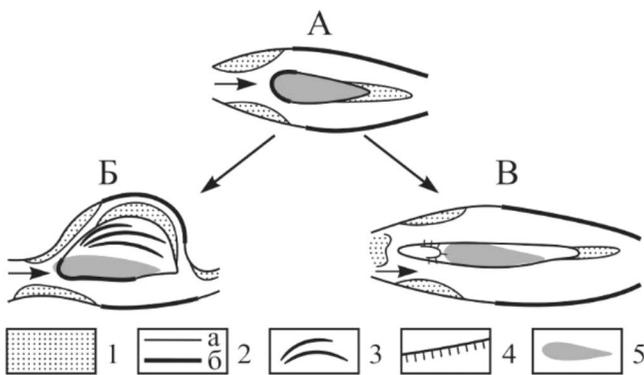


Рис. 3. Эволюция элементарного острова и развитие островной поймы:

А – каплевидная форма острова при $L_0/B_0 = 3-4$; Б – остров при $L_0/B_0 < 3-4$, асимметричное веерное разветвление и гривисто-островная пойма; В – веретенообразный остров при $L_0/B_0 > 3-4$:

- 1 – обсыхающие в межень отмели,
- 2 – берега: а – стабильные, б – подмываемые,
- 3 – пойменные гривы, 4 – подвалье гряды,
- 5 – элементарный остров;

L_0 – длина острова, B_0 – ширина острова

Fig. 3. The evolution of an elementary island and the development of an island floodplain: А – teardrop-shaped island at $L_0/B_0 = 3-4$; Б – island at $L_0/B_0 < 3-4$, asymmetric fan-shaped branching and mane-island floodplain; В – spindle-shaped island at $L_0/B_0 > 3-4$: 1 – shallows drying in the intervening, 2 – shores: а – stable, б – eroded, 3 – floodplain manes, 4 – basement ridges, 5 – elementary island; L_0 – island length, B_0 – island width

рукавов до тех пор, пока не утратится гидравлическая выгода извилистой формы его русла ($L_{\text{рук}}/L_{\text{разв}} < 1.6$; $L_{\text{рук}}$ — шаг излучины рукава, $L_{\text{разв}}$ — шаг разветвления). Остров расширяется в сторону изогнутого рукава за счет образования побочня, при зарастании которого возникает пойменный сегмент, ровный или с гривистым рельефом (рис. 3, Б). Его эволюция аналогична развитию сегментов поймы на пологих и развитых сегментных излучинах меандрирующего русла (Чалов и др., 2004). При достижении излучиной рукава стадии крутой излучины ($L_{\text{рук}}/L_{\text{разв}} > 1.6$) начинается развитие более прямого рукава, в котором со временем формируется новый остров. В итоге на поймах разветвленных рек развиваются гривы и ложбины, веером расходящиеся от приверха бывшего острова вниз по течению.

Если $L_o/B_o > 3-4$, остров удлиняется и приобретает веретенообразную форму (рис. 3, В). Между обтекающей оголовки острова отмелью и оголовком возникает глубокая ложбина, сохраняющаяся в рельефе острова длительное время. При последовательном надвижении отмелей на оголовки острова образуется разделенный поперечными ложбинами массив с гривами по берегам рукавов. Крайней формой эволюции являются архипелаги островов, состоящих из высоких и ровных центральных ядер, сегментов с гривистыми участками, разной ориентировки и размеров, извилистых корытообразных ложбин.

Маловодные рукава с течением времени заполняются наносами и отмирают, превращаясь в пойменные ложбины. Старичные понижения — бывшие рукава и протоки — один из основных элементов рельефа на поймах разветвленных рек. Отмирание коротких межостровных протоков, расположенных в центральных частях русла, и длинных прибрежных происходит по-разному. Первые перекрываются обычно сверху надвигающимися побочнями, что приводит к обмелению их истоков; нижняя их часть сохраняется в виде широкой затонины, которая постепенно мелеет. Вдоль берегов формируются побочни, при зарастании превращающиеся в пониженные участки поймы; ширина протоки поэтому со временем уменьшается. В конечном счете от рукава остается пойменная ложбина, еле заметная в верхней части шириной до 20–40 м, в нижней — заросшая ивняком, кустарником и болотным разнотравьем, иногда с остаточным озером, но малой глубины (не более 1.5–2 м). Весь процесс занимает 25–50 лет (Сурков, 1999).

Эволюция протяженных прибрежных рукавов и их превращение в ложбины на пойме идут сложнее. Они меандрируют, формируя гривистые сегменты, размер которых зависит от водоносности рукава.

Со временем истоки и устье отмирающего рукава располагаются все более круто к основному руслу, перекрываются отмелями и превращаются в длинные пойменные озера. Из-за маловодности сток наносов в рукаве небольшой; его занесение и заиление растягивается на 100–250 лет, в зависимости от стока наносов, условий прохождения руслоформирующих расходов воды, их обеспеченности, устойчивости русла и других факторов. Так, превращение Солдатовской протоки на верхней Оби из рукава шириной 600–1000 м в пойменную протоку шириной 25–40 м продолжалось с 1897 по 1992 г. (рис. 4).

С перекрытием истока рукава побочнем начинается его активное занесение наносами, обмеление и зарастание. Перекаты в нем превращаются в обсыхающие в межень перемычки, зарастающие водной растительностью, обсыхающие побочни зарастают ивняком и травой. Рукав распадается на отдельные озера — бывшие плёсовые лощины. Глубина подобных старичных озер достигает 3–6 м. В озерах постепенно накапливаются торфа и глины, мощность которых достигает 5 м. Но превращение озер в низинные болота, окруженные кустарниками, растягивается на столетия.

Разрастание элементарных островов, отмирание рукавов и межостровных протоков способствуют объединению островов в островные массивы — консолидированные образования, представляющие собой совокупность бывших элементарных островов, причленившихся к ним побочней и кос, занесенных наносами рукавов и межостровных протоков. Бывшие элементарные острова образуют высокие, эллипсоидные, округлые или изометричные плосковершинные гряды шириной (в зависимости от размеров реки и устойчивости русла — до сотен метров или до первых километров на больших и крупнейших реках), к которым примыкают сегменты гривистой поймы. Бывшие рукава превращаются в длинные пойменные ложбины шириной в десятки — первые сотни метров, относительно прямые или изогнутые, покрытые лесокустарниковой растительностью, со старичными озерами и болотами (рис. 5).

Крупные островные массивы достигают 10–15 км в длину и 3–5 км в ширину, в ряде случаев — намного больше. Например, о-в Илья-Гранди-ди-Гурупа на р. Амазонке имеет размер 130 × 51 км, о-в Бол. Усурийский при слиянии Амура и Усури — 37 × 11 км, веретенообразный остров у д. Бурцевской на Северной Двине (о-ва Большой Луг, Роща, Старкова, Лобановский, Ромбовский и др.) — 20 × 3 км. Их формирование и рост продолжались от 2 до 5 столетий. Рукава, отделяющие острова и островные массивы от берега, в процессе рус-

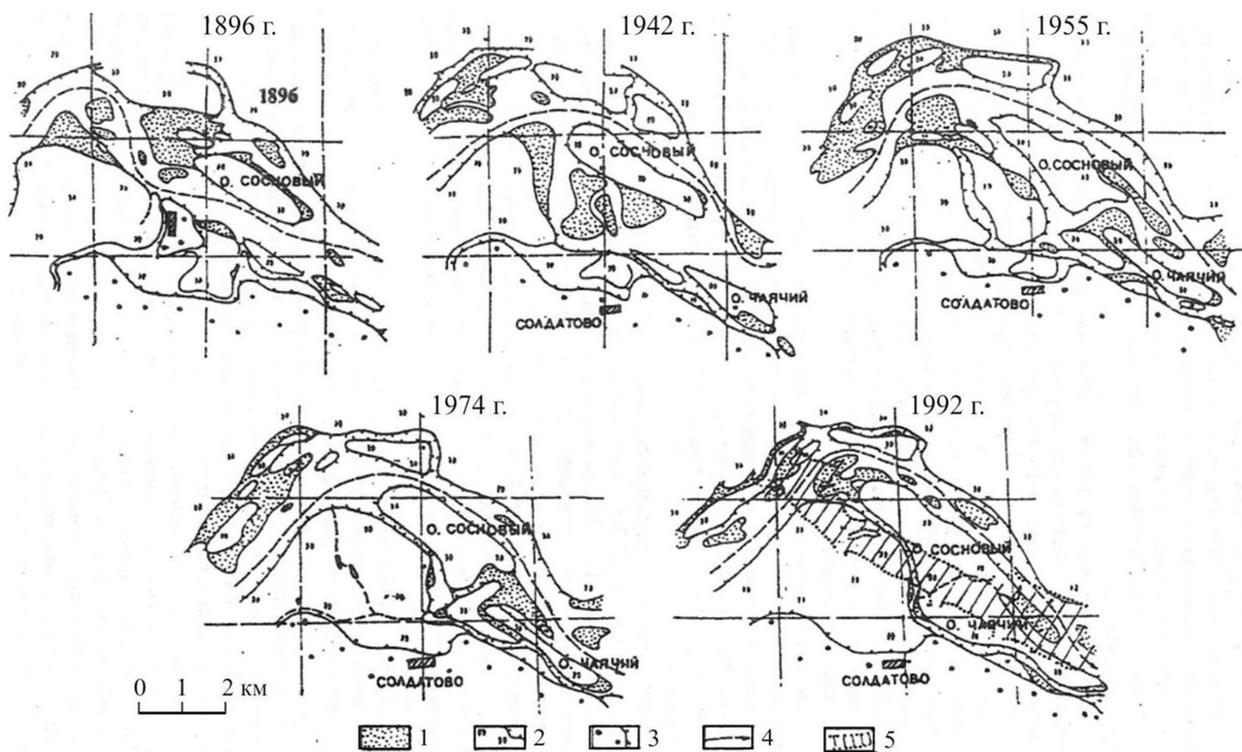


Рис. 4. Формирование ложбинно-островной поймы на верхней Оби у д. Солдатово: 1 – побочни и осерёдки, 2 – пойма, 3 – терраса, 4 – стрежень потока, 5 – положение правого рукава в конце XIX в.

Fig. 4. Formation of the hollow-island floodplain on the upper Ob river near the village of Soldatovo: 1 – sidewalls and midlands, 2 – floodplain, 3 – terrace, 4 – stream stem, 5 – position of the right arm at the end of the 19th century



Рис. 5. Ложбина (бывшая межостровная протока) на пойме р. Лены севернее г. Якутска

Fig. 5. Hollow (former inter-island channel) on the floodplain of the Lena River north of Yakutsk

ловых деформаций мелеют и отмирают, превращаются в ложбины, а островные массивы входят в береговую пойму.

Типы пойм разветвленных рек

Береговая пойма, ее тип, рельеф, структура пойменного ландшафта зависят от условий развития русловых деформаций, морфологии разветвлений, устойчивости русла, гидрологического режима реки. При свободном развитии русловых деформаций широкопойменные разветвленные реки характеризуются *ложбинно-островной поймой* (рис. 6, А), формирующейся при условии, что руслоформирующий расход воды проходит в пойменных бровках. Ее первичный рельеф состоит из широких плосковершинных гряд – бывших островов, и узких длинных корытообразных ложбин – бывших рукавов, заполненных наносами и заросших. Гривистые участки занимают на ней относительно небольшие площади. Ложбинно-островные поймы широко распространены на верхней и средней Оби,



Рис. 6. Поймы разветвленных рек: А – ложбинно-островная, р. Лена, Б – проточно-островная, р. Катунь

Fig. 6. Floodplains of branched rivers: А – hollow-island, Lena River, Б – flow-island, Katun River

на средней и нижней Лене между п. Покровском и с. Жиганском, на Надыме, Вилюе, Амуре и других реках.

Проточно-островная пойма (рис. 6, Б) формируется на реках, на которых руслоформирующий расход проходит над затопленной поймой. Староречья не все превращаются в ложбины, продолжая функционировать в межень как пойменные протоки, расчлняя поверхность поймы на отдельные массивы. Иногда такие протоки (полои на Северной Двине, шары на Печоре, воложки на нижней Волге, многочисленные протоки на нижней Оби), будучи удаленными от основного русла на многие километры, ориентированы по направлению пойменного потока, субпараллельно руслу. Это благоприятствует концентрации в них части стока и препятствует быстрому отмиранию.

В зависимости от руслового режима реки ложбинно- и проточно-островные поймы образуют ряд разновидностей (Чалов, 1970; Чернов, 2009). Реки с мощным, но коротким половодьем, при котором проходит почти весь значительный по объему сток наносов, формируют *проточно- и ложбинно-островные* поймы с мозаичным расположением островов и островных массивов, «хаотично» разбросанных по днищу долины. Такова пойма р. Северной Двины. Предельным вариантом здесь является *пойма с сетчатым расположением мелких гряд-островов*, образующаяся на полугорных и равнинных реках при их выходе на равнину, где вследствие резкого изменения уклонов происходят распластывание потока и аккумуляция наносов, поступающих из горной части бассейна. Таковы поймы верхней Оби непосредственно ниже слияния Бии и Катунь и пойма Катунь в низовьях, где на 30-километровом отрезке русла между с. Сростки и Бийским карьером насчитывается 160, в основном небольших, островов самой разнообразной формы, и пойма р. Брахмапутры между н.п. Пасайэт и устьем р. Лохит (почти 200 островов на 45-километровом участке). Острова располагаются недалеко друг от друга, группами (архипелагами), в пределах

которых разделяются узкими короткими межостровными протоками. В результате объединения таких архипелагов образуется пойма со сложной сетью мелких ложбин, разделенных между собой неширокими и небольшими по длине округлыми грядами. Сетчатые и мозаичные поймы характерны для рек с параллельно-рукавными, сложно сопряженными и разбросанными разветвлениями.

На реках с односторонними разветвлениями (русло расположено возле коренного берега) формируется пойма благодаря объединению веретенообразных островов, вытянутых параллельно основному руслу, — *параллельно-грядовая*. В отличие от параллельно-гривистых пойм рек с относительно прямолинейным неразветвленным руслом, плосковершинные гряды этих пойм — бывшие острова, широкие (до нескольких сотен метров) и относительно короткие, разделенные узкими (десятки метров) ложбинами. Такие поймы (с субпараллельным расположением плосковершинных гряд — бывших островов) встречаются и на реках с двусторонними разветвлениями, на реках с нешироким днищем долины, большим стоком влекомых наносов и неустойчивым положением стрежня в разные фазы водного режима (Чернов, 1983). Таковы поймы Иртыша в Омской области и восточном Казахстане, пойма нижней Лены ниже с. Жиганска и средней Лены в районе г. Покровска, пойма Оби между устьями притоков — рек Чарыш и Алей, пойма р. Маккензи ниже Бол. Невольничьего озера. Такой же была пойма р. Волги в среднем течении до ее затопления водохранилищами.

Рельеф пойм разветвленно-извилистых рек сочетает элементы, свойственные поймам рек и с разветвленным, и с меандрирующим руслом. *Сегментно-островные поймы с расположением гряд-островов по концентрическим дугам* развиваются на больших извилистых реках с невысоким, растянутым по времени половодьем. У выпуклых берегов излучин формируются острова разных размеров, чаще небольшие, окаймляющие шпору излучины (рис. 7, А). Причленяясь к пойме, они

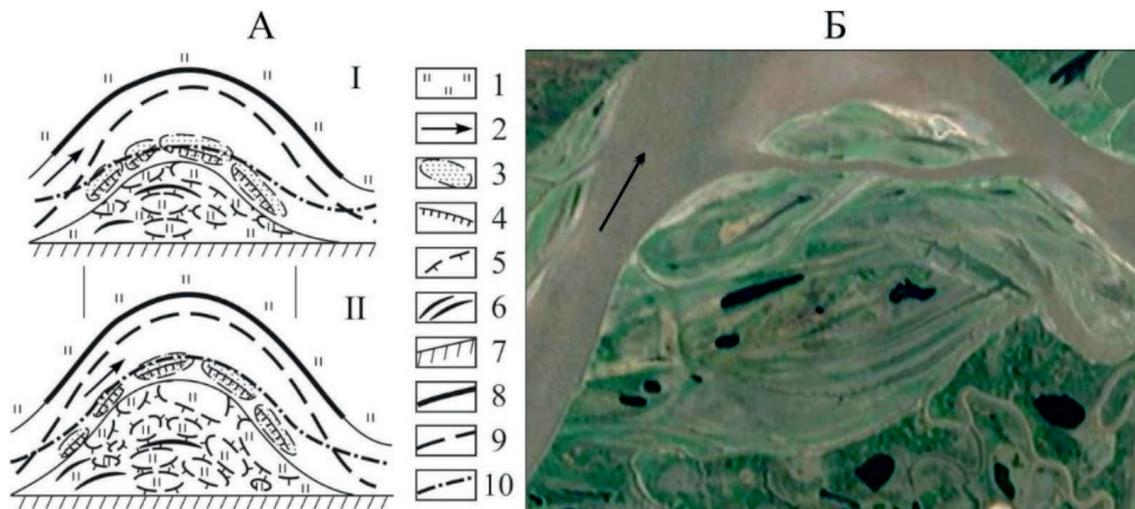


Рис. 7. Сегментно-островная пойма: А – схема формирования (Чернов, 2009): 1 – пойма, 2 – направление течения, 3 – осерёдки, 4 – подвалья гряд на перекате, 5 – уступы на пойме, 6 – пойменные гривы, 7 – коренной берег, 8 – размываемые берега, 9 – положение стрежня потока в межень, 10 – то же в половодье; I, II – последовательные стадии формирования поймы; Б – сегментно-островная пойма р. Индигирки

Fig. 7. Segmented island floodplain: А – scheme of formation (Chernov, 2009): 1 – floodplain, 2 – flow direction, 3 – midlands, 4 – basement ridges on the ridge, 5 – ledges on the floodplain, 6 – floodplain manes, 7 – root coast, 8 – eroded shores, 9 is the position of the stream stem in the mezen, 10 is the same in high water; I, II – successive stages of floodplain formation; Б is the segmented island floodplain of the Indigirka River

становятся слабо изогнутыми грядами шириной в несколько сотен метров, а разделяющие их протоки – узкими и длинными пойменными ложбинами. Радиус кривизны субконцентрических гряд и ложбин примерно соответствует кривизне излучины рукавов. Сегментно-островные поймы с концентрическим расположением элементов рельефа на шпорах излучин описаны Ю.А. Лаврушиным (1963) на нижнем Енисее; подобные массивы встречаются на нижнем Вилюе, верхней Оби, на отдельных участках Вычегды, Таза, Дуная, Амударьи, Мараньона, Луары и других рек.

Сегментно-островные поймы с ориентировкой гряд – бывших островов вдоль оси днища долины и их расположением отдельными сегментами на шпорах излучин развиваются на реках с высоким, но непродолжительным половодьем, когда поток пересекает пойменные сегменты, не считаясь с излучинами меженного русла; в результате шпоры излучин состоят из островов, разделенных спрямляющими протоками. При консолидации пойменный сегмент (шпора излучины) оказывается составленным из широких гряд, бывших островов, вытянутых параллельно оси дна долины. Как и на сегментно-гривистых поймах, наиболее высокие верхние по течению части шпор срезаются потоком, образуя обрывистый яр. Сегментно-островные поймы с ориентировкой гряд вдоль оси долины харак-

терны для рек с чередующимися односторонними разветвлениями, где главное течение реки, огибая разветвления (одиночные или сложные), последовательно подходит то к одному, то к другому берегу. Они характерны для нижней Вычегды, Индигирки (рис. 7, Б), встречаются на средней Лене, средней Оби, Юконе, Укаяли, Пенжине.

Гривисто-островные поймы (рис. 8) развиваются на разветвленных реках с меандрирующими рукавами. Для них характерно образование вдоль рукавов и пойменных протоков сегментно-гривистых, реже сегментных ровных пойм, вложенных в высокую ложбинно-островную пойму. Элементарный остров или островной массив нарастает со стороны меандрирующего рукава благодаря последовательному формированию у выпуклых берегов излучины побочной – образуются чередующиеся узкие гривы с ложбинами, дугообразные в плане; гривами становятся заросшие высокие пригребневые части побочной, ложбинами – понижения в их подвальях. Гривисто-островные поймы характерны для нижнего Вилюя, нижнего Иртыша, средней Оби, встречаются на Амуре, Амударье, Янцзы, Паране и других реках. Сегменты поймы с ровной поверхностью, полого повышающиеся от меженного уреза к бровке центрального ядра, возникают в рукавах и протоках с устойчивым руслом, илистым и тонкопесчаным

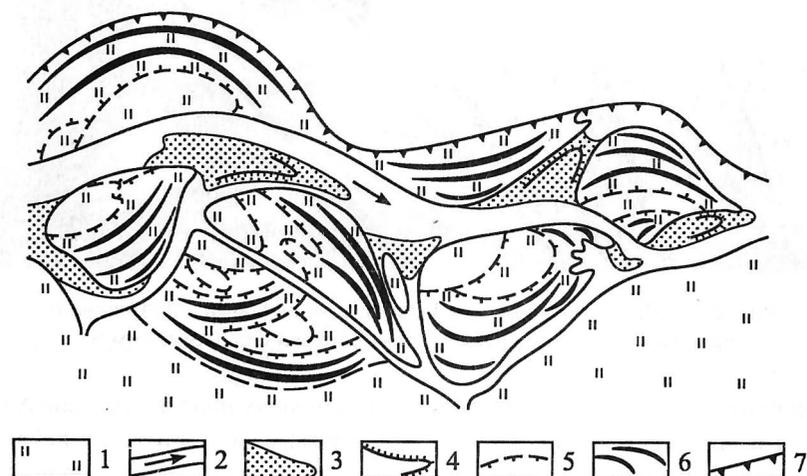


Рис. 8. Гривисто-островная пойма р. Вилюй, образованная при развитии излучин рукавов (Чернов, 1983): 1 – пойма, 2 – русло и направление течения, 3 – побочни, 4 – подвалья гряд на обсохших побочнях, 5 – уступы гряд – бывших островов, 6 – пойменные гривы, 7 – уступ террасы

Fig. 8. The mane-island floodplain of the Vilyui River, formed during the development of bends in the arms (Chernov, 1983): 1 – floodplain, 2 – channel and direction of flow, 3 – sidewalls, 4 – basement ridges on dried-up sidewalls, 5 – ledges of ridges-former islands, 6 – floodplain manes, 7 – terrace ledge

составом взвешенных наносов. Таковы пойменные протоки нижнего и среднего Терека, Риони выше г. Самтредиа, Нигера и др.

Взаимное расположение и конфигурация гривистых сегментов на реках с разветвленным руслом отражает продольное и поперечное смещение излучин рукавов. Гривисто-островные поймы с мозаичным расположением островов и приречных к ним сегментов характерны для пойм с хорошо выраженной короткой, но мощной волной половодья и большим стоком наносов – Северной Двины, нижнего Вилюя (Чернов, 1983) и др. Поймы с последовательным расположением сегментов чаще всего встречаются на реках с одиночными и сопряженными разветвлениями (верхняя Обь между г. Новосибирском и устьем р. Томи); чередующееся (шахматное) расположение сегментов характерно для рек с чередующимися односторонними разветвлениями. При этом различаются по размерам и изогнутости грив сегменты большой ширины, образованные меандрирующими рукавами, и малые сегменты, возникающие вдоль пойменных протоков. В первом случае излучины спрямляются на стадии сегментных, при достижении ими критической кривизны ($L_{рук}/L_{разв} = 1.6$), образуя прорванные излучины. Во втором случае излучины достигают петлеобразной формы; крутые гривы и ложбины, хотя и значительно меньших размеров, образуют concentric дуги.

В условиях ограниченного развития русловых деформаций принципиальная схема образования поймы и ее рельефа на реках с разветвленным руслом такая же. Но более высокий подъем уровней в многоводную фазу режима, чем на реках с широкопойменным руслом, меньшая продолжительность обсыхания прирусловых отмелей и боль-

шие скорости потока обуславливают замедленное развитие поймы. *Островные поймы* образуются на врезанных разветвленных реках с большим стоком наносов и неравномерным водным режимом (высокое, относительно короткое половодье, паводки). Береговая пойма здесь редуцирована или отсутствует. На горных и полугорных реках – Енисее выше г. Абазы, Бие и ее притоке Лебеде, Колыме в горной части бассейна, на реках Кавказа – Баксане (рис. 9), Чегеме, Череке, в верховьях Уруха при зарастании валунно-галечных осередков образуются элементарные острова, смещающиеся вниз по течению, но их объединение в большие острова и тем более в островные массивы не происходит. Островные поймы распространены также на рав-



Рис. 9. Островная пойма на р. Баксан (Северный Кавказ, Приэльбрусье)

Fig. 9. Island floodplain on the Baksan River (North Caucasus, Elbrus region)

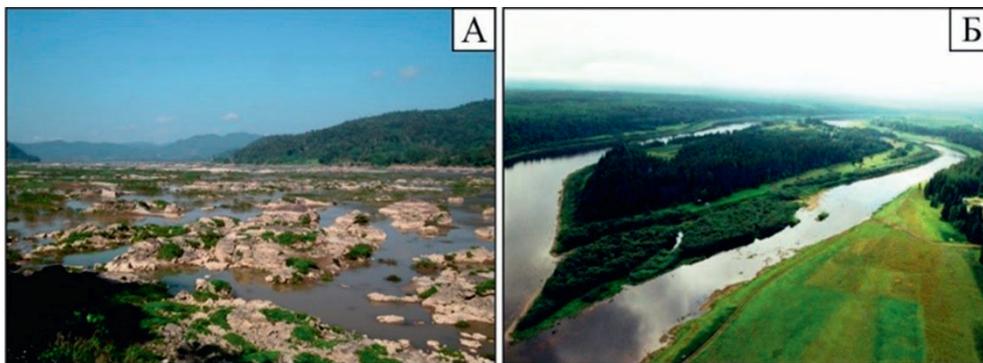


Рис. 10. Цокольные поймы: А — формирующаяся на скальных выступах (островная пойма на р. Меконг выше г. Вьентьяна); Б — незатапливаемый о. Дедов (р. Сухона) с цоколем коренных пород

Fig. 10. Basement floodplains: А — formed on rocky ledges (island floodplain on the Mekong River above Vientiane); Б — non-flooded island Dedov (Sukhona river) with a base of bedrock

нинных реках с врезанным руслом (Пинеге, Ангаре, верхней и средней Лене), но на них образуются большие острова и островные массивы. Например, островной массив на р. Пинеге у п. Пинеге (о-ва Чашкома, Никольский Наволок, Вардоменский, Валадуха) имеет размер 10×2.5 км. В зависимости от конкретных условий подобные массивы могут иметь ложбинно-островной или гривисто-островной рельеф.

Островные цокольные и косовые (в ухвостьях цокольных островов) поймы формируются на разветвленных реках с врезанным скальным руслом. Выступы скалы в русле, имеющие небольшие размеры и затопляемые в половодье и паводки (огрудки), имеют субстрат, мало пригодный для поселения растительности. Подобные примитивные островные поймы, покрытые куртинами пионерной растительности, могут существовать столетия без видимых изменений; такова, например, пойма р. Меконг в ущелье выше г. Вьентьяна (рис. 10, А). Если, по мере врезания реки, огрудок увеличивается в размерах, редко затопливается и постепенно осваивается растительностью, то в дальнейшем он превращается в остров с коренным скальным цоколем. Со временем он может достигнуть значительных размеров и выйти из зоны затопления, превратившись в цокольную надпойменную террасу. Таковы о-в Дедов на р. Сухоне, имеющий размер 1.5×0.5 км и высоту до 10 м над меженным уровнем (рис. 10, Б), скальные острова на р. Ангаре, высота которых достигает нескольких десятков метров. К высоким, уже не затопляемым, цокольным островам примыкают лугово-кустарниковые поймы, сформировавшиеся на примыкающих к ним побочнях. В ухвостьях островов образуются

косы, которые, зарастая, превращаются в *косовые поймы*. Их рельеф, ровный или гривистый, подобен рельефу пойм, формирующихся в ухвостьях островов широкопойменного русла. На Северной Двине цокольная островная пойма развита выше и ниже устья р. Ваги; цокольные поймы характерны для верхней Томи, верховьев Печоры, Пинеге, Ангары. Разновидностью сегментно-островных пойм на реках с врезанным руслом являются *изогнуто-островные*, состоящие из островов, расположенных параллельно выпуклому берегу врезанной излучины. Такие поймы встречаются на Енисее ниже г. Красноярска, на среднем Алдане, верхней Колыме.

Вертикальные русловые деформации (врезание рек или направленная аккумуляция наносов) влияют на ширину поймы, особенности ее поперечного профиля, ландшафтную структуру, сохранность первичного рельефа поймы, его переработку пойменным потоком и нефлювиальными процессами, развитие пойменной многорукавности, регрессивное или трансгрессивное смещение островов, отмирание рукавов и консолидацию островных и береговых массивов, на продолжительность и регулярность затопления. Разветвленные русла и, соответственно, ложбинно-островные поймы в равной степени встречаются на врезающихся и аккумулирующих реках. Так, они характерны для врезающейся верхней Оби и на находящейся в стадии аккумуляции нижней Оби.

При пересечении разветвленными реками возвышенностей и поднятий относительная ширина поймы (B_n/B_p) снижается в 2–10 раз (Чернов, 1983; Эрозионно-русловые ..., 2017). На реках с разветвленным руслом это сопровождается изменением морфоло-

гии поймы. На верхней Оби вместе с расширением поймы от слияния Бии и Катунь вниз по течению к п. Усть-Чарышская Пристань сетчатый мелко-грядовый рельеф сменяется типичным ложбинно-островным с крупными островами и островными массивами и длинными, извилистыми ложбинами. На р. Лене выше г. Покровска, где река активно врезается, формируется высокая, но узкая (1–5 км) ложбинно-островная пойма. Ниже по течению, где интенсивность врезания невелика, формируется ступенчатая пойма с широкой (10–20 км) ложбинно- и сегментно-островной поймой в прирусловой части (рельеф центральной и тыловой частей здесь переработан мерзлотными процессами). На врезанном участке р. Колымы выше п. Среднеколымска гривисто-островная и ложбинно-островная пойма широкопойменного русла сменяется фрагментарной островной и изогнуто-гривистой.

Врезающиеся разветвленные реки формируют *ступенчатые поймы*. Самые древние и высокие ступени затапливаются только в экстремальные половодья, и в их почвенно-растительном покрове велико присутствие зональных элементов. Длительная переработка поверхности пойменным потоком и нефлювиальными процессами выравнивает их поверхность, приводит к выполаживанию рельефа, способствует образованию мерзлотных (полигоны, булгунняхи), эоловых (дюны, котловины выдувания), болотных форм, делювиальных шлейфов, перекрывающих пойму в тыловых частях. Высокие, редко затапливаемые поймы на освоенных территориях распаиваются и застраиваются. За время развития поймы гидрологический и русловой режим реки не изменялся, на высоких ступенях рельеф сглаживается из-за накопления наносов, заполняющих ложбины и депрессии, — образуются *ступенчатые поймы с относительно выровненной поверхностью*. Например, на р. Бие (рис. 11) гривисто-островной рельеф хорошо выражен на первых двух ступенях (до 3.5 м над меженным уровнем). На третьей ступени (3.5–4.5 м) прослеживаются лишь наиболее глубокие ложбины — бывшие рукава, а четвертая (до 5.5 м) — практически ровная. Поймы с выровненной поверхностью характерны для рек с малыми темпами врезания и большой мутностью, обуславливающей высокие темпы аккумуляции наносов на их поверхности (Чернов, 1983). Выравнивание рельефа отмечается на пойме Оби выше Новосибирского водохранилища; этому способствует увеличение продолжительности ее затопления после сооружения гидроузла вдвое, при высокой (680 г/м³) мутности потока и совпадении пиков мутности и половодья. На врезающихся реках с разветвленным руслом первичный ложбинно-



Рис. 11. Выполаживание рельефа поймы от низких к высоким ступеням (р. Бия): 1–4 — порядковые номера пойменных ступеней, снизу вверх

Fig. 11. Flattening of the floodplain relief from low to high steps (Biya River): 1–4 — ordinal numbers of floodplain steps from above

или гривисто-островной рельеф пойм сохраняется лучше, чем на реках, аккумулирующих наносы.

На реках, на которых за время формирования поймы гидрологический и русловой режим изменился в связи с общими глобальными изменениями природной среды и климата, разновозрастные ступени различаются по типу первичного рельефа и линейным размерам его элементов, которые не соответствуют параметрам современного разветвленного русла. На многих разветвленных реках (верхняя Обь ниже г. Барнаула, Лена у г. Якутска, Северная Двина выше слияния с Вычегдой, приустьевые участки Юга, Катунь) ложбинно-островной рельеф имеет только низкая прирусловая ступень поймы, сформировавшаяся в последние 2–3 тысячи лет. На более древних и высоких ступенях хорошо сохранился сегментно-гривистый рельеф, сформированный меандрирующим руслом. На нижнем Вилюе гривисто-островной рельеф имеют первая (1–4 м над меженным уровнем) и третья (6–9 м) ступени; вторая и четвертая, во время формирования которых река меандрировала, характеризуются сегментно-гривистым рельефом (Чернов, 2009). На р. Гусь ложбинно-островной рельеф древней ступени сменяется сегментно-гривистым на низкой современной пойме (Лютцау, 1968).

Ступенчатость островов и островных массивов встречается редко. Как правило (если не считать за ступень формирующуюся низкую молодую пойму и зарастающие осередки и молодые элементарные острова с возрастом менее 100 лет),

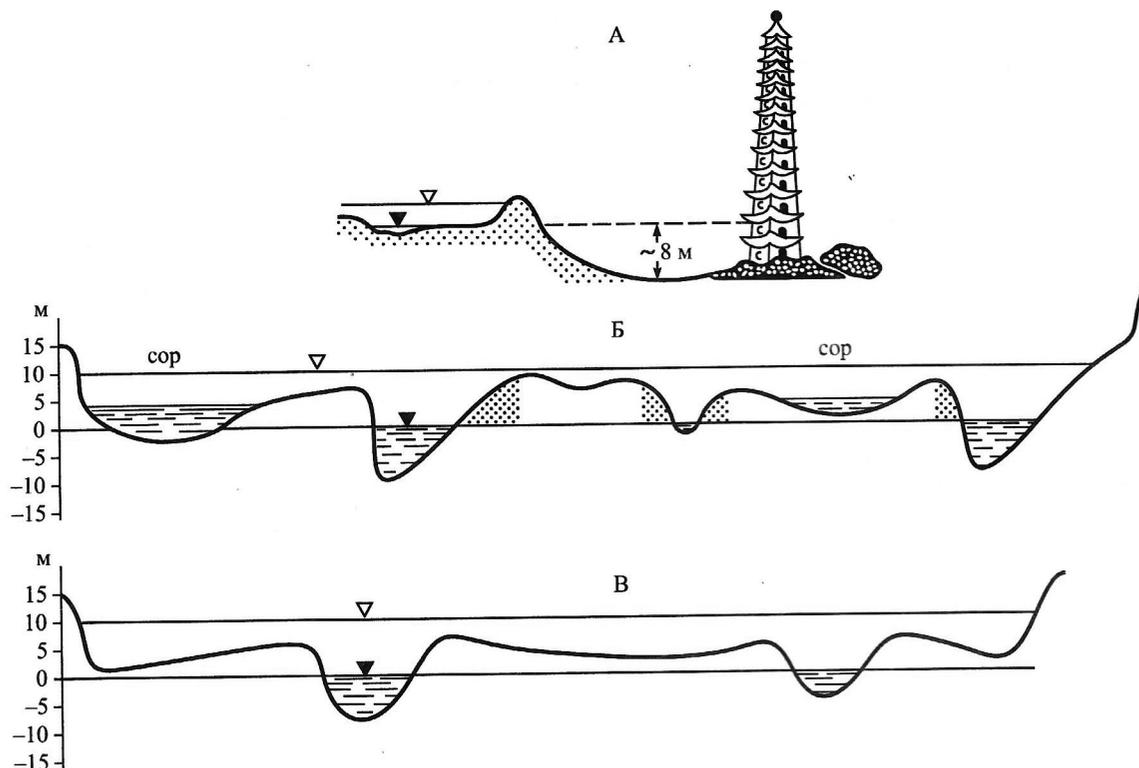


Рис. 12. Поперечные профили донн долин рек с разветвленным руслом при различной интенсивности направленной аккумуляции наносов (Чалов, 2008): А – $W > W_{tr}$ (р. Хуанхэ в районе г. Кэйфона, обвалованная пойма); Б – $W > W_{tr}$ (нижняя Обь); В – $W \geq W_{tr}$ (Северная Двина, одноярусная пойма)

Fig. 12. Transverse profiles of the bottoms of river valleys with branched channels at different intensities of directed sediment accumulation (Chalov, 2008): А – $W > W_{tr}$ (Yellow River near Keifon, collapsed floodplain); Б – $W > W_{tr}$ (lower Ob); В – $W \geq W_{tr}$ (Northern Dvina, single-tiered floodplain)

все они относятся к одной возрастной ступени (генерации). Темпы врезания широкопойменных разветвленных равнинных рек невелики (доли сантиметра в год), и за несколько сотен лет эволюции, необходимых для образования ступени, островной массив причленился к берегу, вошел в состав поймы. Ступенчатость проявляется лишь на самых больших островных массивах пойменно-русловых разветвлений или на участках поймы, расположенных между рукавами раздвоенного русла. При врезании рукавов реки формируется *псевдоостанцовая* ложбинно- или проточно-островная пойма. В качестве «останцов», часто с крутыми и резкими бровками, выступают участки высоких ступеней, ограниченные врезающимися рукавами. «Останцы» могут располагаться среди береговой поймы, а обтекающие их бывшие рукава, давно отмершие, представлены широкими корытообразными ложбинами с лугами, болотами и кустарниками. Такие древние, ограниченные ложбинами «останцы» (2–4 км в поперечнике) встречаются на береговой пойме Северной Двины ниже г. Великого Устюга. Их поверхность может быть плоской, гривистой или

иметь ложбинно-островной рельеф в зависимости от типа русла в период образования; при длительном врезании отметки «останцов» на пойме могут соответствовать уровням надпойменной террасы.

Старые, существующие несколько тысяч лет ступенчатые острова иногда встречаются на больших равнинных реках; они характерны для придельтового участка Енисея (о-ва Пашков, Песчаный, Никитинский, Бол. Леонтьевский): на о. Пашкове, например, прослеживаются 7 ступеней. Ступени имеются на островах горных и полугорных рек, на которых скорость врезания значительна.

На врезающихся реках слабо развита пойменная многорукавность; проточно-островные поймы для них нехарактерны. Интенсивность врезания основного русла выше, чем пойменных проток и маловодных рукавов, из-за чего со временем происходит их отмирание.

На разветвленных аккумулярующих реках, как и на извилистых, формируются три основные разновидности пойм: обвалованные, наложенные и одноярусные (рис. 12). На этих поймах первичный рельеф не консервируется, как на врезающихся реках,

а перекрывается наносами и выполаживается. Для них характерны ровная поверхность с приподнятой прирусловой частью, повышения вдоль рукавов и проток, широкие депрессии и понижения, часто с болотами и озерами, в центральных и тыловых частях береговых и островных массивов; многочисленные пойменные протоки (на аккумулярующей нижней Оби на одном створе насчитывается более 20 пойменных протоков; для сравнения — на врезающейся нижней Лене — всего 3–4), подпрудные озера и разливы в устьях притоков, соры.

Обвалованные поймы характерны для разветвленных рек с большим стоком и интенсивной аккумуляцией наносов. Они развиты на Хуанхэ (рис. 12, А), в низовьях Риони и Терека, на Амударье, Или, на приустьевых участках Мааса и Шельды. Направленная аккумуляция, сосредоточенная в прирусловой части, продолжается иногда на протяжении тысячелетий. Ограниченное валами русло реки оказывается выше окружающей территории, часто освоенной, с селитебными и сельскохозяйственными землями. Периодически в высокие половодья река размывает и прорывает валы, затапливая огромные территории; при прорыве поток может выработать новое русло, отстоящее от старого на многие километры. В геологическом масштабе времени направленная аккумуляция создает обширные (сотни километров) аллювиальные равнины, в пределах которых речная сеть переплетается; возникает бифуркация (разделение реки на самостоятельные рукава, иногда соединяющие соседние бассейны). Река Хуанхэ, прорывая прирусловые валы и дамбы, за историческое время неоднократно изменяла свое положение в полосе 600–800 км и впадала не как сейчас, в Жёлтое море, а в Янцзы, огибая гористый Шаньдунский полуостров как с севера, так и с юга. Подобные перестройки гидрографической сети в меньших масштабах отмечались в низовьях Терека, Амударья, периодически сбрасывавшей значительную часть воды через Узбой в Каспийское море. Общую гидрографическую сеть имеют в нижнем течении крупнейшие реки юга Азии — Ганг и Брахмапутра, реки Колхидской низменности, стекающие с Большого Кавказа (Окуми и Цхенис-Цкали).

Угроза наводнений вынуждает укреплять естественные прирусловые валы дамбами и постоянно искусственно наращивать их отметки. За многие века освоения обвалованных пойм и подобных аллювиальных равнин сложился их своеобразный техногенный рельеф: узкая (первые километры) и высокая, закрытая дамбами, прирусловая часть и обширное, ровное и пониженное «задамбовое пространство». В огражденном дамбами русле могут существовать острова, островные массивы и

проточно-островная пойма (Амударья, Риони, Терек, низовья Кубани); на некоторых реках (Хуанхэ, Рейн) они уничтожены и включены в «задамбовое пространство». Последнее представляет собой плоскую равнину, пересекаемую сетью дренажных каналов и коллекторов, разграниченную дамбами и дорожными насыпями, с польдерами, огороженными чеками, насыпными площадками, водохранилищами и котловинами для сброса воды. Бывшие пойменные протоки или засыпаются, или используются как каналы в общей дренажной системе.

Наложенные поймы являются следствием относительно слабой направленной аккумуляции, которая, вследствие разных факторов — изменения нормы стока, тектонических движений и др., — периодически сменяется медленным врезанием реки (Маккавеев, Чалов, 1963, 1970). В аккумулятивную фазу уровни половодий растут, и со временем редко затопляемые высокие поймы и низкие надпойменные террасы попадают в зону регулярных разливов. Их поверхность плащеобразно перекрывается наилком, под которым вскрывается региональный горизонт погребенных зональных или близких к ним почв. Первичный рельеф погребенной поймы выполаживается, а высота возникшей наложенной поймы, уже пережившей этап превращения в надпойменную поверхность, часто оказывается больше, чем отметки молодой прирусловой ступени. Часто ложбинно-островной рельеф центральных и тыловых частей широких наложенных пойм перерабатывается пойменными протоками и сохраняется лишь в неширокой (один-два километра) полосе молодой поймы вдоль реки.

Одноярусные поймы на разветвленных реках также развиваются при умеренной направленной аккумуляции наносов, которая приводит к постоянному росту поверхности поймы. Если пойма расчленена многочисленными пойменными протоками или рукавами раздвоенного русла, то слой осадков распределяется по ее поверхности достаточно равномерно. Пойма характеризуется выдержанностью максимальных отметок по всей ширине, повышенной заозёрностью и заболоченностью. Лишь во внутренних частях островов и островных массивов, где осадконакопление менее интенсивно, возникают заболоченные понижения, которые затапливаются поступающей сюда в половодье водой вплоть до глубокой межени. Пониженной оказывается и при-террасная, удаленная от реки и пойменных протоков пойма, несколько отстающая в вертикальном росте. В ней со временем образуется широкая заболоченная низина с мелководными озерами-сорами. Одноярусной, например, является очень широкая (35 км) пойма р. Оби в Сургутской низине, имею-

шая примерно одинаковые (6–7 м над меженным уровнем) отметки по всему поперечному профилю.

Условия наилконакопления на пойменных массивах разные и, в общем случае, зависят от удаленности от современного русла реки. По режиму затопления, темпам осадконакопления, крупности выпадающих из потока наносов, а следовательно, по морфологии пологоводного рельефа и ландшафтам на поймах выделяют три зоны: прирусловую, центральную и притеррасную (тыловую). В прирусловой зоне наиболее активна аккумуляция наносов. Здесь образуются вытянутые вдоль берега наложенные прирусловые валы, гряды и в итоге полностью нивелируется первичный ложбинно-островной рельеф поймы.

Центральная пойма заливается уже осветленным потоком. Здесь происходит плащеобразное, более или менее равномерное накопление тонких наносов прежде всего в ложбинах и понижениях, что обеспечивает выравнивание поверхности, но первичный пойменный рельеф достаточно хорошо сохраняется, т. к. потоки воды концентрируются в ложбинах, огибая гряды-острова. В притеррасной зоне, наиболее удаленной от русла, скорости пологоводного потока минимальны. Незначительные темпы аккумуляции илистых наносов определяют отставание роста притеррасных территорий в высоту; в результате большинство пойм отличается хорошо заметным наклоном поверхности от прирусловой к тыловой части; с другой стороны, здесь создаются наиболее благоприятные условия для сохранения первичного ложбинно-островного рельефа, если только он не перерабатывается пойменными протоками и речками, стекающими со склонов долины, или не погребается под делювиальными шлейфами, накоплениями торфа при заболачивании тыловой части поймы.

На поймах разветвленных рек и особенно рек с раздвоенным руслом деление на зоны не так однозначно. Повышенная и активно перерабатываемая прирусловая зона протягивается полосами вдоль рукавов и протоков, проходящих, в том числе, под уступами террас; а пониженные и заболоченные поймы находятся внутри островов и островных массивов. Каждый остров, и тем более островной массив, является самостоятельным пойменным массивом, на котором «прирусловая» зона расположена на оголовке и по берегам, «центральная» — в средней по течению части, и «тыловая» — ближе к ухвостью. Если на реках с односторонними разветвлениями пойменные зоны последовательно сменяют друг друга и занимают постоянное место, то на широкопойменных ложбинно-островных и гривисто-островных поймах, на реках с пойменно-руслowymi разветвлениями расположение элементов

половодного рельефа не зависит от положения современного русла (Чернов, 2009). Присоединившиеся к берегу острова, превратившись в гряды на пойме, теряют связь с руслом, целиком оказываясь в центральной и тыловой частях поймы; в то же время к руслу выходят и оказываются в зоне усиленной аккумуляции участки, ранее находившиеся в центральной и притеррасной частях.

На малых равнинных реках встречаются лишь редкие одиночные разветвления. Соответственно, на них практически отсутствуют поймы, связанные с разветвлениями: они представлены единичными грядами, сформировавшимися при причленении островов к берегам, возникают фрагментарные участки ложбинно- или проточно-островных пойм небольших размеров. При благоприятных условиях высота острова достигает уровня высокой поймы за 20–30 лет, чаще срок растягивается на 100 лет и более.

На горных и полугорных реках, как и на равнинных, начало будущим поймам дают осередки, которые в расширениях русла могут достигать нескольких десятков метров в ширину при длине до 150–200 м. По мере их зарастания они превращаются в пойму, а протоки — в занесенную мелкозёмом ложбину в виде вытянутого неглубокого понижения с пологими склонами. В тыловых частях поймы ложбины при прохождении паводков концентрируют проходящий по пойме поток, что способствует их сохранности; иногда они размываются, и протока вновь начинает функционировать. *Ложбинно-побочневые*, а при сохранении (или восстановлении) в ложбинах постоянного течения — *проточно-побочневые* поймы характеризуются ровной поверхностью, разделенной узкими, обычно прямыми ложбинами разной глубины.

В межгорных котловинах и предгорьях встречаются двусторонние широкие поймы. Они обычно разделяются на отдельные массивы системой ложбин или протоков, ширина которых соизмерима с шириной основного русла. Такой морфологический облик поймы соответствует разветвленному на рукава руслу, а сама пойма является *ложбинно- или проточно-островной*. Ее образование, в общем, происходит по той же схеме, что и на равнинных реках: осередок — остров — причленившийся к берегу за счет отмирания рукава пойменный остров. Обычно проточно-островная пойма в межень расчленяется на отдельные участки сухими ложбинами, действующими только в паводки, а острова сконцентрированы лишь вдоль основного русла. На горных и полугорных реках проточно-островные поймы характеризуются мозаичным либо сегментным расположением крупных гряд, однако от пойм равнинных рек их отличает обычно слабая

закрепленность поверхности, подверженной сильным изменениям после каждого паводка (Чалов, 2011). На реках с неустойчивым руслом возникают *эфемерные сетчатые поймы*, основу которых составляют обширные аллювиальные галечные поля с появившейся на них редкой и чахлой травянистой и кустарниковой растительностью, а само русло представляет сложную сеть протоков между ними. Такой же характер имеет пойма, развивающаяся на реках, по которым периодически проходят селевые потоки. Отличительной особенностью *аллювиально-селевых пойм* является широкое распространение высоких (до нескольких метров) валунных гряд и валов, вытянутых вдоль долины. Эфемерные сетчатые поймы встречаются в высокогорной зоне ниже ледников, где формируются зандровые галечно-валунные поля. Составляющие их отмели представляют собой аналог проточно-островных пойм, поверхность которых почти не закреплена, перестраиваясь при каждом затоплении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная статья обобщает опыт изучения морфологии, формирования и эволюции пойм в долинах разветвленных рек. Генетических и морфологических различий между островными и береговыми поймами, если не изменяется тип русловых процессов, на разветвленных реках нет — их рельеф состоит из широких повышений — бывших островов, и узких ложбин разной длины — заиленных и занесенных рукавов и протоков. В результате структура пойменных ландшафтов в долинах разветвленных рек, несмотря на все зональные различия, примерно одинакова во всех зонах и регионах, вне видимой связи с конкретными природными условиями. Гидромеханическая природа русловых и гидрологических процессов обуславливает ее интразональность.

БЛАГОДАРНОСТИ

Выполнено по плану НИР (ГЗ) научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бокк Э.Н. Влияние половодий на прирусловые леса Обской поймы // Человек и вода. Томск: изд-во Томск. ун-та. 1990. С. 86—88.

Добровольский Г.В., Балабко П.Н., Стасюк Н.В., Быкова Е.П. Аллювиальные почвы речных пойм и дельт и их зональные отличия // Аридные экосистемы. 2011. Т. 17. № 3 (48). С. 5—13.

Еленевский Р.А. Вопросы изучения и освоения пойм. М.: Изд-во ВАСХНИЛ. 1936. 100 с.

Злотина Л.В. Применение ландшафтного анализа поймы при исследовании русловых процессов // Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях. М.: Изд-во МГУ. 1987. С. 288—289.

Лаврушин Ю.А. Аллювий равнинных рек субарктического пояса и перигляциальных областей материковых оледенений // Труды Геол. ин-та АН СССР. 1963. Вып. 87. 267 с.

Лютцау С.В. Флювиальные формы рельефа Мещеры как показатели изменений гидрологического режима и водности рек во времени // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1968. № 3. С. 93—98.

Маккавеев Н.И., Чалов Р.С. О морфологических признаках современной аккумуляции в речной долине // Известия АН СССР. Сер. геогр. 1963. № 3. С. 84—89.

Маккавеев Н.И., Чалов Р.С. Некоторые особенности дна долин больших рек, связанные с периодическими изменениями нормы стока // Вопросы географии. М.: Географгиз. 1970. Сб. 79. С. 156—167.

Попов И.В. Деформации речных русел и гидротехническое строительство. Л.: Гидрометеиздат. 1965. 328 с.

Сурков В.В. Динамика пойменных ландшафтов верхней и средней Оби. М.: Географический ф-т МГУ. 1999. 256 с.

Чалов Р.С. К типологии пойм равнинных рек // Известия ВГО. 1966. Т. 98. Вып. 1. С. 54—57.

Чалов Р.С. Рельеф пойм // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 1. М.: МГУ. 1970. С. 192—204.

Чалов Р.С. Формирование рельефа пойм мандрирующих рек // Геоморфология. 1973. № 2. С. 71—77.

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. Т. 2: Морфодинамика речных русел. М.: КРАСАНД. 2011. 960 с.

Чалов Р.С., Чернов А.В. Геоморфологическая классификация пойм равнинных рек // Геоморфология. 1985. № 3. С. 3—11.

Чернов А.В. Геоморфология пойм равнинных рек. М.: Изд-во МГУ. 1983. 198 с.

Чернов А.В. География и геоэкологическое состояние речных русел и пойм рек северной Евразии. М.: ООО «Крона». 2009. 684 с.

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

ОБ АВТОРАХ

Виталий Владимирович Сурков. Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, Научно-исследовательская лаборатория эрозии почв и русловых процессов; старший научный сотрудник, кандидат географических наук. vita.surkov@yandex.ru

Дмитрий Викторович Ботавин. Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, Научно-исследовательская лаборатория эрозии почв и русловых процессов; старший научный сотрудник, кандидат географических наук. dmitry_botavin@mail.ru

FORMATION, EVOLUTION AND MORPHOLOGY OF FLOODPLAINS OF RIVERS WITH A BRANCHED CHANNEL

V.V. Surkov, D.V. Botavin

*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography
vita.surkov@yandex.ru; dmitry_botavin@mail.ru*

Abstract. The floodplains of branched rivers are diverse, but the fundamental mechanism of their formation is similar. The formation of branches is associated with the division of the river stream into several flows and the formation of mid-channel sediment bars in the accumulation zones between the dynamic axes of the flow, which, when drying out in low water, are fixed by vegetation and turn into elementary floodplain islands. The channels between the elementary islands become shallow and drift over time; a consolidated island massif appears, which, when one of the river branches dies off, joins the shore. The former islands become wide elevations with a relatively flat surface, and the channels become hollows of various sizes. The morphological appearance of floodplains of rivers with branched channels is diverse, since the relief and linear dimensions of its elements, the number and characteristics of former channels and branches between islands, and the landscape structure depend on the structure and morphology of the branches, their transformations, the water runoff and hydrological regime of the river, and anthropogenic influences.

The article examines the morphology, formation and evolution of floodplains in the valleys of branched rivers, and characterizes their main types.

Keywords. Floodplains, braided rivers, relief of floodplains, floodplain forming, braid bars, islands, dead river channels

ACKNOWLEDGMENTS

It was carried out according to the SRW (SA) plan of the Scientific research Laboratory of soil erosion and river channel processes named after N.I. Makkaveev.

REFERENCES

Bokk E.N. The influence of floods on the coastal forests of the Ob floodplain // *Chelovek i voda* [Man and water]. Tomsk: Tomsk University Publ. P. 86–88. (In Russian)

Dobrovolsky G.V., Balabko P.N., Stasyuk N.V., Bykova E.P. Alluvial soils of river floodplains and deltas and their zonal differences // *Aridnyie ekosistemy* [Arid ecosystems]. 2011. Vol. 17. № 3 (48). P. 5–13. (In Russian)

Elenevsky R.A. Issues of studying and mastering floodplains. M.: Soviet Academy of Agricultural Sciences Publ. 1936. 100 p. (In Russian)

Zlotina L.V. Application of landscape analysis of floodplains in the study of riverbed processes // *Zakonornosti proyavleniya erozionnykh i ruslovykh protsessov v razlichnykh prirodnykh usloviyakh* [Patterns of manifestation of erosion and riverbed processes in various natural conditions]. M.: MSU Publ. 1987. P. 288–289. (In Russian)

Lavrushin Yu.A. Alluvium of lowland rivers of the Subarctic belt and periglacial regions of continental glaciations // *Trudy Geol. Instituta AN SSSR* [Proceedings of the Geological Institute of the USSR Academy of Sciences]. 1963. Issue 87. 267 p. (In Russian)

Lyuttsau S.V. Fluvial relief forms of Meschera as indicators of changes in the hydrological regime and the water content of rivers over time // *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya* [Moscow St. Univ. Bulletin. Series 5. Geography]. 1968. № 3. P. 93–98. (In Russian)

Makkaveev N.I., Chalov R.S. Morphological features of modern accumulation in the river valley // *Izvestiya AN SSSR [Proceedings of the USSR Academy of Sciences. Series Geography]*. 1963. № 3. P. 84–89. (In Russian) Makkaveev N.I., Chalov R.S. Some features of the bottoms of large river valleys associated with periodic changes in the flow rate // *Voprosy geografii [Geography issues]*. M.: State Geography Publ. 1970. Coll. 79. P. 156–167. (In Russian)

Popov I.V. Riverbed deformations and hydraulic engineering. Leningrad: Hydrometeorological Publ. House. 1965. 328 p. (In Russian)

Surkov V.V. Dynamics of floodplain landscapes of the upper and middle Ob. M.: MSU Faculty of Geography. 1999. 256 p. (In Russian)

Chalov R.S. On the typology of floodplains of lowland rivers // *Izvestiya VGO [Proceedings of the Soviet Geographical Society]*. Vol. 98. Issue 1. P. 54–57. (In Russian)

Chalov R.S. Floodplain relief // *Eroziya pochv i ruslovye protsessy [Soil erosion and channel processes]*. Issue 1. M.: MSU Publ. 1970. P. 192–204. (In Russian)

Chalov R.S. Formation of the relief of floodplains of meandering rivers // *Geomorfologiya [Geomorphology]*. 1973. № 2. P. 71–77. (In Russian)

Chalov R.S. Channel science: theory, geography, practice. Vol. 1: Riverbed processes: factors, mecha-

nisms, forms of manifestation and conditions of riverbed formation. M.: LKI Publ. 2008. 608 p. Vol. 2. Morphodynamics of river channels. M.: KRASAND Publ. 2011. 960 p.

Chalov R.S., Chernov A.V. Geomorphological classification of floodplains of lowland rivers // *Geomorfologiya [Geomorphology]*. 1985. № 3. P. 3–11.

Chernov A.V. Geomorphology of floodplains of lowland rivers. M.: MSU Publ. 1983. 198 p.

Chernov A.V. Geography and geocological condition of channels and floodplains of rivers in northern Eurasia. M.: Ltd «Krona». 2009. 684 p.

Erosion and riverbed systems: monograph // R.S. Chalov, V.N. Golosov, A. Yu. Sidorchuck redaction. M.: INFRA-M Publ. 2017. 702 p.

ABOUT THE AUTHORS

Vitaly Vladimirovich Surkov. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Research Laboratory of Soil Erosion and Channel Processes; Senior Researcher, Candidate of Geographical Sciences
vita.surkov@yandex.ru

Dmitry Viktorovich Botavin. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Research Laboratory of Soil Erosion and Channel Processes; Senior Researcher, Candidate of Geographical Sciences
dmitry_botavin@mail.ru

ГИДРОЛОГО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАЛЫХ РЕК БАСЕЙНА Р. УРАЛ (В ПРЕДЕЛАХ РОССИИ)

А.М. Гареев

Уфимский государственный университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

aufar.gareev@mail.ru

Поступила в редакцию 03.02.2025

После доработки 17.02.2025

Принята к публикации 25.03.2025

Аннотация. *Актуальность.* В трансграничном бассейне р. Урал в течение последних десятилетий наблюдается довольно напряженная водохозяйственная и экологическая обстановка. Имеющиеся противоречия в понимании происходящих гидрологических и экологических изменений в самой р. Урал, а также в многочисленных ее притоках, обуславливают необходимость всестороннего изучения влияющих естественных и антропогенных факторов, выявления их значимости в межгосударственном масштабе и применения полученных материалов в системе управления водопользованием и водоохранными мероприятиями по бассейну реки в целом. Исходя из сказанного выше, в статье излагаются результаты исследования малых рек бассейна р. Урал в пределах Российской Федерации, характеризующихся особенностями изменения речного стока и экологических условий в них в зависимости от влияния совокупности естественных и антропогенных факторов.

В качестве *исходной информации* использованы опубликованные и фондовые источники, а также материалы, полученные в результате выполнения многочисленных научных исследований и изысканий по бассейну реки под научным руководством автора.

В *результате* проведенного исследования выявлены особенности влияния хозяйственной деятельности человека на малые реки и природные комплексы их водосборов. Раскрыты характеристики пространственной и временной изменчивости факторов, влияющих на изменение склонового и речного стока, изучены особенности влияния антропогенных факторов на качество воды в водных объектах и экологические условия в них, обоснованы предложения по экологической реабилитации, сохранению и восстановлению малых рек — притоков различного порядка трансграничной реки Урал.

Ключевые слова: малая река, бассейн, хозяйственная деятельность, изыскания, деградация, влияющие факторы, экологические условия, бассейн реки Урал

DOI: [10.71367/3034-4638-2025-2-1-32-45](https://doi.org/10.71367/3034-4638-2025-2-1-32-45)

ВВЕДЕНИЕ

На основании анализа большого количества опубликованных работ, материалов полевых изысканий можно отметить, что в течение последних десятилетий по значительному количеству бассейнов рек в пределах Российской Федерации обнаруживается формирование довольно напряженной водохозяйственной и гидролого-экологической обстановки. К одному из таких относится и бассейн трансграничной реки Урал, на примере которого достаточно четко выявляются различия и характеристики влияния естественных и антропогенных факторов на морфометрические характеристики русел малых рек, гидрологический режим и гидро-

лого-экологические условия в них. Исходя из этого, в статье излагаются результаты исследования по малым рекам бассейна р. Урал в пределах России, характеризующимся особенностями изменения речного стока и экологических условий в зависимости от влияния совокупности естественных и антропогенных факторов.

В качестве методологической основы в данной работе приняты геосистемный подход и бассейновый принцип, позволяющие всесторонне учитывать особенности влияния совокупности естественных и антропогенных факторов на формирование изменчивости количественных, качественных харак-

теристик воды в реках и экологических условий в них. Методы исследования включают: обобщение и анализ материалов предшествующих исследований, проведение полевых изысканий и наблюдений, отбор проб воды и донных отложений, районирование изучаемой территории по видам и масштабам антропогенных нагрузок, определение характера влияния хозяйственной деятельности на природные комплексы и загрязнения водотоков, изменения в них экологических условий в зависимости от влияния конкретных видов хозяйственной деятельности человека.

АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА МАЛЫЕ РЕКИ

Проведенные исследования выявили особенности влияния хозяйственной деятельности на малые реки и природные комплексы их водосборов, позволили дать характеристику пространственной и временной изменчивости факторов, влияющих на изменение склонового и речного стока. При этом в качестве основной группы факторов, обусловленных хозяйственной деятельностью, учтены виды и масштабы влияния антропогенных факторов, проявляющихся на речных водосборах, в результате чрезмерного влияния которых происходит активизация эрозионных и русловых процессов. В ходе проведения полевых изысканий по изучаемой территории выявлено, что коренные изменения морфометрических характеристик русел малых рек, резкое ухудшение в них гидролого-экологических характеристик происходят как в результате преобладающего влияния эрозионных процессов на речных водосборах, так и при их сочетании с другими видами антропогенных факторов. Например, по ряду бассейнов притоков р. Урал, подверженных массивному влиянию горнодобывающей промышленности, включая отвалы горных пород на значительных площадях, хвостохранилища, карьеры, свалки и др., можно выявить, что процессы деформации и деградации русел рек происходят в условиях наложения поступающих с техногенно нарушенных территорий в речные системы наносов, выносимых с водосборов, на сильно загрязненные водные потоки. Вследствие этого формирование комплекса негативных хозяйственно-экономических и экологических последствий проявляется не только в виде резкого ухудшения условий водопользования, но и в виде коренного изменения экологического состояния рек, характеризующихся в результате высокими показателями мутности речных вод, содержания загрязняющих веществ, в т. ч. оказывающих токсикологическое воздействие

на гидробионты. Таким образом, по таким рекам и их водосборам отчетливо выявляется необходимость проведения мероприятий, направленных на гидролого-экологическую реабилитацию, с учетом требований научно обоснованного применения необходимых мероприятий.

При выполнении данного исследования в качестве особо значимых приняты результаты комплексных изысканий в бассейнах малых рек, проведенных сотрудниками Лаборатории водохозяйственных исследований и геоэкологии БашГУ (УУНиТ) в 2017, 2019, 2020 и 2023 гг. Характерной особенностью является то, что бассейны малых рек — притоков р. Урал в пределах Российской Федерации расположены в различных природно-климатических условиях. Анализ состояния природных комплексов на их водосборах позволил осуществить районирование изучаемой территории по степени и видам антропогенного воздействия и, соответственно, сохранности речных экосистем (рис. 1).

Основными видами хозяйственной деятельности человека здесь являются:

— сельское хозяйство, представленное преимущественным развитием организованной и неорганизованной пастбы скота, лошадей, растениеводством и водопользованием в сельских населенных пунктах;

— горнодобывающая отрасль, представленная горно-обогательными комбинатами, обширными площадями отвалов горных пород, хвостохранилищ, накопителей сточных вод и карьеров, оказывающая массовое воздействие на природные комплексы речных водосборов и на малые реки;

— городские поселения, характеризующиеся формированием урбанизированных ландшафтов, организацией водопользования и влиянием на состояние малых рек и др.

Распределение указанных факторов на изучаемой территории характеризуется значительной неравномерностью. В разрезе отдельных районов они также накладываются друг на друга, вызывая коренные нарушения многих характеристик малых рек, которые являются в этих случаях особо уязвимыми. Распределение и масштабы воздействия деятельности человека на природные комплексы, в том числе на водные экосистемы, имеют свои объективные причины. С одной стороны, это — пространственная дифференциация физико-географических условий (показателей увлажнения, орографии местности, естественной водорегулирующей способности речных водосборов и др.), с другой — разнообразная деятельность самого

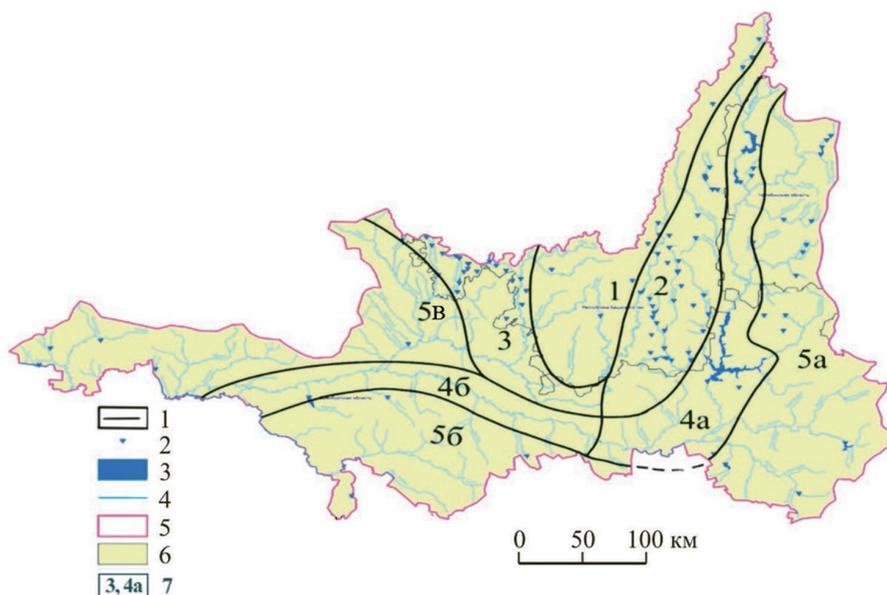


Рис. 1. Районирование бассейна р. Урал в пределах России по степени и видам преимущественного влияния хозяйственной деятельности на малые реки: 1 – границы районов; 2 – малые водохранилища и пруды; 3 – крупные водохранилища (объем более 10 млн м³); 4 – гидрографическая сеть; 5 – границы бассейна; 6 – границы регионов; 7 – номера районов и подрайонов

Fig. 1. Regionalisation of the Ural River basin within Russia according to the degree and types of preferential impact of economic activity on small rivers: 1 – district boundaries; 2 – small reservoirs and ponds; 3 – large reservoirs (volume more than 10 million m³); 4 – hydrographic network; 5 – basin boundaries; 6 – regional boundaries; 7 – numbers of districts and subdistricts

человека. Антропогенные факторы, связанные с коммунальным и сельским хозяйством, а также рекреацией, приурочены, как правило, к наиболее удобным и легко доступным местам. Воздействие горнодобывающей отрасли связано с расположением разрабатываемых месторождений полезных ископаемых. В районе наших исследований они сосредоточены в меридиональной зоне, которая простирается в бассейне р. Урал преимущественно в пределах Зауральского пенеплена (в пределах Башкортостана и Оренбургской области).

Следует обратить внимание на то, что бассейны большого количества малых рек подвергаются преимущественному влиянию животноводства. На изучаемой территории после развала СССР произошли большие изменения по способу содержания скота. Так, во времена бывшего Советского Союза в бассейне р. Урал (в пределах РСФСР) преобладало содержание скота в животноводческих фермах и комплексах. Для них были отведены пастбища, по ряду хозяйств проводились мероприятия по организации и эксплуатации долговременных культурных пастбищ (ДКП). Однако после развала СССР все изменилось не в лучшую сторону. Животноводческие фермы и комплексы были ликвидированы.

В сельской местности возникли социально-экономические проблемы, которые явились причиной адаптации местного населения к изменяющимся условиям. Распространились экстенсивные способы хозяйствования, жители были вынуждены увеличить поголовье скота в личном (подсобном) хозяйстве, так как животноводство во многом стало единственным способом выживания людей. При этом изменились места и способы выпаса. Так, в течение последних десятилетий, характеризующихся нарастанием засушливости климата, травостой на склонах долин рек в июле–августе засушливых лет (2010, 2012, 2014, 2020, 2022 гг.) высыхает. Следует обратить внимание и на то, что в пределах изучаемой территории стало популярным содержание большого количества лошадей, свободно пасущихся или содержащихся на специально отгороженных территориях. В этих условиях водоохранные зоны становятся единственным местом, где можно пасти скот. Местные жители так и поступают. В результате, с одной стороны, чрезмерный выпас крупного рогатого скота, овец и лошадей приводит к вытаптыванию травостоя, переуплотнению верхних слоев почвенного покрова, является причиной активизации эрозионных и русловых процессов, стимулируя трансформации

склонового и речного стока, заиление русел рек в низовьях, с другой — способствует чрезмерному загрязнению вод веществами органического происхождения. Эти закономерности раскрыты в большом количестве опубликованных работ (Гареев, 1991, 1995, 1999, 2002, 2003, 2005, 2012, 2019, 2021).

В зоне влияния горнодобывающей отрасли формируются характерные, коренным образом нарушенные территории: карьеры и отвалы горных пород, хвостохранилища, свалки. Многие из этих объектов расположены в непосредственной близости к рекам, в том числе в пределах водохранных зон. Степень нарушенности природных комплексов на водосборах по ряду бассейнов рек достигает той величины, когда эти территории можно отнести к категории бедлендов. Например, это четко обнаруживается на реках Худолаз и Карагайлы и их водосборах в зоне влияния объектов горнодобывающей и других отраслей, расположенных в пределах городского округа г. Сибай. Так, с точки зрения полномасштабного понимания особенностей влияния совокупности антропогенных факторов на изменение гидрологических и экологических характеристик указанных рек следует обратить внимание на оценку роли и значимости эрозионных процессов на их водосборах, а также накопления наносов в руслах самих рек и прудах, построенных на них. В настоящее время водосборы указанных рек испытывают высокие масштабы влияния антропогенных нагрузок, что, прежде всего, проявляется в виде значительного превышения показателей пастбищной нагрузки на естественные ландшафты горной и предгорной лесостепи. Положение усугубляется тем, что здесь четко проявляются тенденции изменения климатических условий, в т. ч. повышения температуры воздуха, увеличения дефицита влажности воздуха и др., которые являются причиной формирования процессов пастбищной дегрессии и развития эрозионных процессов на речных водосборах. В результате этого речные воды, особенно во время весеннего половодья и дождевых паводков, транспортируют большое количество поступившего с водосбора смытого материала, который в последующем осаждается и откладывается в руслах рек, прудах и водохранилищах, образуя значительные толщи донных отложений.

В соответствии с этим на реках устойчиво наблюдаются высокие концентрации загрязняющих веществ консервативного и неконсервативного характера воздействия на водные экосистемы и здоровье человека. Например, на р. Карагайлы, протекающей в зоне влияния объектов горнодо-

бывающей отрасли, приуроченных к г. Сибай, в результате поступления большого объема смытого материала с водосбора, а также рассеянных веществ с деградированных территорий, занятых отвалами горных пород в пределах обширных площадей, хвостохранилищами, свалками и др., русло самой реки, а также пруд, построенный на ней, оказались покрытыми большой толщей отложений, содержащих в своем составе высокие концентрации загрязняющих веществ. По материалам наблюдений, проведенных в течение многих лет, можно обнаружить, что концентрации тяжелых металлов, включая Cu, Zn, Pb, Mn и др., в речной воде в десятки и сотни раз превышают значения ПДК. Наиболее высокие их концентрации сосредоточены в донных отложениях, которые представляют собой вторичные очаги загрязнения природных вод, что отражается в формировании критических условий функционирования гидробионтов. Таким образом, комплексные показатели загрязнения р. Карагайлы (как водной среды, так и донных отложений) являются причиной того, что в зоне влияния объектов горнодобывающей отрасли в реке отсутствуют высшие гидробионты, включая и ихтиофауну. Здесь происходит миграция загрязняющих веществ и в подземные водоносные горизонты, что отражается в формировании неблагоприятных показателей хозяйственно-питьевых вод.

В результате заполнения чаши городского пруда донными отложениями и его заиления появилась необходимость принятия решений по предотвращению негативного воздействия этого водного объекта на условия проживания людей. В начале 2000-х гг. вода из указанного пруда была спущена. При этом образовались новое русло, врезанное в заиленное ложе пруда, а также террасы с ровной поверхностью, расположенные по обе стороны русла. В настоящее время образовавшиеся террасы покрыты сорной рудеральной растительностью, территория захламлена, что требует проведения мероприятий по ландшафтному и гидролого-экологическому благоустройству и восстановлению водотока по гидрологическим параметрам, близким к естественным.

Таким образом, следует констатировать тот факт, что в формировании общих неблагоприятных экологических и санитарно-гигиенических условий в пределах изучаемой территории принимают участие и эрозионные, и русловые процессы, характеристики влияния которых должны учитываться в ландшафтно-экологическом обосновании необходимых мероприятий.

В целях изучения происходящих изменений в малых реках бассейна р. Урал в пределах России

нами в 2020, 2023 гг. проводились полномасштабные полевые исследования, включая проведение рекогносцировочных изысканий на речных водосборах, а также наблюдения и исследования по самим малым рекам. При выборе мест расположения точек наблюдений учитывались характер и масштабы влияния хозяйственной деятельности человека на реки и их водосборы. С учетом этого были выделены следующие категории малых рек:

1) реки, характеризующиеся достаточно высоким уровнем сохранности природных комплексов на их водосборах при слабом или умеренном влиянии преимущественно экстенсивного выпаса скота, хорошо сохранившемся гидрологическом режиме, с удовлетворительными гидрохимическими характеристиками и экологическими условиями;

2) реки, преимущественно испытывающие влияние объектов сельскохозяйственного производства (пастбищ, пашен и др.);

3) реки, в различной степени измененные и трансформированные в результате влияния объектов горнодобывающей отрасли совместно с другими видами влияния антропогенных нагрузок (чрезмерного выпаса скота).

К первой категории относятся ручей Безымянный (с. Бурангулово), реки Бирся (выше д. Калканово), Малый Кизил (выше д. Новоабзаково). Их бассейны полностью или в основном находятся в пределах хорошо сохранившихся ландшафтов восточных склонов Южного Урала. Здесь распространены лесные и лесостепные сообщества, слабо затронутые хозяйственной деятельностью. В составе последнего фактора доминирует неорганизованный выпас скота. Эти реки находятся в пределах района 1 на рис. 1. Активные эрозионные процессы на водосборах не наблюдаются. В условиях, максимально приближенных к естественным, русла рек имеют классические очертания, характеризуются небольшими вертикальными врезами (0,3–0,5 м), относительно пологими берегами, поросшими макрофитами.

Ко второй группе относятся реки Урал (с. Рысаево, выше д. Уразово), Янгелька (исток из оз. Чебаркуль), Худолаз (п. Казанка) и др. Бассейны этих рек, включая водосборы, водоохранные зоны, прибрежные полосы и русла рек, преимущественно подвержены чрезмерному влиянию пастбы крупного рогатого скота и лошадей. Соответственно, загрязнение указанных рек в основном происходит нерастворенными и растворенными веществами биогенного происхождения. На водосборах наблюдаются территории, подверженные пастбищной дигрессии, местами развиты промоины и овраги. Это обуславливает вынос значительного

количества материалов разрушения почв и горных пород в малые реки, вызывающий формирование высоких показателей мутности речных вод. Четко обнаруживаются процессы активизации русловых деформаций: глубина вреза русел малых рек местами достигает 1,0–1,5 м, берега вытоптаны крупным рогатым скотом, лошадьми и оголены с явными признаками русловой деформации. В этих условиях происходит формирование высоких показателей мутности речных вод, что приводит к заилению русел рек в низовьях. На ряде участков рек наблюдается обмеление.

К третьей группе относятся реки Худолаз (с. Калинино), Карагайлы, Таналык, Бузавлык, Блява и др., расположенные в зоне массового влияния добычи руд цветных металлов и их обогащения на горно-обогатительных комбинатах. На это влияние также накладываются чрезмерный (неуправляемый) выпас скота на речных водосборах, а также другие виды хозяйственной деятельности. Здесь русла многих малых рек деградированы. Так, на участках, где размещены отвалы горных пород, русла перегорожены, местами образовались запруды или проложены искусственные русла с коренными изменениями естественных процессов по условиям формирования как гидрологического режима, так и экологической обстановки в водотоках. Вода в реках характеризуется высокой мутностью в результате выноса в большом количестве продуктов разрушения с территорий, занятых отвалами горных пород, хвостохранилищами, свалками и др.

В связи с этим в течение продолжительного времени наносится большой ущерб малым рекам и их экосистемам как сосредоточенно (локально), так и рассредоточенно (диффузно).

Таким образом, к категориям малых рек с наибольшими, коренными изменениями гидрологического режима, гидрохимических, гидробиологических характеристик и экологических условий, следует отнести саму р. Урал в верховьях, а также ее притоки: реки Худолаз с притоком Карагайлы, Таналык, Бузавлык, Блява.

Расположение малых рек, отнесенных ко второй и третьей группам, соответствует району 2 на рис. 1.

Характерные особенности состояния и изменения гидролого-экологических характеристик малых рек в зависимости от различий влияния совокупности естественных и антропогенных факторов изучались на 17 участках (рис. 2). Они размещались на местности с учетом возможности проведения сравнительного анализа сформировавшихся и измененных экологических условий, с выделением, с одной стороны, фоновых показателей, с другой — специфики и масштабов влияния антропогенных

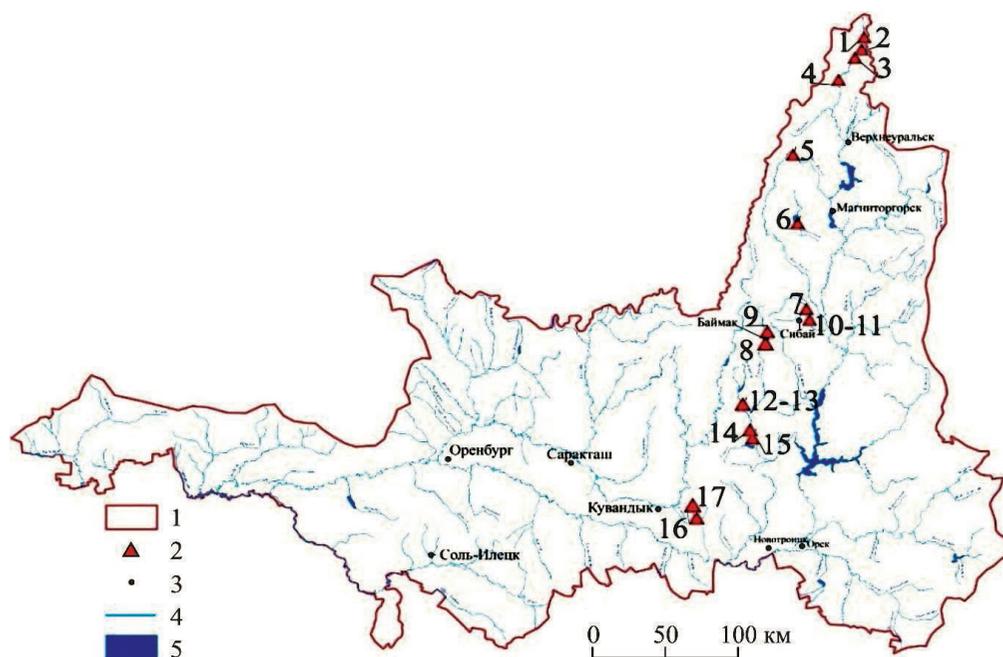


Рис. 2. Места расположения участков изысканий и наблюдений на малых реках бассейна р. Урал (в пределах России). 1 – бассейн р. Урал; 2 – точки исследования; 3 – города; 4 – гидросеть бассейна; 5 – крупные водохранилища

Fig. 2. Locations of survey and observation sites on small rivers in the Ural River basin (within Russia). 1 – Ural River basin; 2 – survey points; 3 – cities; 4 – basin hydrosystem; 5 – large reservoirs

факторов на сообщества гидробионтов. На них был произведен отбор проб воды и донных отложений, фитопланктона, фито- и зообентоса, а также выявлен состав ихтиофауны. В местах отбора проб измеряли расход, температуру и прозрачность воды, глубину, определяли тип донных отложений. Химический анализ проб воды и донных отложений осуществлялся в испытательной лаборатории Филиала по мониторингу водных объектов бассейнов рек Белой и Урала ФГБВУ «Центррегионводхоз». Отбор и обработку гидробиологических проб осуществляли по общепринятым методикам (Биоиндикация..., 2007; Макрушин, 1974). Для идентификации гидробионтов, расчета частоты встречаемости видов использовали имеющиеся руководства и определители (Голлербах и др., 1953; Забелина и др., 1951; Определитель пресноводных..., т. 1–5, 1994–2004; Панкратова, 1983). Для индикации качества воды по структурно-функциональным характеристикам сообществ применялись система сапробности Кольквитца–Марссона и метод Пантле–Букк (Баканов, 2000; Биоиндикация..., 2007; Каплин, 2001; Макрушин, 1974; Олексив, 1992; Sládeček, 1973).

Оценка влияния хозяйственной деятельности на качество вод по гидрохимическим и гидробиологическим показателям выявила, что значения комплексного показателя загрязнения (КПЗ) по всем участкам наблюдений не соответствуют предъявляемым требованиям. Так, показатели в разрезе участков наблюдений достигают значений от 18.57 до 284.02, что характеризует качество воды как «грязная» и «чрезвычайно грязная». К ним относятся: р. Урал – 300 м выше д. Рысаево (участок 1), руч. Безымянный – выше д. Бурангулово (2), р. Бирся – 2.2 км выше д. Калканово (3), р. Урал – 2.5 км выше д. Уразово (4), р. Мал. Кизил – 3.9 км выше с. Новоабзаково (5), р. Янгелька – д. Давлетово (6), р. Худолаз – д. Казанка (7), р. Таналык – ниже г. Баймак (8), р. Таналык – выше г. Баймак (9), р. Худолаз – д. Калинино (10), р. Карагайлы – устье (11), р. Бузавлык – выше сброса сточных вод из карьера «Юбилейный» (12), р. Бузавлык – ниже сброса сточных вод (13), р. Таналык – выше п. Бурибай (14), р. Таналык – ниже сброса сточных вод (15), р. Блява – выше г. Медногорска (16) и р. Блява – ниже сброса сточных вод Медногорским ГОК в створе д. Бляватамак (17).

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ МАЛЫХ РЕК

Реки первой категории (район 1)

В результате исследований было выявлено, что по ряду фоновых створов, выше которых степень влияния хозяйственной деятельности на ландшафты мала, наблюдаются высокие концентрации отдельных веществ, превышающие значения ПДК в несколько раз. Например, это было выявлено на ручье Безымянном — притоке р. Урал первого порядка, выше небольшого населенного пункта Бурангулово Учалинского района Республики Башкортостан (участок 2). Здесь концентрации марганца по сравнению с ПДК для рыбохозяйственных водных объектов превышали норматив в 2,8, железа — в 8 раз. Это очевидно связано с естественным вымыванием элементов коренных пород металлической группы в Уральских горах. Из рыб здесь обнаружен гольян в довольно большом количестве. Как известно, этот вид считается индикатором чистой воды, однако ему может быть свойственна определенная экологическая пластичность (Зуев, 2007). По фитопланктону, фито- и зообентосу показатели качества воды здесь оцениваются как β -мезосапробные, по ихтиофауне — олигосапробные. Это связано с тем, что ихтиофауна в сравнении с бентосом живет в различных горизонтах, а также намного более мобильна, чем планктон и бентос. По совокупности признаков вода в ручье относительно чистая.

По отдельным участкам, выше которых водосборы испытывают небольшие масштабы антропогенных нагрузок (от пастбищ, населенных пунктов), реки относятся к категории наименее загрязненных при расчете индекса сапробности Пантле—Букк по зообентосу. Например, к таким относятся участки 3 (р. Бирся) и 6 (р. Янгелька в верховьях). Аналогичную картину на этих створах показала и оценка их состояния по фитопланктону (см. рис. 2). На р. Бирсе в 2,2 км севернее д. Калканово из рыб также обнаружен только гольян, но в меньшем количестве, чем на предыдущем участке (на ручье Безымянный). Также здесь ниже содержание кислорода ($6,26 \text{ ppm}$), а в грунте — повышенное содержание марганца ($231 \pm 58 \text{ мг/кг}$). Расчет индексов сапробности, проведенный по фитопланктону, а также фито- и зообентосу, позволяет отнести данный водоток к β -мезосапробной зоне, присутствие единственного вида рыб — гольяна — характеризует ее как олигосапробную. Причины данных различий аналогичны выявленным для предыдущей станции. По совокупности признаков экологическая обстановка менее благоприятна, чем на предыдущем водотоке.

На р. Малый Кизил из рыб обнаружен только пескарь в небольшом количестве, хотя ихтиофауна в подобных водотоках должна быть более разнообразной и включать в себя, по крайней мере, гольяна, хариуса, форель, ельца и другие виды (Бакланов, 2000; Дьяченко, 2013; Дьяченко, Бикинин, 1998). Вода была явно замутнена, также наблюдались обильные обрастания нитчатых водорослей на подводных предметах, что нехарактерно для чистых горных рек. В воде выявлено довольно низкое содержание растворенного кислорода ($4,90 \text{ ppm}$) и повышено количество нитратов ($3,8 \pm 0,5 \text{ мг/дм}^3$). Все это свидетельствует о чрезмерно высоком уровне эвтрофикации воды в реке. Это обусловлено локализованным расположением относительно крупных населенных пунктов, горнолыжного центра Абзаково, ряда предприятий (ООО «Абзаково», ООО «Строительство и производство»). Ниже сбросов сточных вод были обнаружены высокие концентрации нитрит-иона, которые превышали значения ПДК в 2,75 раза. Качество воды, определенное в совокупности по фитопланктону, фито- и зообентосу и ихтиофауне, соответствует β -мезосапробным условиям.

Реки второй категории (район 2)

На реках, относящихся ко второй категории, проявляются особенности, связанные с влиянием чрезмерного выпаса скота и, соответственно, загрязняющих веществ биогенного происхождения. Наиболее характерным здесь является участок р. Урал у с. Рысаево, где обнаруживается превышение ПДК по NH_4^+ . Кроме того, здесь и выше д. Уразово, а также в реках Янгельке (исток из оз. Чебаркуль) и Худолаз (п. Казанка) обнаруживаются высокие концентрации тяжелых металлов, превышающие ПДК в 2,8–15 раз.

Из сосредоточенных сбросов, влияющих на р. Урал, была оценена деятельность МУП «Учалводоканал». Это первое предприятие, сбрасывающее свои стоки после очистки на очистных сооружениях в верховьях р. Урал. В пробах воды, отобранных из реки ниже сброса указанного предприятия (выше д. Уразово Учалинского района), выявлено превышение ПДК по меди и марганцу в 9 раз, железу в 3 раза. Из специфических загрязнителей фиксируются в р. Урал азотистые соединения нитрит-иона с превышением ПДК в 3 раза. При сравнении показателей загрязненности речных вод с фоновыми концентрациями (ручей Безымянный у с. Бурангулово Учалинского района) можно выявить превышение загрязнения

по этому ингредиенту в 12 раз. Следует обратить внимание на то, что в бассейнах указанных рек крупных объектов, относящихся к горнодобывающей отрасли, нет. Надо полагать, что в формировании химического состава вод принимают участие месторождения горных пород, а также отвалы, содержащие значительные концентрации указанных элементов.

Расчет индекса сапробности Пантле—Букк по зообентосу позволил отнести створ р. Урал выше д. Рысаево к числу умеренно загрязненных. Аналогичную картину здесь показала и оценка состояния вод по фитопланктону. Условия в р. Урал севернее на 1.5 км от с. Уразово по зообентосу можно характеризовать как α -мезосапробные («грязные»). Здесь отчетливо проявляется влияние сброса сточных вод г. Учалы после их очистки в очистных сооружениях. Показательно то, что на данном участке были выявлены высокие концентрации растворенного кислорода (10 ррт), что связано с активными процессами фотосинтеза водной растительности (макрофитов и водорослей) в летнее время.

В ихтиофауне р. Янгельки обнаружено 6 видов рыб. Показатель содержания кислорода в воде составил 6.24 ррт, в донных отложениях наблюдается повышенное содержание марганца (796 ± 199 мг/кг) и цинка (236 ± 71 мг/кг). Налицо также признаки устойчивой эвтрофикации: высокая степень зарастания водотока высшей водной растительностью (большое количество рдестов, водокраса, урути, элодеи), а также распространение нитчатых водорослей, заметное замутнение воды, слой ила на каменисто-галечном ложе реки. Показатели сапробности, рассчитанные по фитопланктону, фито- и зообентосу, позволяют отнести воду р. Янгельки к β -мезосапробной зоне. Индекс Кольквитца—Марссона, рассчитанный по ихтиофауне, также показывает β -мезосапробные условия, индекс Пантле—Букк равен 3.08, что соответствует α -мезосапробной зоне.

В р. Худолаз (д. Казанка) — выше зоны выклинивания Худолазовского водохранилища и промышленных предприятий г. Сибай, были обнаружены 6 видов рыб: плотва, окунь, серебряный карась, язь, налим, сом. Преобладающими видами являются плотва и окунь. Содержание кислорода в воде составило 5.57 ррт, по показателям химического анализа воды и грунта условия вполне благоприятные, за исключением некоторого повышения содержания цинка в донных отложениях (106 ± 32 мг/кг). Показатели качества воды р. Худолаз на данном участке, рассчитанные по фитопланктону и фито- и зообентосу, соответствуют β -мезосапробной зоне, по зообентосу — α -мезосапробной. Индекс

Кольквитца—Марссона, рассчитанный для ихтиофауны, показывает также β -мезосапробные условия, а Пантле—Букк — α -мезосапробные.

Реки третьей категории (район 2)

По всем участкам рек, расположенным в зонах массивированного влияния объектов горнодобывающей отрасли (8–17), наблюдается высокая концентрация тяжелых металлов. Наибольшие значения обнаружены в водах рек Карагайлы у с. Калинино (меди 240 ПДК), Худолаз у с. Калинино (меди 87 ПДК), Таналык ниже г. Баймака (по меди 33 ПДК), Бузавлык (12 и 13 створы — по меди 25–32 ПДК), р. Блявы в г. Медногорске (марганца 260 ПДК) и у с. Бляватамак (цинка 160 ПДК), которые обуславливают формирование чрезвычайно высоких комплексных показателей загрязнения (КПЗ), достигающих 31.96–284.02.

Наиболее интенсивное загрязнение специфическими ингредиентами выявлено в водах р. Таналык у г. Баймака ниже сброса МУП «Баймакский водоканал». В пробе воды, отобранной из этой реки, было выявлено превышение по аммоний-ионам в 5.2 раза, нитрит-ионам в 5.25 раза; концентрация сухого остатка превышала норму в 1.5 раза. В то же время по участку, расположенному выше г. Баймака (2.2 км выше створа сброса сточных вод города), качество воды по этим показателям не превышало значений ПДК.

К категории малых рек, в наибольшей степени деградированных по морфометрическим характеристикам их русел, степени загрязненности, прежде всего, тяжелыми металлами, следует отнести р. Карагайлы в зоне влияния объектов г. Сибай. В пределах среднего (частично) и нижнего течения обнаруживается высокое сосредоточение различных хозяйственных объектов и урбанизированных территорий. К их числу относятся сам г. Сибай, отвалы горных пород на значительных площадях, карьеры, хвостохранилища, свалки и др. В речной воде и донных отложениях были обнаружены высокие концентрации загрязняющих веществ, относящихся к различным группам по лимитирующему признаку вредности. Так, влияние сточных вод города может быть оценено по показателям загрязнения речных вод по фосфат-иону в 3.75 раза, сухому остатку — в 4.5 раза. В составе промышленных сточных вод следует указать на то, что подотвальные воды северных отвалов Сибайского рудника поступают в карьер, вместе с шахтными водами откачиваются на поверхность и далее по коллектору сбрасываются в р. Карагайлы. В нее же без очистки направляются стоки южных

отвалов. Подотвальные воды высоко минерализованы — до 515 г/л, рН — 2.1–2.6, концентрация сульфат-иона достигает 29 500 мг/л, содержание меди — от 330 до 645 мг/л, цинка — 718–890 мг/л, железа — 188–731 мг/л, магния — 190 мг/л, повышена концентрация марганца, никеля, кобальта, кадмия, ртути и др. Объем подотвальных вод Сибайского рудника составляет 650 тыс. м³ в год. До 2019 г. суммарный расход шахтных и карьерных вод колебался в пределах от 200 до 800 м³/час. Объем откачиваемых дренажных вод во время разработки месторождения составлял 3.2–3.5 млн м³ в год.

По ориентировочным оценкам за год с подотвальными и шахтными стоками в поверхностные водные объекты сбрасывается до 10 тыс. тонн химических веществ, включая сотни тонн тяжелых металлов в ионной форме. В р. Карагайлы, куда непосредственно сбрасывались сточные воды Сибайского ГОК до его закрытия в 2019 г., наблюдалась экстремально высокая концентрация ионов тяжелых металлов и сульфатов.

В донных отложениях рек Карагайлы и Худолаз (ниже г. Сибай) установлено увеличение содержания тяжелых металлов в десятки и сотни раз по сравнению с фоновой концентрацией. Следует отметить, что отдельные участки бассейнов этих рек представляют собой зоны экологического бедствия.

Река Бузавлык ниже сброса ООО «Башкирская медь» загрязнена солями меди до 32 ПДК.

По результатам анализа проб воды из р. Таналык у п. Бурибай, где размещено производство горнообогатительного комбината, выявлено превышение содержания специфических металлов в воде. Концентрация меди была выявлена по участку 14, где она в 20 раз была больше ПДК, по марганцу — в 8 раз выше ПДК.

Накопители сильно загрязненных сточных вод Бурибаевского ГОК располагаются в непосредственной близости к р. Таналык. В их использовании в составе замкнутых систем водоснабжения промышленного предприятия наблюдаются серьезные нарушения. По телу обваловок образовались промоины, на низинах, расположенных со стороны сухого откоса (с внешней стороны), местами образовались лужи с сильно концентрированными сточными водами. Фильтрация концентрированных сточных вод через тело дамбы, а также формирование линий тока являются причиной чрезмерного загрязнения вод тяжелыми металлами.

Аналогичное загрязнение вод наблюдается и на р. Бляве, принимающей стоки Медногорского ГОК. В пробе воды из реки ниже сброса ООО «Медногорский медно-серный комбинат» (у с. Бляватамак) выявлено превышение концентрации меди

по сравнению со створом, расположенным выше г. Медногорска, в 10 раз. Аналогичная ситуация обнаруживается и по концентрации цинка. Так, если в пробе воды, отобранной у с. Бляватамак (ниже города), она составила 1.6 мг/дм³, то выше зоны влияния сточных вод ГОК была на уровне 0.03 мг/дм³, т. е. меньше в 53 раза (участки наблюдений 16 и 17).

Анализ уровня сапробности по фитопланктону и фитобентосу на указанных участках показал его увеличение, а также стабильно низкое видовое разнообразие (Баринова и др., 2006; Панкратова, 1983; Соколов, 2001). Кроме того, в обеих пробах обнаружены тератологические формы диатомовой водоросли *Nitzschia sp.* с искривленным панцирем. Все это отражает высокий уровень загрязненности водотока и неблагоприятность среды обитания для гидробионтов (Баринова и др., 2006; Биоиндикация..., 2007; Макрушин, 1974).

Следует обратить внимание на то, что на сильно загрязненных участках рек: Худолаз ниже устья р. Карагайлы (участок 10), Карагайлы в устье (участок 11) и Блява в г. Медногорске, ниже сброса (17) зарегистрировано наименьшее среди всех исследованных точек видовое разнообразие зообентоса. У выявленных личинок хирономид *Chironomus gr. dorsalis*, *Ch. gr. tentans*, *Procladius ferrugineus* и *P. choreus* отмечены деформация элементов ротового аппарата (ментума и мандибул) и их покрытие смолоподобным веществом, что, скорее всего, связано с накоплением загрязняющих веществ в донных отложениях водотоков (Баканов, 2000; Каплин, 2001).

Обращают на себя внимание достаточно высокие показатели численности биомассы зообентоса на участках 10 и 17 (см. рис. 2) на фоне небольшого количества видов. Известно, что при возрастании антропогенной нагрузки резко снижается видовое разнообразие донных сообществ на фоне доминирования отдельных видов (Биоиндикация, 2007), что наблюдается на данных участках. Так, в р. Худолаз (створ 10) максимум численности и биомассы отражает полисапробный вид — олигохета *Tubifextubifex*, а в створе 17 (р. Блява) — полисапробные виды хирономид.

Согласно расчетам индекса Пантле–Букк по зообентосу, условия в водотоках на створах 9 (р. Таналык, севернее на 1.3 км от г. Баймака), 12 (р. Бузавлык, в 2.2 км юго-восточнее от д. Петропавловский, в зоне комбината Башнефти) и 16 (Оренбургская область, р. Блява) можно характеризовать как α -мезосапробные («грязные»).

Самыми загрязненными по данному показателю оказались участки рек на створах 10 (р. Худолаз —

ниже устья р. Карагайлы), 11 (р. Карагайлы — устье) и 17 (р. Блява, г. Медногорск, ниже сброса). На них индекс сапробности колебался в пределах 4–4.5, что соответствует полисапробной зоне.

При анализе изменения уровня сапробности в створах отдельных рек можно заметить ее явное увеличение при повышении степени антропогенного воздействия. Так, для р. Таналык в створе 10, расположенном выше сброса загрязняющих веществ, значение индекса сапробности составляет 1.9, что характеризует данный участок как умеренно загрязненный (β -мезосапробный). В то же время в точке 9, располагающейся после сброса загрязняющих веществ, значение индекса Пантле—Букк соответствует α -мезосапробной («грязной») зоне. Аналогичную картину показывает и оценка состояния р. Таналык по фитопланктону, фитобентосу и ихтиофауне (Баканов, 2000; Бакланов, 2002; Баринаева и др., 2006; Биоиндикация..., 2007).

По показателям ихтиофауны можно обратить внимание на то, что в результате влияния процессов смещения и разбавления сильно загрязненных вод притоков в принимающих эти воды реках обнаруживаются более-менее благоприятные гидролого-экологические условия. Так, в р. Худолаз (ниже устья р. Карагайлы) обнаружено 7 видов рыб, из которых самой многочисленной была плотва. Примерно в равных количествах встречались елец, пескарь, красноперка и окунь, наиболее редкими оказались щука и голавль. Показатели качества воды, рассчитанные по ихтиофауне (Олексив, 1992), соответствуют β -мезосапробной зоне с уклоном в олигосапробную. В то время как в самой р. Карагайлы (притоке р. Худолаз) ихтиофауна отсутствовала.

Для р. Бузавлык (участки 13 и 14) также отмечен рост значения индекса сапробности с 2.3 (нижняя граница β -мезосапробной зоны) в створе, расположенном выше водохранилища, до 2.6 (α -мезосапробная зона) на участке, расположенном ниже сброса с отстойника «Башнефти». В данной реке, так же как и в р. Карагайлы, наблюдается отсутствие ихтиофауны.

По р. Бляве в окрестностях г. Медногорска (точки 16 и 17) в целом отмечен один из самых высоких уровней сапробности (значение индекса колеблется в пределах 3.4–4.2). Если в точке выше сброса реку еще можно охарактеризовать как «грязную» (α -мезосапробную), то ниже сброса состояние водотока соответствует характеристике «очень грязная» (полисапробная). Выше сброса также было обнаружено небольшое количество пескаря, ниже сброса какая-либо ихтиофауна отсутствовала полностью.

По многим показателям это один из самых экологически неблагополучных участков.

На территории подрайонов 5а, 5б, 5в (см. рис. 1) основными видами хозяйственной деятельности, оказывающими влияние на химические и биологические показатели речных вод в их пределах, являются сельскохозяйственные объекты (населенные пункты, пашни, пастбища и др.). В условиях отсутствия материалов непосредственных наблюдений экологические условия в малых реках могут быть определены по аналогии, что было раскрыто ранее по районам 1 и 2. Район 3 характеризуется аналогичными условиями. Отличительной особенностью по нему является наличие значительного количества прудов и водохранилищ, обуславливающих коренные изменения гидрологического режима и экологических условий в реках.

Малые реки, непосредственно впадающие в Урал в пределах различных участков в подрайонах 4а и 4б, характеризуются большими различиями в масштабах влияния антропогенных нагрузок. Как известно, бассейны одних рек расположены в зонах непосредственного влияния промышленных узлов (г. Верхнеуральск, Магнитогорск, Орск, Оренбург), других — в условиях преимущественного влияния сельскохозяйственных объектов. При необходимости изучение их характеристик может быть осуществлено отдельно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что малые реки, являющиеся особо чувствительными к влиянию как естественных, так и антропогенных факторов, приуроченных к их водосборам, достаточно ярко отражают особенности влияния указанных факторов на количественные и качественные характеристики воды в водотоках. Это позволяет объективно обосновать необходимые водоохранные мероприятия, особенно с учетом специфики и масштабов влияния антропогенных факторов, приуроченных к водосборам рек, влияющих на качество речных вод и экологические условия в водотоках рассредоточенно. С учетом изложенного следует констатировать, что различия в направлениях, масштабах и ареалах влияния отдельных видов хозяйственной деятельности могут выявляться на основании районирования изучаемых бассейнов больших рек, в разрезе которых можно выявлять отличающиеся процессы формирования и изменчивости экологических условий в малых реках. Указанные положения в данной работе достаточно четко отражены на примере бассейна р. Урал в пределах Российской Федерации.

Следует обратить внимание на то, что механизмы управления водопользованием и водоохранными мероприятиями в соответствии с требованиями, отраженными в Схемах комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО), главным образом учитывают данные анализа показателей воздействия локализованных (сосредоточенных) источников. Однако по значительному количеству бассейнов малых рек, где загрязнение водных объектов и заиление их русел происходят в результате преимущественного влияния рассредоточенных источников (например, сельскохозяйственных объектов, урбанизированных территорий и др.), указанные положения не учитываются. Таким образом, дальнейшее совершенствование методов и способов управления водопользованием и водоохранными мероприятиями в бассейнах рек должно базироваться на дифференцированном подходе посредством конкретного обоснования видов и масштабов водоохранных мероприятий в речных бассейнах. Эти положения были нами учтены в ходе выполнения НИР в 2023 г. по теме «Научное обоснование предложений по экологической реабилитации, сохранению и восстановлению трансграничной р. Урал (Жайык)» по договору, заключенному между Институтом водных проблем РАН и Уфимским университетом науки и технологий. Они требуют внедрения на уровне Министерства природопользования и экологии РФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Баканов А.И. Использование зообентоса для мониторинга пресноводных водоемов // Биология внутренних вод. 2000. № 1. С. 68–82.

Бакланов М.А. Фауна и особенности рыб малых рек урбанизированных территорий Прикамья. Автореф. ... дисс. канд. биол. наук. Пермь. 2002. 18 с.

Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей — индикаторов окружающей среды. Тель-Авив, 2006. 500 с.

Биоиндикация экологического состояния равнинных рек / Под ред. О.В. Бухарина и Г.С. Розенберга. М.: Наука, 2007. 403 с.

Гареев А.М. Методические вопросы пространственно-временного анализа развития ускоренной эрозии // Четырнадцатое пленарное межвуз. координац. совещ. по проблемам эрозионных, русловых и устьевых процессов. Уфа: Изд-во БашГУ. 1999. С. 14–17.

Гареев А.М. Методические указания по оптимизации выделения капиталовложений на водоохраные мероприятия на водосборе бассейна реки. Уфа. РИО Башк. ун-та, 1991. 19 с.

Гареев А.М. Некоторые характеристики изменения склонового и речного стока в условиях деградации природных комплексов на водосборе // Водное хозяйство России. Спецвыпуск. Екатеринбург: Изд-во РосНИИВХ, 2003. С. 41–48.

Гареев А.М. Оптимизация водоохраных мероприятий в бассейне реки (географо-экологический аспект). СПб.: Гидрометеиздат. 1995. 190 с.

Гареев А.М. Основы научных исследований. Уфа: РИЦ БашГУ. 2019. 78 с.

Гареев А.М. Особенности активизации развития эрозионных процессов в зависимости от увеличения максимального стока на водосборе в условиях деградации природных комплексов / Чистая вода России. Екатеринбург. Изд-во РосНИИВХ. 2005. С. 21–22.

Гареев А.М. Охрана вод суши. Уфа. РИЦ БашГУ, 2021. 336 с.

Гареев А.М. Реки, озёра и болотные комплексы Республики Башкортостан. Уфа: Гилем, 2012. 248 с.

Гареев А.М., Мусин С.Н. Особенности трансформации склонового, речного стока и развития эрозионных процессов в зависимости от влияния пастбищной нагрузки на природные комплексы // Семнадцатое межвуз. координац. совещ. по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Краснодар. 2002. С. 79–80.

Гареев А.М., Белан Л.Н., Горячев В.С., Фархутдинов А.М., Барышев В.И., Шевченко А.М., Островская Ю.В., Ахмедьянов Д.И. Основные характеристики трансформации гидролого-экологических условий в малых реках в зоне влияния объектов горнодобывающей отрасли (на примере рек Карагайлы и Худолаз в бассейне реки Урал) // Вест. АН Республики Башкортостан. 2021. Том 39, № 2 (102). С. 49–57. DOI: 10.24412/1728-5283-2021-2-49-57

Голлербах М.М., Косинская Е.К., Полянский В.И. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 2. Синезеленые водоросли. М.: Сов. наука, 1953. 654 с.

Дьяченко И.П. Рыбы и рыбные ресурсы Башкортостана. Уфа: РИЦ БашГУ, 2013. 152 с.

Дьяченко И.П., Биккинин Р.Ф. Рыбы Башкирии // Экология водоемов Башкирии. Уфа: Гилем, 1998. С. 94–135.

Захаров В.Ю. Состояние ихтиофауны в водоемах Удмуртии как отражение антропогенного пресса // Экологические проблемы Предуралья: стратегия изучения и пути решения. Мат-лы науч.-практич. конф. Ижевск, 1994. С. 135–137.

Забелина М.М., Киселев И.А., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова В.С. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 4. Диатомовые водоросли. М.: Сов. наука. 1951. 620 с.

- Зуев И.В. Гольяны рода *Phoxinus* (сем. *Cyprinidae*) бассейнов рек Енисея и Пясины. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Томск. 2007. 22 с.
- Каплин В.Г. Биоиндикация состояния экосистем. Самара: СГСХА, 2001. 144 с.
- Котегов Б.Г. Видовой состав ихтиофауны и антропогенные сукцессии ихтиоценозов малых рек Удмуртии // Современные аспекты экологии и экологического образования. Мат-лы Всеросс. науч. конф. Казань: Казан. гос. ун-т, 2005. С. 240–241.
- Макрушин А.В. Биологический анализ качества вод. Л.: ЗИН АН СССР, 1974. 60 с.
- Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов / Под ред. В.Н. Митропольского, Ф.Д. Мордухай-Болтовского. М.: Наука, 1978. 240 с.
- Никольский Г.В. Экология рыб. М.: Высшая школа, 1974. 367 с.
- Олексив И.Т. Показатели качества природных вод с экологических позиций. Львов: Свит. 1992. 232 с.
- Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 1 / Под ред. С.Я. Цалолихина. СПб: Наука. 1994. 395 с.
- Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 2 / Под ред. С.Я. Цалолихина. СПб: Наука. 1995. 628 с.
- Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 3 / Под ред. С.Я. Цалолихина. СПб: Наука. 1997. 440 с.
- Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 5 / Под ред. С.Я. Цалолихина. СПб: Наука. 2001. 836 с.
- Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 4 / Под ред. С.Я. Цалолихина. СПб: Наука. 2004. 987 с.
- Панкратова В.Я. Личинки и куколки комаров подсемейства *Chironominae* (Diptera, *Chironomidae*) фауны СССР. Л.: Наука, 1983. 296 с.
- Соколов Л.И. Антропогенные изменения ихтиофауны рек Центральной России // Соросовский образовательный журнал. 2001. Том 7. № 1. С. 19–25.
- Шевченко А.М. Современные тенденции изменения состава ихтиофауны верховьев бассейна реки Урал // Мат-лы по флоре и фауне Республики Башкортостан: научный журнал. Вып. XXI. Уфа: РИЦ БашГУ. 2018. С. 119–129.
- Sládeček V. System of water quality from the biological point of view. Archiv für Hydrobiologie – Beiheft: Ergebnisse der Limnologie 7. Stuttgart, 1973. 218 p.

ОБ АВТОРЕ

Гареев Ауфар Миннигазимович — доктор геогр. наук, профессор, зав. Лабораторией водохозяйственных исследований и геоэкологии Уфимского университета науки и технологий (УУНИТ), Отличник водного хозяйства РФ.
aufar.gareev@mail.ru

HYDROLOGICAL-ECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF SMALL RIVERS OF THE URAL RIVER BASIN (WITHIN RUSSIA)

A.M. Gareev

Ufa State University of Science and Technology, Russia

Abstract. Relevance. The transboundary basin of the Ural River has been experiencing a rather tense water and ecological situation for the last decades. The existing contradictions in understanding of the ongoing hydrological and ecological changes in the Ural River itself, as well as its numerous tributaries, necessitate a comprehensive study of the influencing natural and anthropogenic factors, identification of their significance on an interstate scale and application of the obtained materials in the system of management of water use and water protection measures in the river basin as a whole. Proceeding from the above, the article presents the results of the study of small rivers of the Ural River basin within the Russian Federation, characterised by the peculiarities of changes in river flow and environmental conditions in them depending on the influence of a combination of natural and anthropogenic factors. Published and stock sources, as well as materials obtained as a result of numerous scientific researches and investigations in the river basin under the scientific supervision of the author were used as initial information. As a result of the study, the peculiarities of the impact of human economic activity on small rivers and natural complexes of their catchments have been revealed. The characteristics of spatial and temporal variability of influencing factors on the change of slope and river flow are revealed, the features of influence of anthropogenic factors on water quality in water bodies and ecological conditions in them are studied, proposals on ecological rehabilitation, conservation and restoration of small rivers - tributaries of different orders of the transboundary Ural River are substantiated.

Key words: small river, basin, economic activity, surveys, degradation, influencing factors, ecological conditions, Ural River basin

REFERENCES

- Bakanov A.I. Use of zoobenthos for monitoring of freshwater reservoirs // *Inland Waters Biology*. 2000. № 1. P. 68–82.
- Baklanov M.A. Fauna and features of fishes of small rivers of urbanised territories of the Kama region. Autoref. Dissertation of Candidate of Biological Sciences. Perm. 2002. 18 p.
- Barinova S.S., Medvedeva L.A., Anisimova O.V. Biodiversity of algae-indicators of the environment. Tel-Aviv, 2006. 500 p.
- Bioindication of ecological state of plain rivers / edited by O.V. Bukharin and G.S. Rosenberg. Moscow: Nauka, 2007. 403 p.
- Gareev A.M. Methodical issues of spatial and temporal analysis of accelerated erosion development // Fourteenth Plenary Interuniversity Coordination Council on the problems of erosion, channel and estuarine processes. Ufa: BashSU Publishing House. 1999. P. 14–17.
- Gareev A.M. Methodical instructions on optimisation of allocation of capital investments for water protection measures on the catchment area of the river basin. Ufa. RIO Bashk. un-ta, 1991. 19 p.
- Gareev A.M. Some characteristics of slope and river runoff changes under conditions of degradation of natural complexes on the catchment // *Water economy of Russia. Special issue*. Ekaterinburg: Izd-vo RosNIIVH, 2003. P. 41–48.
- Gareev A.M. Optimisation of water protection measures in the river basin (geographical and ecological aspect). SPb.: Gidrometeoizdat. 1995. 190 p.
- Gareev A.M. Fundamentals of Scientific Research. Ufa: RIC BashGU. 2019. 78 p.
- Gareev A.M. Features of activation of erosion processes development depending on the increase of the maximum runoff at the catchment in the conditions of natural complexes degradation / *Clean Water of Russia*. Ekaterinburg. Izd-vo RosNIIVH. 2005. P. 21–22.
- Gareev A.M. Protection of water of the land. Ufa. RIC BashGU, 2021. 336 p.
- Gareev A.M. Rivers, lakes and swamp complexes of the Republic of Bashkortostan. Ufa: Gilem, 2012. 248 p.
- Gareev A.M., Musin S.N. Features of transformation of slope, river flow and development of erosion processes depending on the influence of pasture load on natural complexes // Seventeenth Interuniversity Coordination Council on the problem of erosion, channel and estuarine processes. Krasnodar. 2002. P. 79–80.
- Gareev A.M., Belan L.N., Goryachev V.S., Farhutdinov A.M., Baryshev V.I., Shevchenko A.M., Ostrovskaya Y.V., Akhmedyanov D.I. Main characteristics of transformation of hydrological-ecological conditions in small rivers in the zone of influence of mining objects (on the example of the rivers Karagaily and Khudolaz in the basin of the Ural River) // *Vest. Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan*. 2021. Vol. 39, No. 2 (102). P. 49–57.
DOI: 10.24412/1728-5283-2021-2-49-57
- Gollerbach M.M., Kosinskaya E.K., Polyansky V.I. Definitel of freshwater algae of the USSR. Vyp. 2. Blue-green algae. Moscow: Sov. nauka, 1953. 654 p.
- Dyachenko I.P. Fish and fish resources of Bashkortostan. Ufa: RIC BashGU, 2013. 152 p.
- Dyachenko I.P., Bikkinin R.F. Fish of Bashkiria // *Ecology of water bodies of Bashkiria*. Ufa: Gilem, 1998. P. 94–135.
- Zakharov V.Yu. State of ichthyofauna in Udmurtia water bodies as a reflection of anthropogenic pressure // *Ecological problems of the Urals: study strategy and ways of solution*. Proceedings of the scientific-practical conf. Izhevsk, 1994. P. 135–137.
- Zabelina M.M., Kiselev I.A., Proshkina-Lavrenko A.I., Sheshukova V.S. Definitel of freshwater algae of the USSR. Vyp. 4. Diatom algae. Moscow: Sov. nauka. 1951. 620 p.
- Zuev I.V. Goljanec of the genus *Phoxinus* (family *Cyprinidae*) of the Yenisei and Pyasina river basins. Author's thesis. Candidate of Biological Sciences. Tomsk. 2007. 22 p.
- Kaplin V.G. Bioindication of the state of ecosystems. Samara: SGSKhA, 2001. 144 p.
- Kotegov B.G. Species composition of ichthyofauna and anthropogenic succession of ichthyocenoses of small rivers of Udmurtia // *Modern aspects of ecology and environmental education*. Proceedings of the All-Russian scientific conference Kazan: Kazan State Univ. 2005. P. 240–241.
- Makrushin A.V. Biological analysis of water quality. L.: ZIN AS SSR, 1974. 60 p.
- Methods of studying biogeocenoses of inland water bodies / ed. by V.N. Mitropolsky, F.D. Mordukhai-Boltovskoy. Moscow: Nauka, 1978. 240 p.
- Nikolskiy G.V. Fish Ecology. Moscow: Higher School, 1974. 367 p.
- Oleksiv I.T. Quality indicators of natural waters from ecological positions. Lviv: Sweet. 1992. 232 p.
- Definitel of freshwater invertebrates of Russia and neighbouring territories. T. 1 / ed. by S.Y. Tsalolikhin. SPb: Nauka. 1994. 395 p.
- Definitel of freshwater invertebrates of Russia and adjacent territories. T. 2 / ed. by S.Y. Tsalolikhin. SPb: Nauka. 1995. 628 p.
- Definitel of freshwater invertebrates of Russia and neighbouring territories. T. 3 / ed. by S.Y. Tsalolikhin. SPb: Nauka. 1997. 440 p.

Definitel of freshwater invertebrates of Russia and neighbouring territories. T. 5 / ed. by S.Y. Tsalolikhin. SPb: Nauka. 2001. 836 p.

Definitel of freshwater invertebrates of Russia and neighbouring territories. T. 4 / ed. by S.Y. Tsalolikhin. SPb: Nauka. 2004. 987 p.

Pankratova V.Ya. Larvae and pupae of mosquitoes of the subfamily *Chironominae* (*Diptera*, *Chironomidae*) of the USSR fauna. L.: Nauka, 1983. 296 p.

Sokolov L.I. Anthropogenic changes in the ichthyofauna of the rivers of Central Russia // Soros Educational Journal. 2001. Vol. 7. No. 1. P. 19–25.

Shevchenko A.M. Modern trends in the composition of ichthyofauna of the upper reaches of the Ural River basin // Matls on the flora and fauna of the Republic of

Bashkortostan: scientific journal. Issue XXI. Ufa: RIC BashGU. 2018. P. 119–129.

Sládeček V. System of water quality from the biological point of view. Archiv für Hydrobiologie - Beiheft: Ergebnisse der Limnologie 7. Stuttgart, 1973. 218 p.

ABOUT THE AUTHOR

Gareev Auzar Minnigazimovich — Doctor of Geographical Sciences, Professor, Head of Laboratory of Water Management Research and Geoecology of the Ufa University of Science and Technology (Lunit), an excellent water management specialist of the Russian Federation.

ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ РУСЛОВЫЕ ДЕФОРМАЦИИ НА РЕКАХ УДМУРТИИ

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

Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, Россия

rysin.iwan@yandex.ru, **ivanrigig@yandex.ru, *petlar75@mail.ru*

Поступила в редакцию 28.01.2025

После доработки 17.02.2025

Принята к публикации 25.03.2025

Аннотация. Представлены результаты исследования смещения русел за 2000–2023 гг. на 55 ключевых участках, расположенных на реках разной величины, протекающих в условиях различных ландшафтов Удмуртии. Скорости размыва определялись с помощью реперов и инструментальной съемки с применением беспилотных летательных аппаратов. Для анализа полученных результатов реки были разделены на 4 группы по величине их порядков (по методике А. Шайдеггера). Максимальные размывы характерны для рек с порядком выше 14 (до 15 м/год), для средних рек с порядком 9–14 эти величины составляют 6–8 м/год. Для малых рек с порядком 6–9 максимальные размывы достигали 5.5 м/год, а для очень малых рек (порядок 6 и менее) соответственно до 4.2 м/год в естественных условиях и до 8.1 м/год при техногенном вмешательстве. Получены статистические показатели среднегодовых и максимальных размывов на реперных участках за рассматриваемый период. Корреляционный анализ показал наличие высокой достоверной связи между скоростью размыва и порядком реки и, соответственно, среднегодовыми и максимальными расходами. Приводится анализ размывов за 23-летний временной интервал с определением уравнения тренда по выделенным группам рек.

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

DOI: [10.71367/3034-4638-2025-2-1-46-60](https://doi.org/10.71367/3034-4638-2025-2-1-46-60)

ВВЕДЕНИЕ

Для рационального использования и охраны водных ресурсов необходимы исследования характеристик русел и русловых деформаций, поскольку они тесно взаимосвязаны и являются составной частью эрозионно-русловых систем, где на протяжении геологического времени происходит размыв и переотложение материала. Размывы берегов рек — наиболее заметное проявление русловых деформаций. Они сопровождаются образованием прирусловых отмелей у противоположных берегов и обуславливают изменение различных параметров русловых форм. Экологически значимые связи в эрозионно-русловых системах обуславливаются обменом веществом и энергией между различными звеньями системы. Характер и направленность этих связей во многом зависят от климатических и ландшафтных условий территории. Наряду с климатом еще более значимую роль в изменении эрозионно-русловых систем играет хозяйственное преобразование ландшафтов (Маккавеев,

1955; Чалов Р.С., 1998, 2008, 2011; Knighton, 1998; Robert, 2003). Особую актуальность имеет эволюция эрозионно-русловых систем в процессе интенсивного земледелия с мелиоративными мероприятиями и его трансформации при изменении эколого-экономических условий. Слабоизученным до сих пор является вклад русловых деформаций в балансовую составляющую стока наносов (Чалов С.Р., 2021). Разработка гидротехнических мероприятий не может быть решена без исследования закономерностей русловых процессов. Результаты этих исследований являются составной частью гидрологического обоснования проектов различных водохозяйственных мероприятий и имеют большое практическое значение (Антроповский, 2006; Беркович, 2001; Чалов, 2011; Чернов, 2009; Эрозионно..., 2017 и др.).

Целью данной статьи являются оценка многолетней динамики скоростей горизонтальных русловых размывов на различных реках Удмуртии, различающихся как порядком, так и ландшафт-

ными особенностями их бассейнов, и выявление наиболее значимых факторов с помощью корреляционного анализа, а также сопоставление данных реперных измерений с показателями, полученными в результате инструментальных съемок на отдельных участках. Данные мониторинга русловых размывов послужат в дальнейшем основой для прогнозирования развития излучин в конкретных ландшафтно-геоморфологических условиях с целью предотвращения опасных геоэкологических ситуаций.

Равнинная территория Удмуртской Республики (УР) расчленена густой сетью рек, общая протяженность которых составляет почти 30 000 км, при этом средняя плотность речной сети составляет 0.71 км/км². Проявляется зональное увеличение и густоты речной сети с юга на север (0.45–0.95 км/км² и более), и модулей стока рек (от 4.5–5.0 на юге до 8–9 л/с·км² на севере). Преобладают широкопойменные реки с активным развитием процессов меандрирования (Рысин, Петухова, 2006; Петухова, Рысин, 2006; Атлас..., 2020). В пределах территории УР преобладают южно-таежные ландшафты в северной и центральной частях, на юге они сменяются сильно преобразованными хозяйственной деятельностью ландшафтами смешанных (хвойно-широколиственных) лесов.

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 и различные ландшафты (рис. 1). 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 ежегодно (с 1999 г.) в летний период (чаще в июле), а на отдельных участках (около г. Ижевска) еще дополнительно весной (май) и осенью (октябрь) (Рысин, Петухова, 2006).

Одним из методов изучения динамики рельефа является метод стержней и марок (Спиридонов, 1970). Сущность его заключается в проведении повторных замеров расстояний до неподвижных стержневых реперов или марок. Детальное описание применяемой методики и анализ результатов представлены в нашей работе (Рысин и др., 2024). В пределах 30 участков осуществлялась тахеометрическая съемка размываемого берегового уступа. В случае смещения размываемого участка вниз по

течению в исследуемой излучине закладывались новые реперы (что случалось крайне редко), на неразмываемых участках реперные объекты также сохранялись и замеры продолжались. Учитывались также локальные участки размывов в виде небольших оползней-обвалов, где отсутствовали реперы.

Наряду с полевыми данными широко использовались крупномасштабные топографические карты, аэрофото- и космические снимки, по которым определялись различные морфологические и морфометрические характеристики русла. Реки от истока до устья были разделены на отдельные достаточно однородные по водности участки, границами которых служили места впадения крупных притоков. Общее количество выделенных участков на реках составило 245. Для каждого из участков рек определялись модальные значения параметров излучин: шаг L , радиус кривизны r , стрела прогиба h , длина l , высота размываемого уступа H и другие. Для безразмерных параметров l/L и r/h — использовались осредненные значения. Расчеты были проведены для 3827 отдельных излучин, и результаты были опубликованы ранее (Рысин, Петухова, 2006).

По соотношению основных параметров излучин и прежде всего по степени развитости излучины l/L были выделены, в соответствии с морфодинамической классификацией МГУ (Чалов Р.С. и др., 2004; Чалов Р.С., 2011), основные морфодинамические типы русел. На территории УР выделено 6 типов русел: прямолинейные ($l/L < 1.15$), сегментные пологие излучины ($1.15 < l/L < 1.40$), сегментные развитые ($1.40 < l/L < 1.70$), сегментные крутые ($1.70 < l/L < 2.00$), петлеобразные ($l/L > 2.00$) и прорванные ($l/L = 1.50–2.00$). Полученные таким образом данные послужили основой для заложения реперных объектов и мест тахеометрической съемки (Рысин, Петухова, 2006). Мониторинг русловых размывов осуществлялся преимущественно на излучинах разной степени развитости, исключением являлись прямолинейные участки с отсутствием размывов.

Геодезическая съемка, как правило, проводилась на активно размываемых участках рек вначале с помощью отечественных оптических теодолитов Т30 и 2Т30, а с 2001 г. начали применяться лазерные тахеометры «Trimble 3305», затем «Nicon NPR-332». Тахеометрическая съемка позволяет рассчитать не только линейные параметры размыва, но также площадные и объемные показатели (Григорьев, Рысин, 2008; Гафуров и др., 2018).

С 2019 г. для изучения эрозионных процессов на большинстве ключевых участков нами применяется спутниковый приемник «ЕFT» вместе с беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) «DJI

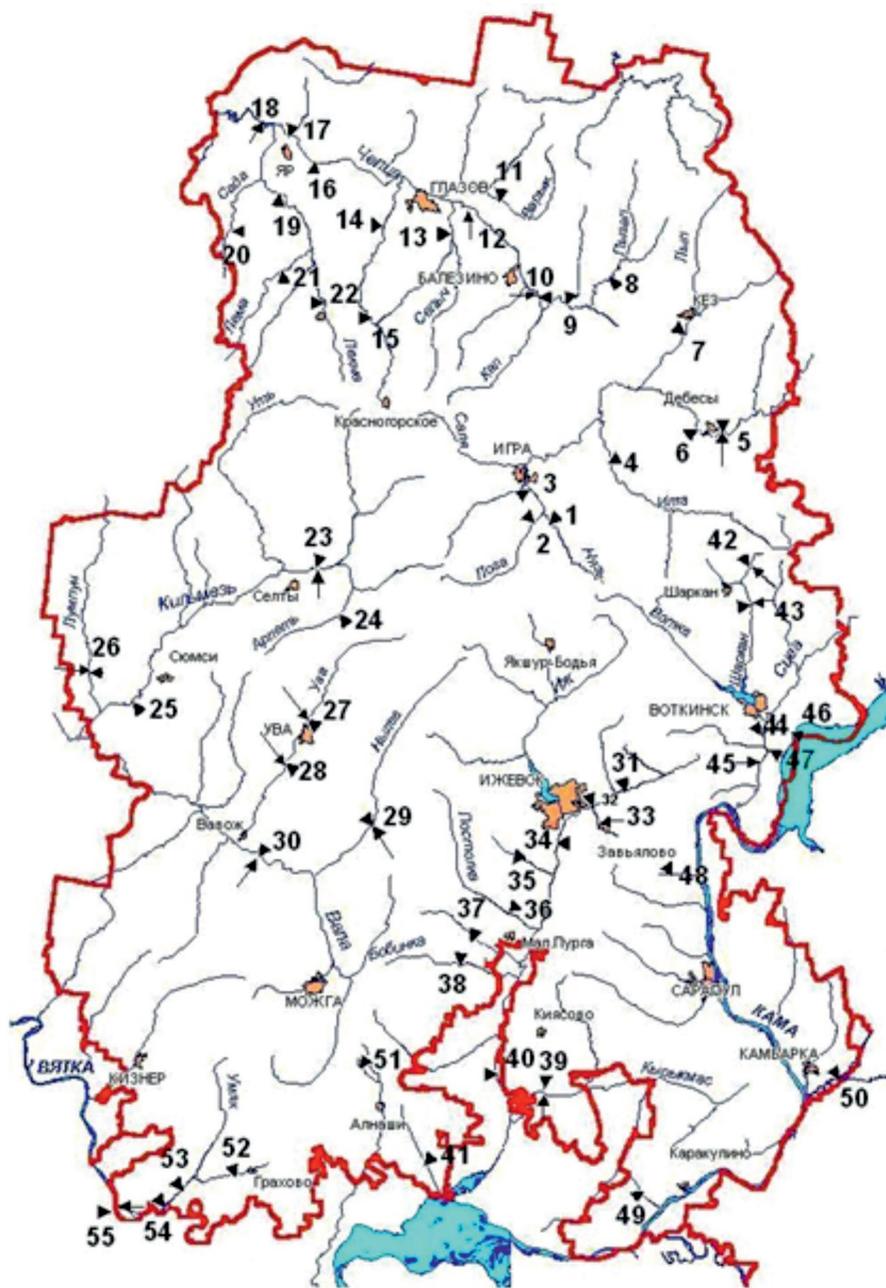


Рис. 1. Карта-схема расположения ключевых участков по изучению морфодинамики русел рек Удмуртской Республики. Условные обозначения: цифрами показаны номера участков; ▼ — участки с реперными наблюдениями; ↑ — участки с тахеометрической съемкой

Fig. 1. Map-diagram of the location of key sites for the study of morphodynamics of riverbeds of the Udmurt Republic. Symbols: digits show key sites numbers; ▼ — the key sites with reapers observations; ↑ — tachymetric survey sites

Phantom 4» и «Autel Evo II PRO». Снимки с БПЛА отличаются сверхвысоким пространственным разрешением и имеют высокую скорость получения. Общая методика использования БПЛА для географических исследований обычно включает 6 этапов, в завершение которых создаются цифровая модель местности (ЦММ) и ортофотоплан (Григорьев, Рысин, 2020).

Для повышения точности ортофотопланов обычно используется привязка к наземным маркерным пунктам, координаты которых определяются с помощью спутниковых приемников. В итоге точность ортофотопланов достигает 5–10 см. Обработка аэрофотоснимков проводится нами в программе «Agisoft Metashape Professional» (РФ). В исследовании выполнялось построение 3d-моделей, ортофотопланов и

ЦММ. Подготовка топографических планов, расчет площадей и объемов размывов осуществляются с использованием программного комплекса «Кредо».

Для вычисления объемов обычно используются 2 метода: геодезический и фотограмметрический. Геодезический (классический) метод основывается на построении поперечных профилей через равные расстояния (от 2–4 до 5–10 м) электронным тахеометром. С помощью программного комплекса «Кредо» создается цифровая модель рельефа (методом триангуляции), и таким образом получается объем разницей двух поверхностей – по бровке и по дну. В итоге имеется картограмма вычисления объема или по сетке квадратов, или по контуру. Рассчитанный объем сравнивается с объемом за предыдущий год. Полученная разница и будет объемом вынесенного материала за текущий календарный год (Григорьев, Рысин, 2009).

Фотограмметрический метод предусматривает использование БПЛА. В результате обработки снимков БПЛА в программе Agisoft Metashape Professional получаем ортофотоплан и цифровую модель рельефа, жестко привязанные к требуемой системе координат (условная система координат при использовании своих реперов или МСК-18 при использовании ГНСС-приемников EFT M1) (РФ). В дальнейшем ортофотоплан можно использовать в качестве подложки для проведения линейных измерений в различных ГИСах (MapInfo, ArcGis и т. п.) и САПР (Автокад, Кредо). Фотограмметрический метод используется в наших исследованиях с 2019 г.

Анализ полученных за двадцать с лишним лет полевых данных свидетельствует о большом диапазоне скоростей бокового размыва. При этом имеются существенные различия по рекам, отличающимся размерами (порядком, водоносностью и т. д.). Одной из характеристик водотока, дающей осредненное представление о размере реки, условным индексом речного потока является порядок реки. Для рек территории УР расчет их порядков выполнялся по схеме А.Е. Шайдеггера (1964):

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

где P – число притоков 1-го порядка (притоком 1-го порядка считается река длиной менее 10 км). Порядок рек можно также использовать как критерий перехода от малых рек к средним и большим (крупным). Для территории УР предлагается относить реки 1–6-го порядков к очень малым, 6.1–9-го порядков к малым, реки 9.1–14-го порядков – к средним и свыше 14.1 порядка – к большим (крупным).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ полученных за двадцать четыре года (2000–2023 гг.) полевых реперных наблюдений свидетельствует, что наибольшие скорости размыва характерны для рек с порядком выше 9-го (по А. Шайдеггеру). Максимальные значения размыва, наблюдаемые на таких реках, достигают 6–8 м и более, среднегодовые скорости размыва колеблются в интервале 0.8–3.1 м/год. На р. Вятке, имеющей 15-й порядок, среднегодовые скорости размыва превышают 3–5 м/год, а максимальные из зафиксированных значений составляют 12–15 м/год. Достаточно активно проявляются горизонтальные русловые деформации на р. Чепце у д. Яр (порядок 12.3): среднегодовые скорости размыва здесь составляют обычно 1–3 м/год, а максимальные – 7.1 м были отмечены в 2005 г.

С порядком реки тесно связаны и некоторые морфодинамические характеристики русла, такие как ширина и глубина русла, их отношение, а также среднемаксимальные расходы рек, что было подтверждено на различных реках Европейской России, Сибири и Дальнего Востока (Чернов, 2009; Джуха, Чалов Р.С., 1989; Завадский, Чалов Р.С., 1997; Павлов, 1994; Назаров, Егоркина, 2004).

Для малых рек (6.1–9 порядок) средние скорости отступления берега составляют 0.4–0.6 м/год. Но на отдельных участках размывы намного выше: на р. Кырыкмас (лев. пр. р. Иж) у д. Тавзямал в 2012 г. максимальный размыв составил 5.05 м, в 2017 г. – 5.35 м. На р. Пызеп (прав. пр. р. Чепцы) у д. Бани в 2012 г. максимальный размыв на одном из участков составил 4.8 м, а в 2019 г. данный показатель достиг рекордных для данной группы 5.5 м.

Для очень малых рек (порядок 6.0 и ниже) значения средних скоростей размыва составляют 0.1–0.3 м/год, хотя в отдельных точках зарегистрировано смещение берега на 1 м и более. Так, на участке р. Шаркан (лев. пр. р. Вотки) у д. Титово (порядок 5.6) средний максимальный размыв в 2000 и в 2003 гг. превысил 2 м. На р. Адамке (лев. пр. р. Умяк) у с. Грахово (порядок 3.8) средний максимальный размыв в 2011 г. составил 4.2 м, а на р. Агрызке (прав. пр. р. Иж) у д. Баграш-Бигра (порядок 4.5) максимальный размыв в 2003 г. составил 8.1 м, что было вызвано прорывом земляной дамбы вышерасположенного пруда. Относительно низкие скорости горизонтальных русловых деформаций характерны и для малых рек соседнего Пермского края и Республики Татарстан (Назаров, Егоркина, 2004; Мозжерин, Курбанова, 2004). По данным стационарных наблюдений, на малых и средних реках Европейской части России

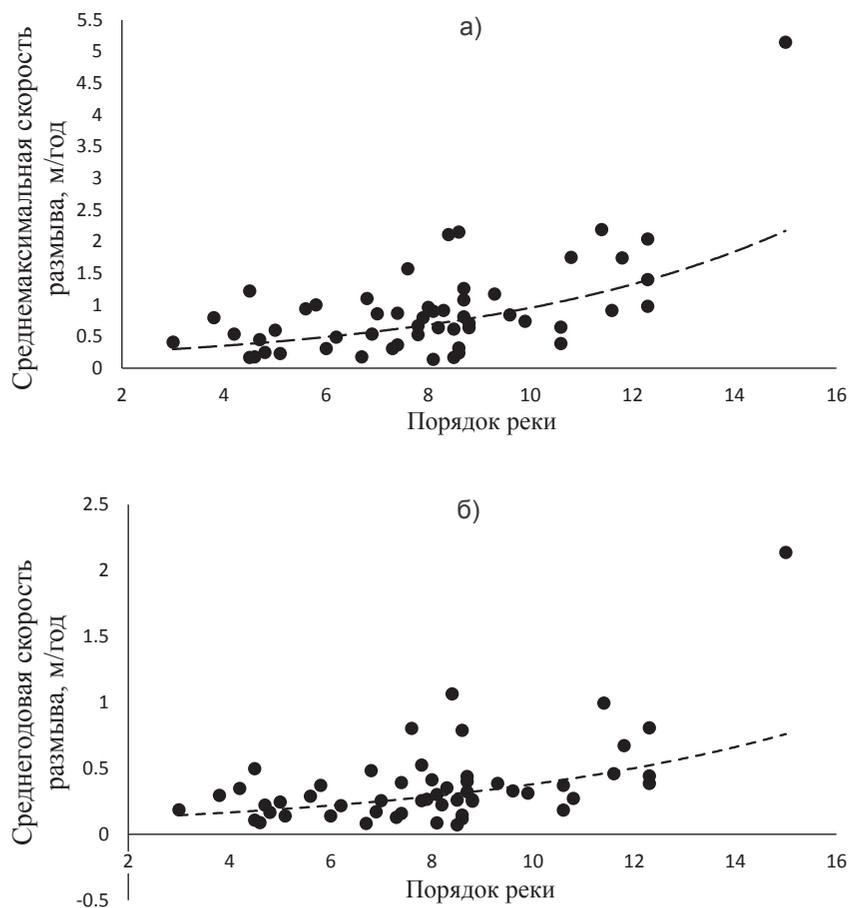


Рис. 2. Зависимость среднемаксимальных (а) и среднегодовых (б) скоростей размыва от порядка реки на территории Удмуртии за период 2000–2023 гг.

Fig. 2. The dependence of the average maximum (a) and average annual (б) erosion rates on the order of the river in the territory of Udmurtia for the period 2000–2023

среднегодовые величины смещения береговых уступов редко превышают 2–4 м, в основном они варьируют в пределах 0.2–1.5 м (Завадский и др., 2010).

Все вышесказанное подтверждается и рассчитанными статистическими зависимостями между среднегодовыми и среднемаксимальными размывами, с одной стороны, и величиной порядка реки, с другой. Установлена криволинейная зависимость экспоненциального вида, поэтому наряду с обычным коэффициентом корреляции (r) были рассчитаны корреляционное отношение (η) и квадрат корреляционного отношения (η^2) по методике Г.Ф. Лакина (Лакин, 1990). На графике видно, что значения среднегодовых (V_{sr}) и среднемаксимальных (V_{max}) скоростей размыва берегов возрастают с увеличением порядка реки (рис. 2).

Коэффициенты корреляции между среднегодовыми размывами и порядком реки ($r = 0.54$; $\eta = 0.51$; $\eta^2 = 0.26$) указывают на достаточно тесную связь, что наглядно показывает и график (рис. 2а).

Показатели связи между среднемаксимальными размывами и порядком реки ($r = 0.59$; $\eta = 0.68$; $\eta^2 = 0.46$) также свидетельствуют о еще более существенной взаимосвязи (рис. 2б). Полученные зависимости описываются экспоненциальными уравнениями и близки к ранее полученным зависимостям (Petukhova, Rysin; 2006, Петухова, Рысин, 2006):

$$V_{sr} = 0.0951e^{0.139x} \text{ (рис. 2а),}$$

$$V_{max} = 0.1843e^{0.164x} \text{ (рис. 2б).}$$

Статистические показатели средних годовых и максимальных размывов на реперных участках за рассматриваемый период представлены в нижеследующих таблицах (табл. 1 и 2).

Анализ статистических данных показывает, что изменчивость величин размыва берегов рек относительно средней величины варьируется в значительных пределах. Коэффициенты вариации самые низкие у средних и больших рек, что, вероятно,

Таблица 1. Статистические показатели по среднегодовым размывам русел рек Удмуртии по реперным данным за период 2000–2023 гг.**Table 1.** Statistical indicators of average annual erosion of riverbeds in Udmurtia based on benchmark data for the period 2000–2023

Порядок реки	N^*	M	Max	Me	σ	E	A	Cv
6.0 и менее	264	0.24	3.15	0.15	0.001	41.3	5.07	1.21
6.1–9.0	591	0.31	3.05	0.20	0.001	13.9	3.18	1.22
9.1–14.0	210	0.44	3.1	0.30	0.002	7.97	2.34	1.02
14.1 и более	24	2.08	5.9	1.40	0.063	0.21	1.02	0.73
Все реки	1089	0.36	5.9	0.20	0.001	29.3	4.45	1.42

*Условные обозначения: N – количество показателей, M – среднее арифметическое, Max – максимальное значение, Me – медиана, σ – стандартная ошибка, E – эксцесс, A – асимметричность, Cv – коэффициент вариации.

Таблица 2. Статистические показатели по максимальным размывам русел рек Удмуртии по реперным данным за период 2000–2023 гг.**Table 2.** Statistical indicators of maximum erosion of riverbeds in Udmurtia based on benchmark data for the period 2000–2023

Порядок реки	N^*	M	Max	Me	σ	E	A	Cv
6.0 и менее	264	0.55	8.1	0.34	0.003	37.9	4.94	1.38
6.1–9.0	591	0.74	6.7	0.40	0.002	9.63	2.70	1.22
9.1–14.0	210	1.09	7.2	0.70	0.006	5.44	2.07	1.12
14.1 и более	24	4.93	15.0	3.03	0.191	–0.06	1.09	0.93
Все реки	1089	0.87	15.0	0.50	0.001	37.25	4.96	1.51

*Условные обозначения см. в табл. 1.

косвенно может указывать на их более высокую размывающую способность по сравнению с малыми водотоками. Значения медианы и среднего арифметического несильно отличаются друг от друга, при этом медиана во всех случаях меньше среднего, то есть совокупность крайне неоднородна и содержит экстремальные значения. Асимметрия во всех случаях положительна, для большинства рек преобладают высокие значения, что говорит о преобладании значений ниже среднего. Значения асимметрии, близкие к единице, отмечены только для рек с порядком более 14.1, следовательно, распределение значений размывов здесь мало отличается от нормального. По высоким положительным значениям эксцесса можно узнать, что графики распределения величин размывов по всем группам рек являются островершинными, за исключением максимальных размывов на реке с порядком более 14.1 (р. Вятка), здесь этот график – плосковершинный.

Анализ результатов реперных замеров за 24 года показал, что в настоящее время отмечается тенденция уменьшения скоростей береговых размывов

как для среднегодовых, так и для максимальных значений (рис. 3). Возможно, это связано с тем, что в последние годы снижается интенсивность половодного и паводочного стока на исследуемых реках, что не всегда подтверждается результатами тахеометрических съемок на отдельных реках и максимальными половодными расходами и уровнями, зарегистрированными на гидропостах. По другой версии, участки активного размыва, возможно, сместились за прошедшее время от мест с реперными наблюдениями на ниже расположенные излучины. О смещении максимальных участков размыва в сторону нижнего крыла излучины указывается, например, в наблюдениях на р. Керженец в Нижегородском Заволжье (Кораблева, Чернов, 2012, 2019).

По графикам видно, что они в общем виде имеют сходство, особенно в начале и в конце наблюдений. Если для среднегодовых значений размыва максимальные значения тяготеют к первой половине наблюдений (рис. 3А) и относятся к 2001 (0.53 м), 2006 (0.52 м), 2000 и 2010 гг. (0.49 м), то для

среднемаксимальных значений к перечисленным годам добавляется еще 2005 г. (1.31 м) (рис. 3б). В эти годы на большинстве рек, где ведутся гидрологические наблюдения, максимальные расходы половодья превышали многолетние среднегодовые от 6–13 раз (р. Чепца, Сива, Вала, Позимь и др.) до 32 (2000 г.) – 90 раз (2001 г.) на малой реке Адамке (левобережье нижней Вятки).

С другой стороны, и абсолютные минимумы расположены в левой части графика и относятся к 2004 г. В этот год на большинстве исследуемых рек наблюдались очень низкие расходы половодья, превышающие многолетние среднегодовые от 3.5 (р. Сива) до 5.7 раза (р. Позимь), а на р. Адамке в 15.4 раза, что является самым низким показателем по данной реке за имеющийся ряд наблюдений (1998–2018 гг.). На других реках анализируемый показатель варьировал в пределах 6–9 раз.

Совершенно иная картина наблюдается на самых малых реках с порядком водотоков от 6 и менее. На обоих графиках отчетливо выделяется хорошо выраженный отрицательный тренд. Если для среднегодовых значений максимумы характерны для 2011 (0.51 м) и 2003 (0.43 м) гг., то для среднемаксимальных значений максимум смещен на правую сторону графика и отмечен в 2018 г.

(1.67 м), при этом второй максимум совпадает с первым для средних значений и зарегистрирован в 2011 г. (1.34 м) (Рысин и др., 2024).

Для 28 малых рек (порядок 6.1–9.0) на графике среднегодовых размывов отрицательный тренд практически не заметен, показатели средних размывов варьируют близко к средним значениям. Минимальные значения характерны для левой части графика и зарегистрированы в 2004 (0.14 м) и 2009 гг. (0.17 м). Два одинаковых максимума наблюдались в 2006 и 2016 гг. (0.47 м), третий максимум отмечался в 2022 г. (0.44 м). Для среднемаксимальных размывов график существенно отличается, здесь отчетливо выражен отрицательный тренд. Максимальные значения отмечались в начале наблюдений – в 2001 (1.15 м) и 2006 гг. (1.17 м), а минимумы смещены в правую часть графика и отмечались в последние годы – в 2020 (0.41 м) и 2021 гг. (0.40 м).

Наблюдения на средних водотоках (порядок 9.1–14) осуществляются на 5 реках в пределах 12 участков. Оба графика имеют хорошо выраженный отрицательный тренд с соответствующими уравнениями. Максимальные значения среднегодовых размывов были отмечены в 2001 (0.75 м) и 2005 гг. (0.72 м), минимальные, соответственно, – в 2004,

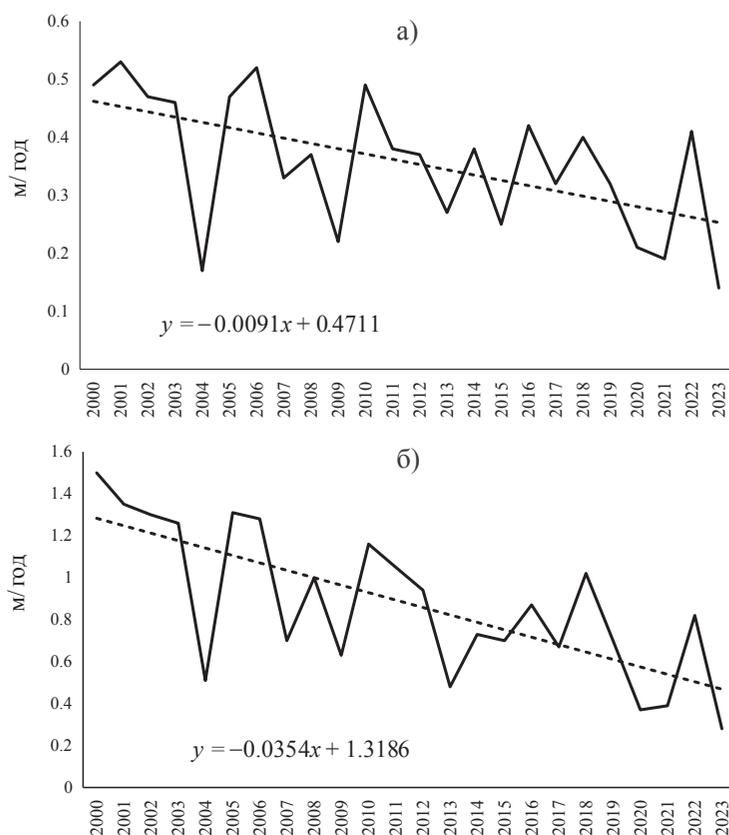


Рис. 3. Динамика среднегодовых (а) и среднемаксимальных (б) скоростей размыва (м/год) на реках Удмуртии за 2000–2023 гг. по данным реперных наблюдений

Fig. 3. Dynamics of average annual (a) and average maximum (б) erosion rates (m/year) on the rivers of Udmurtia for 2000–2023

2009 (0.18 м) и 2021 гг. (0.16 м). Для среднемаксимальных размывов минимальные значения наблюдались, как и для предыдущей группы рек, в последние годы – в 2020 (0.38 м) и 2021 гг. (0.42 м), максимумы были отмечены в 2005 (2.29 м) и 2010 гг. (1.64 м) (Рысин и др., 2024).

Графики среднегодовых и максимальных значений размыва за анализируемый период для р. Вятки на участке «Крымская Слудка» очень близки по характеру рисунка и имеют отчетливо выраженный отрицательный тренд. Наибольшие значения среднегодовых (5.9 м) и максимальных размывов (15 м) были зарегистрированы в 2005 г., как и для группы средних рек. Второй максимум значений для среднегодовых размывов был отмечен в 2010 г. (4.5 м), а для максимальных размывов, соответственно, в 2002 г. (14.2 м). Минимальные значения размывов были зафиксированы в 2015 г.: для среднегодовых значений – 0.35 м, а для максимальных – 0.6 м. Второй по величине минимум для среднегодовых размывов относится к 2013 г. (0.6 м), а для максимальных – к 2014 г. (1.0 м). В литературе описываются в основном средние многолетние размывы для крупных и крупнейших рек в пределах 10–15 м/год, но также есть сведения о боковых размывах до 200 м в год, а скорость смещения форм руслового рельефа может превышать 300 м (Попов, Кондитерева, 1974; Чалов Р.С. и др., 2016, 2017; Махинов и др., 2018).

Поскольку наблюдения за боковым размывом на самых малых водотоках ведутся на 14 реках, а гидрологический пост, где регулярно измеряются расходы и уровни, имеется лишь на одной р. Адамке (с. Грахово), то говорить о роли этих факторов, влияющих на величину размыва самых малых рек, будет необъективно. Так, например, для реки Адамки степень влияния максимальных расходов половодья на среднегодовые и среднемаксимальные размывы достоверно не установлена (рис. 4а).

Для малых рек статистически достоверная связь между максимальными скоростями размыва и максимальными расходами установлена для р. Лозы (лев. пр. р. Чепцы) на ключевом участке у пос. Игра (порядок реки 8.8), где имеется гидрологический пост с рядами наблюдений за 2002–2018 гг. Линейное уравнение и коэффициенты связи представлены на рис. 4б. Для данной реки выявлена также высокая положительная связь между среднегодовыми размывами и среднегодовыми расходами ($r = 0.59$; $R^2 = 0.348$). Статистически достоверная связь также установлена между среднегодовыми скоростями размыва и среднегодовыми расходами на р. Нылге (прав. пр. р. Валы) на участке близ с. Нылга, где также находится гидрологический

пост и имеется аналогичный ряд наблюдений. Связь в данном случае криволинейная и описывается экспоненциальным уравнением с существенными показателями связи ($r = 0.49$; $R^2 = 0.276$) (рис. 4в). Заметно ниже по значимости связь обнаружена между максимальными скоростями размыва и максимальными расходами на р. Сиве (прав. пр. р. Камы) на участке у с. Гавриловка (порядок 10.6), где находится гидропост с рядами наблюдений за 2000–2018 гг. Для данного участка также получено уравнение линейной связи и рассчитаны коэффициенты зависимости ($r = 0.36$; $R^2 = 0.129$) (рис. 4г). Выявлена невысокая, но достоверная положительная связь между максимальными скоростями размыва и максимальными расходами на р. Чепце (порядок 11.4) на участке у д. Каменное Заделье (рис. 4д). Расходы определялись по гидропосту в с. Полом за 2002–2018 гг. Достаточно надежная и существенная криволинейная связь установлена между среднегодовыми скоростями размыва и максимальными расходами на р. Чепце (порядок 12.3) на участке у д. Дизьмино по данным гидропоста в г. Глазове (2000–2018 гг.) (рис. 4е). Аналогичная зависимость была получена для данной реки между максимальными размывами и максимальными расходами ($r = 0.53$; $R^2 = 0.175$) (Рысин и др., 2024).

Для других участков рек, где ведутся регулярные гидрологические наблюдения (р. Вала, Лумпун, Позимь, Адамка), зависимость между вышеприведенными показателями достоверно не установлена. Обращает на себя внимание наличие для некоторых рек отрицательных связей между скоростями размыва и расходами, что можно объяснить действием более влиятельных факторов, таких как слабая размываемость отложений, интенсивное зарастание ранее размываемых участков, влияние хозяйственной деятельности (спуск или создание прудов, берегозащитные мероприятия и т. п.).

На большинстве исследуемых рек ежегодные инструментальные наблюдения продолжались до 2014 г., в последующие годы съемки проводились эпизодически, через 2–6 лет вследствие как организационных, так и финансовых возможностей (Рысин и др., 2020). Наиболее длительный ряд инструментальных наблюдений в настоящее время имеется лишь для рек Сивы (д. Метляки-1 и Метляки-2), Кырыкмас (д. Тавзямал) и Вятки (с. Крымская Слудка).

Анализ многолетних (2003–2023 гг.) полевых инструментальных исследований размывов береговых уступов на реках Удмуртии показал, что скорости бокового смещения русел рек варьируют в большом диапазоне: от десятых долей до нескольких метров (8–17 м/год). Интенсивность

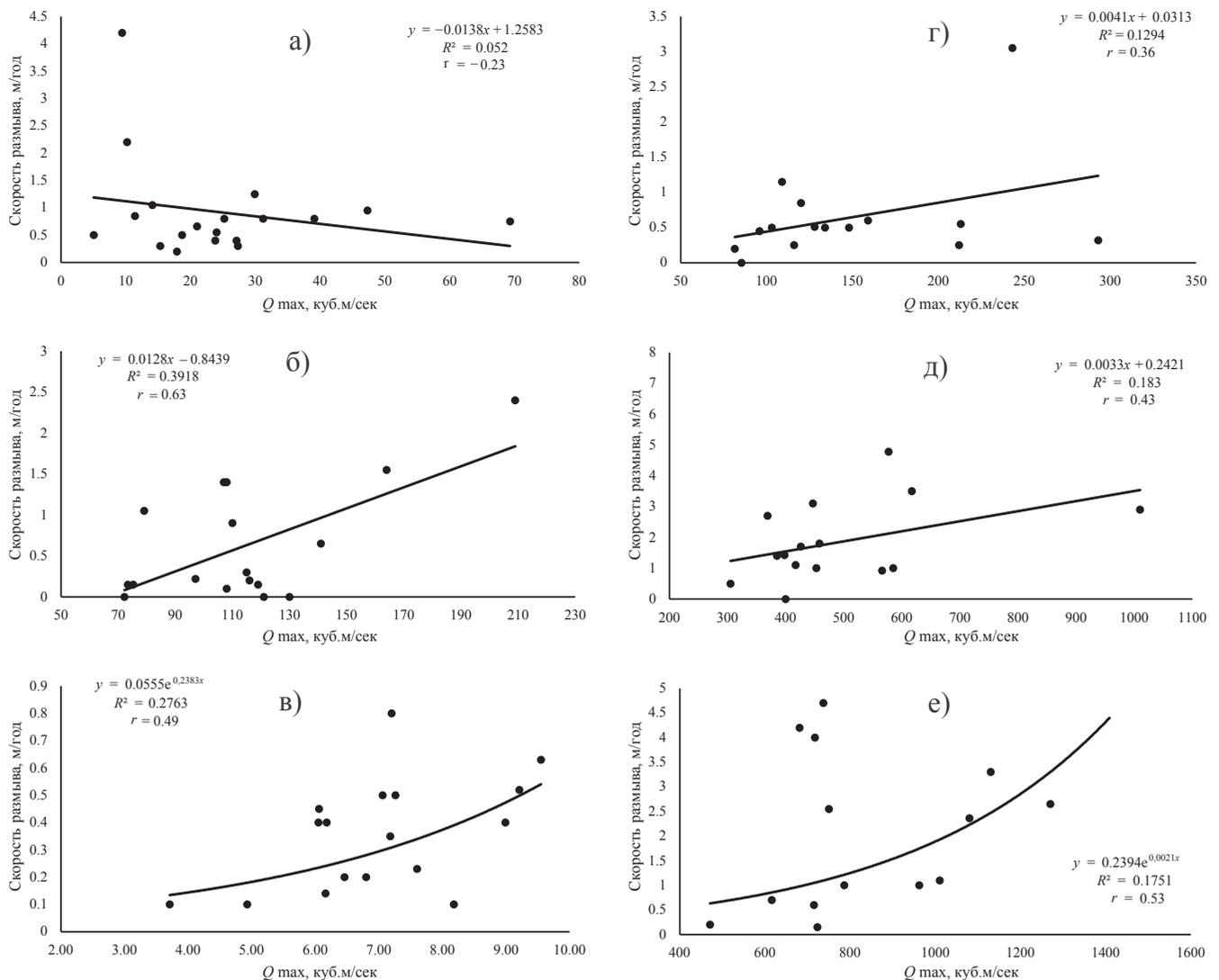


Рис. 4. Графики зависимости максимальных скоростей размыва от максимальных расходов на р. Адамке (с. Грахово) (а), максимальных скоростей размыва от максимальных расходов на р. Лозе (п. Игра) (б), среднегодовых скоростей размыва от среднегодовых расходов на р. Нылге (с. Нылга) (в), максимальных скоростей размыва от максимальных расходов на р. Сиве (с. Гавриловка) (г), максимальных скоростей размыва от максимальных расходов на р. Чепце (д. Каменное Заделье) (д) и среднегодовых скоростей размыва от максимальных расходов на р. Чепце (д. Дизмино) (е)

Fig. 4. Graphs of the dependence of the maximum erosion rates on the maximum costs of the Adamka river (Grakhovo village) (а), the maximum erosion rates on the maximum costs of the Loza river (Igra village) (б), the average annual erosion rates on the average annual costs of the Nylga river (Nylga village) (в), the maximum erosion rates on the maximum costs of Siva River (Gavrilovka village) (г), the maximum erosion rates from the maximum expenditures on the Cheptsra river (Kamennoye Zadelye village) (д) and the average annual erosion rates from the maximum expenditures on the Cheptsra river (Dizmino village) (е)

размыва в первую очередь зависит от водности реки, которая для удобства анализа определяется порядком водотока. Максимальные размывы характерны для реки с порядком 15 (р. Вятка на участке у с. Крымская Слудка), они достигают 16.9 (2005 г.) и 17.1 (2012 г.) м/год. Здесь суммарная средняя величина отступления стенки срыва

оползня за прошедший 21 год составила 42.2 м, а ее протяженность достигла 290 м.

Для средних рек (р. Вала, Чепца у с. Адам и Сива) максимальные значения ширины размыва достигают 5.96–6.15 м/год, а протяженность размываемых участков варьирует в пределах 115–533 м. Высота размываемого берегового

уступа изменяется от 3.5 м на р. Сиве до 5.6 м на р. Чепце. В пространственном отношении размываемые участки приурочены к участкам излучин с наибольшей крутизной или к мысовидным выступам. В многолетней динамике размывов на р. Чепце отчетливо прослеживается положительный тренд. Для р. Валы из-за больших перерывов в съемках после 2015 г. о каких-либо тенденциях в динамике судить невозможно. Участки на р. Сиве в отношении многолетней динамики размывов находятся в состоянии варьирования относительно средних значений.

Для малых рек (р. Кильмезь, Лумпун, Нылга, Кырыкмас и верхняя Чепца) наибольшие величины размыва изменяются в значительных пределах: от 2.26 м (р. Лумпун) до 8.14 м (р. Кырыкмас), следовательно, по максимальным значениям они даже превышают некоторые средние реки. Протяженность размываемых участков варьирует от 48–110 м на р. Лумпун и до 55–330 м на р. Нылга. 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 типов излучин характеризуется локальными особенностями, но чаще они приурочены к участкам

с наибольшей крутизной. В каждом конкретном случае можно выделить несколько зон с различной интенсивностью размыва. В данной группе только для р. Кырыкмас, для которой отмечается лишь 2-летний перерыв в съемках, отчетливо выражен положительный (восходящий) тренд в динамике русловых размывов.

Установлена очень тесная связь между максимальной шириной размыва на р. Чепце (с. Адам) и максимальными годовыми расходами реки за период с 2004 по 2015 г., о чем свидетельствуют значимые коэффициенты корреляции ($r = 0.899$) (рис. 5а). Достаточно высокая связь получилась с площадью и объемом размыва за указанные годы ($r = 0.787$). На р. Сиве корреляционная связь между максимальной шириной размыва и максимальными годовыми расходами за указанный период оказалась чуть ниже ($r = 0.600$), но тоже существенная (рис. 5б). Показатель же связи с площадным и объемным размывами получился более значимым ($r = 0.794$). Корреляционная связь между названными показателями размыва и среднегодовыми расходами за указанный период на данных реках не установлена. Выявлению роли других важных факторов, определяющих интенсивность размыва берегов рек, будет посвящена отдельная статья.

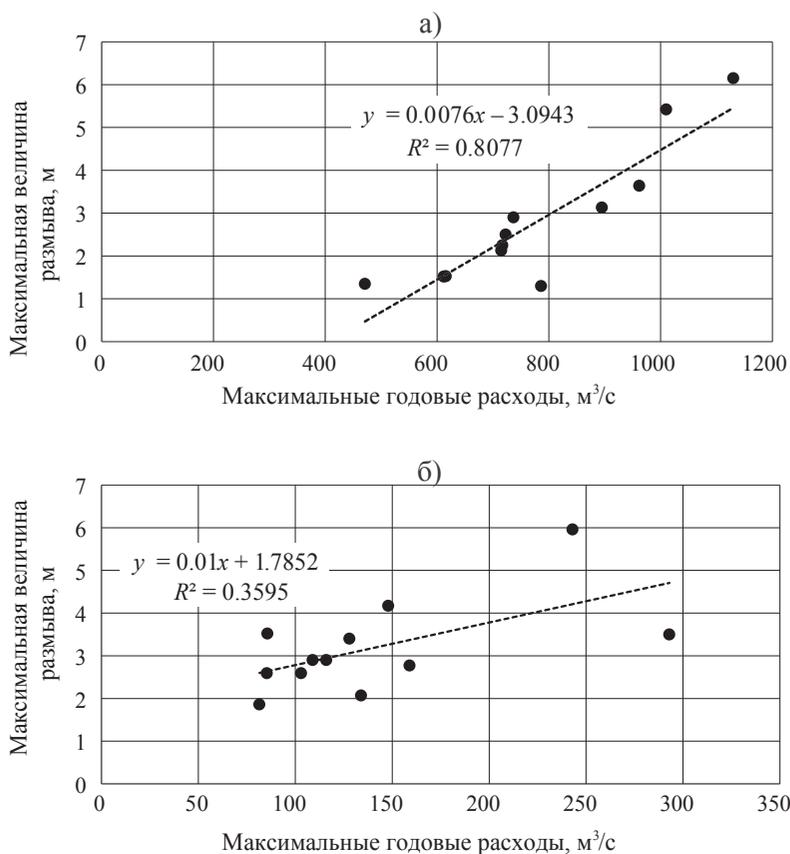


Рис. 5. Зависимость между максимальной шириной размыва на р. Чепце у с. Адам (а) и р. Сиве у д. Метляки (б) и их максимальными годовыми расходами за 2004–2015 гг.

Fig. 5. Dependence between the maximum scour width on the Cheptsya River near Adam village (а) and the Siva River near Metlyaki village (б) and their maximum annual discharges for 2004–2015

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ многолетних (2000–2023 гг.) полевых исследований горизонтальных русловых деформаций на реках Удмуртии показал, что скорости бокового смещения берегов варьируют в большом диапазоне: от нескольких сантиметров до многих метров. Интенсивность размыва в первую очередь зависит от водности реки, которая часто определяется порядком водотока. Максимальные размывы характерны для рек с порядком выше 14 (по схеме А. Шайдеггера), они достигают 12–17 м/год, а среднегодовые значения составляют 3–5 м/год. Для средних рек (с порядком 9.1–14) максимальные величины размыва составляют 6–8 м/год, а среднегодовые – 1–3 м/год. Для малых рек с порядком 6.1–9 максимальные размывы достигали 5.5 м/год, среднегодовые варьировали в пределах 0.4–0.6 м/год. На очень малых реках (порядок 6 и менее) максимальные скорости размыва берегов достигали 4.2 м/год в естественных условиях и 8.1 м/год при техногенном вмешательстве, среднегодовые величины размыва составляли обычно 0.1–0.3 м/год.

Установлена достаточно тесная связь между среднегодовыми размывами и порядком реки, о чем свидетельствуют значимые коэффициенты корреляции ($r = 0.54$; $\eta = 0.510$; $\eta^2 = 0.260$). Еще более высокой оказалась зависимость между среднемаксимальными размывами и порядком реки ($r = 0.59$; $\eta = 0.682$; $\eta^2 = 0.464$). Полученные значения зависимости описываются экспоненциальными уравнениями.

Временной анализ результатов реперных замеров за исследуемый период показал, что в настоящее время отмечается общая тенденция уменьшения скоростей берегового размыва как для среднегодовых, так и для максимальных значений. Наклоны линий тренда для разных групп рек различаются, но несущественно. Возможно, что это связано со снижением интенсивности паводочного и половодного стока на исследуемых реках. По другой версии, участки активного размыва, возможно, сместились за прошедшее время от мест с реперными наблюдениями, или же сказывается влияние других, не учтенных здесь факторов.

Несколько иная картина отмечается на отдельных участках с инструментальной съемкой. Так, например, в многолетней динамике размыва на р. Чепце (2 участка) и р. Кырыкмас отчетливо прослеживается положительный (восходящий) тренд с максимумами размыва в 2012–2014, 2019 и 2021 гг. Установлена очень тесная корреляционная

связь между максимальной шириной, площадью, объемом размыва на р. Чепце (с. Адам) и р. Сиве (д. Метляки) и максимальными годовыми расходами рек за период с 2004 по 2015 г. Расположение размываемых участков в пределах различных типов излучин характеризуется локальными особенностями, но чаще приурочено к участкам с наибольшей крутизной.

Для многих рек, где имеются гидрологические посты с регулярными наблюдениями за уровнями и расходами воды, получены достоверные значимые связи между скоростями размыва, с одной стороны, максимальными и среднегодовыми расходами, с другой. Коэффициенты корреляции изменяются от 0.36 (р. Сива) до 0.63 (р. Лоза). Для некоторых рек достоверные связи между анализируемыми показателями не выявлены.

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

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-27-20003, <https://rscf.ru/project/25-27-20003>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Антроповский В.И. Гидролого-морфологические закономерности и фоновые прогнозы переформирования русел рек. СПб. 2006. 216 с.

Атлас Удмуртской Республики / Под общей ред. И.И. Рысина. Изд. 2-е, доп. и перераб. М.: Феория; Ижевск: Удмуртия. 2020. 288 с.

Беркович К.М. Географический анализ антропогенных изменений русловых процессов. М.: ГЕОС. 2001. 164 с.

Гафуров А.М., Рысин И.И., Голосов В.Н., Григорьев И.И., Шарифуллин А.Г. Оценка современного роста вершин оврагов южного мегасклона Восточно-Европейской равнины с применением набора инструментальных методов // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2018. № 5. С. 61–71.

Григорьев И.И., Рысин И.И. Исследования техногенных и сельскохозяйственных оврагов в Удмуртии с применением ГИС-технологий // Вестник Удмуртского университета. Сер. Биология. Науки о Земле. 2008. Вып. 1. С. 49–58.

- Григорьев И.И., Рысин И.И. Применение геоинформационных систем при исследованиях техногенных и сельскохозяйственных оврагов в Удмуртии // Геоморфология. 2009. № 1. С. 69–75.
- Григорьев И.И., Рысин И.И. Использование беспилотного летательного аппарата (квадрокоптера) с применением цифровых технологий в географических исследованиях // Цифровая география – материалы Всерос. науч.-практ. конференции с междунар. участием (г. Пермь, 16–18 сентября 2020 г.): в 2 т. 2020. Т. 1: Цифровые и геоинформационные технологии в изучении природных процессов в экологии, природопользовании и гидрометеорологии. С. 54–57.
- Джуха И.Г., Чалов Р.С. Морфология и динамика русла р. Юг как пример руслоформирующей деятельности малой реки. Геоморфология. 1989. № 1. С. 83–91.
- Завадский А.С., Чалов Р.С. Региональный анализ свободного меандрирования. Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1997. № 3. С. 32–36.
- Завадский А.С., Лобанов Г.В., Петухова Л.Н., Серебренникова И.А., Смирнова Е.А., Чернов А.В. Результаты стационарных исследований русловых процессов на реках ЕТР // Эрозионные и русловые процессы: Сборник трудов / Под ред. Чалова Р.С. М.: МАКС Пресс. 2010. Вып. 5. С. 220–251.
- Кораблева О.В., Чернов А.В. Динамика пойменно-русловых комплексов рек Нижегородского Заволжья (на примере реки Керженец). Труды Государственного природного биосферного заповедника «Керженский». Нижний Новгород: Изд-во «Государственный природный биосферный заповедник «Керженский». 2012. Т. 5. 196 с.
- Кораблева О.В., Чернов А.В. Современная динамика пойменно-русловых комплексов средней реки Керженец (по мониторинговым наблюдениям 2001–2018 гг.). В сб.: Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения. М.: ИВП РАН. 2019. С. 172–176.
- Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа. 1990. 352 с.
- Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР. 1955. 347 с.
- 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.
- Мозжерин В.И., Курбанова С.Г. Деятельность человека и эрозионно-русловые системы Среднего Поволжья. Казань: Арт. Дизайн. 2004. 128 с.
- Назаров Н.Н., Егоркина С.С. Реки Пермского Прикамья: Горизонтальные русловые деформации. Пермь: ИПК «Звезда». 2004. 155 с.
- Павлов И.Н. Морфология русел рек равнинной части Алтайского края. Геоморфология. 1994. № 3. С. 78–85.
- Петухова Л.Н., Рысин И.И. Факторы русловых процессов и их влияние на морфодинамику русел рек Удмуртии. Геоморфология. 2006. № 4. С. 70–78.
- Попов И.В., Кондитерева Э.А. Прогноз русловых деформаций Волги на участке Саралёвского водного узла в связи с проектированием улучшения его судоходных условий. Тр. ГГИ. 1974. № 216. С. 65–93.
- Рысин И.И., Петухова Л.Н. Русловые процессы на реках Удмуртии. Ижевск: Ассоциация «Научная книга». 2006. 176 с.
- Рысин И.И., Григорьев И.И., Петухова Л.Н., Андреев О.Н. Результаты многолетних исследований русловых размывов на реках Удмуртии // Эрозионные и русловые процессы. 2020. Вып. 7. Сборник трудов / Под ред. Р.С. Чалова. М.: Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова. С. 269–280.
- Рысин И.И., Григорьев И.И., Петухова Л.Н., Перевошиков А.А. Многолетняя динамика скоростей горизонтальных русловых размывов на реках Удмуртии // Геоморфология и палеогеография. 2024. № 1. С. 24–37.
- Спирidonов А.И. Основы общей методики полевых геоморфологических исследований и геоморфологического картографирования. М.: Высшая школа. 1970. 456 с.
- Чалов Р.С. Морфодинамика русел равнинных рек / Р.С. Чалов, А.М. Алабян, В.В. Иванов, Р.В. Лодина, А.В. Панин. М.: ГЕОС. 1998. 288 с.
- Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Том 1. Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. М.: Изд-во ЛКИ. 2008. 608 с.
- Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Том 2. Морфодинамика речных русел. М.: КРАСАНД. 2011. 960 с.
- 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.
- Чалов Р.С., Завадский А.С., Панин А.В. Речные излучины. М.: Изд-во МГУ, 2004. 371 с.

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.

Чалов С.Р. Речные наносы в эрозионно-русловых системах. Автореф. дисс. ... докт. геогр. наук. М.: МГУ. 2021. 50 с.

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

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

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

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

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

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

ОБ АВТОРАХ

Рысин Иван Иванович, докт. геогр. наук, профессор. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Удмуртский государственный университет» (ФГБОУ ВО «УдГУ»), E-mail: rysin.iwan@yandex.ru. Тел.: 8 (3412) 916-433

Григорьев Иван Иванович, канд. геогр. наук, доцент. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Удмуртский государственный университет» (ФГБОУ ВО «УдГУ»). E-mail: ivangrig@yandex.ru, Тел. моб.: 8 (905) 877-33-32

Петухова Лариса Николаевна, канд. геогр. наук, доцент. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Удмуртский государственный университет» (ФГБОУ ВО «УдГУ»). E-mail: petlar75@mail.ru. Тел. моб.: 8 (905) 876-15-48

HORIZONTAL CHANNEL EROSION ON THE RIVERS OF UDMURTIA

I.I. Rysin*, I.I. Grigorev**, L.N. Petukhova***

Udmurt State University, Izhevsk, Russia

* *rysin.iwan@yandex.ru*, ** *ivangrig@yandex.ru*, *** *petlar75@mail.ru*

Abstract. The results of a study of channel displacement for 2000–2022 in 55 key areas located on rivers of different orders, flowing in different landscapes of Udmurtia, are presented. The erosion rates were determined using benchmarks and tacheometric survey. To analyze the obtained results, the rivers were divided into 4 groups according to the magnitude of their orders (according to the method of A. Scheidegger). Maximum erosion is typical for rivers with an order higher than 14 (up to 15 m/year), for medium rivers with an order of 9–14 these values are 6–8 m/year. For small rivers with an order of 6–9, the maximum erosion reached 5.5 m/year, and for very small rivers (of order 6 or less), respectively, up to 4.2 m/year under natural conditions and up to 8.1 m/year at man-made intervention. Statistical indicators of the average annual and maximum erosion in the reference areas for the period under consideration were obtained. Correlation analysis showed a high significant relationship between the erosion rate and the order of the river and, accordingly, the average annual and maximum discharges. An analysis of erosion over a 23-year time interval is given with the definition of the trend equation for the selected groups of rivers.

Key words: river erosion rate, benchmarks, monitoring, correlation analysis, Udmurt Republic

ACKNOWLEDGEMENTS

The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation № 25-27-20003, <https://rscf.ru/project/25-27-20003>

REFERENCES

Antropovskij V.I. (2006) Hidrologo-morfologicheskie zakonomernosti i fonovy'e prognozy' pereformirovaniya rusel rek. SPb. 216 s. (in Russ.)

- Atlas Udmurtskoj Respubliki (2020) / pod obshhej red. I.I. Rysina. Izd. 2-e, dop. i pererab. M.: Feorija; Izhevsk: Udmurtija. 288 s. (in Russ.)
- Berkovich K.M. (2001) Geograficheskij analiz antropogennyh izmenenij ruslovyh processov. M.: GEOS. 164 s. (in Russ.)
- Gafurov A.M., Rysin I.I., Golosov V.N., Grigoriev I.I., Sharifullin A.G. (2018) Ocenka sovremennogo rosta vershin ovragov yuzhnogo megasklona Vostochno-Evropejskoj ravniny s primeneniem nabora instrumental'nyh metodov // Vestnik Mosk. un-ta, Ser. 5. Geografiya. № 5. S 61 - 71. (in Russ.)
- Grigoriev I.I., Rysin I.I. (2008) Issledovaniya texnogen'nyh i sel'skoxozyajstvennyh ovragov v Udmurtii s primeneniem GIS-texnologij // Vestnik Udmurtskogo universiteta. Ser. Biologiya. Nauki o Zemle. Vyp. 1. S. 49–58. (in Russ.)
- Grigoriev I. I., Rysin I. I. (2009) Primenenie geoinformacionnyh sistem pri issledovaniyax texnogen'nyh i sel'skoxozyajstvennyh ovragov v Udmurtii // Geomorfologiya. № 1. S. 69–75. (in Russ.)
- Grigoriev I.I., Rysin I.I. (2020) Ispol'zovanie bespilotnogo letatel'nogo apparata (kvadrokoptera) s primeneniem cifrovых tehnologij v geograficheskix issledovaniyax // Cifrovaya geografiya – materialy Vseros. nauch.-prakt. konferencii s mezhdunar. uchastiem (g. Perm, 16–18 sentyabrya 2020 g.): v 2 t. T. 1: Cifrovye i geoinformacionnye tehnologii v izuchenii prirodnyh processov v ekologii, prirodopol'zovanii i gidrometeorologii. S. 54 – 57. (in Russ.)
- Dzhuha I.G., Chalov R.S. (1989) Morfologija i dinamika rusla r. Jug kak primer rus-loformirujushhej dejatel'nosti maloj reki. Geomorfologija. № 1. S. 83– 91. (in Russ.)
- Zavadskij A.S., Chalov R.S. (1997) Regional'nyj analiz svobodnogo meandrirovaniya. Vestnik Mosk. Un-ta. Ser. 5. Geografiya. № 3. S. 32 – 36. (in Russ.)
- Korableva O.V., Chernov A.V. (2012) Dinamika pojmenno-ruslovyh kompleksov rek Ni-zhegorodskogo Zavolzh'ja (na primere reki Kerzheneц). Trudy Gosudarstvennogo prirodno-go biosfernogo zapovednika «Kerzhenskij». Nizhnij Novgorod: Izd-vo: «Gosudarstvennyj prirodnyj biosfernyj zapovednik «Kerzhenskij». T.5. 196 s. (in Russ.)
- Korableva O.V., Chernov A.V. (2019) Sovremennaja dinamika pojmenno-ruslovyh kompleksov srednej reki Kerzheneц (po monitoringovym nabljudenijam 2001–2018 gg.) V sb.: Nauchnye problemy ozdorovlenija Rossijskix rek i puti ih reshenija. M.: IVP RAN. S. 172-176. (in Russ.)
- Lakin G.F. (1990) Biometrija. M.: Vysshaja shkola. 352 s. (in Russ.)
- Makkaveev N.I. (1955) Ruslo reki i jerozija v ee bassejne. M.: Izd-vo AN SSSR. 347 s. (in Russ.)
- Makhinov A.N., Kim V.I., Anoshkin A.V. et al. (2018) Preobrazovanie lokal'nyh pojmenno-ruslovyh sistem rek Amur i Ussuri kak faktor vznikovenija transgranichnyh problem. Regional'nye problemy. T. 21. № 2. S. 61–68. (in Russ.)
- Mozzherin V.I., Kurbanova S.G. (2004) Dejatel'nost' cheloveka i jerozionno-ruslovye sistemy Srednego Povolzh'ja. Kazan': Art. Dizajn. 128 s. (in Russ.)
- Nazarov N.N., Egorkina S.S. (2004) Reki Permskogo Prikam'ja: Gorizonta'nye ruslovye deformacii. Perm': IPK «Zvezda». 155 s. (in Russ.)
- Pavlov I.N. (1994) Morfologija rusel rek ravninnoj chasti Altajskogo kraja. Geomorfologija. № 3. S. 78–85. (in Russ.)
- Petukhova L.N., Rysin I.I. (2006) Faktory ruslovyh processov i ih vlijanie na morfodinamiku rusel rek Udmurtii. Geomorfologija. № 4. S. 70–78. (in Russ.)
- Popov I.V., Konditerova Je.A. (1974) Prognoz ruslovyh deformacij Volgi na uchastke Saral'jovskogo vodnogo uzla v svjazi s proektirovaniem uluchshenija ego sudohodnyh uslovij. Tr. GGI. № 216. S. 65–93. (in Russ.)
- Rysin I.I., Petukhova L.N. (2006) Ruslovye processy na rekax Udmurtii. Izhevsk: Associacija «Nauchnaja kniga». 176 s. (in Russ.)
- Rysin I.I., Grigoriev I.I., Petuxova L.N., Andreev O.N. (2020) Rezul'taty mnogoletnix issledovanij ruslovyh razmyvov na rekax Udmurtii // Erozionnye i ruslovye processy. Vyp. 7. Sbornik trudov / pod red. R.S. Chalova. M.: Geograficheskij fakul'tet MGU imeni M.V. Lomonosova. S. 269 – 280. (in Russ.)
- Rysin I.I., Grigoriev I.I., Petuxova L.N., Perevoshikov A.A. (2024) Mnogoletnyaya dinamika skorostej gorizonta'lnyx ruslovyh razmyvov na rekax Udmurtii // Geomorfologija i paleogeografiya. № 1. S. 24 – 37.
- Spiridonov A.I. (1970) Osnovy obshej metodiki polevyh geomorfologicheskix issledovanij i geomorfologicheskogo kartografirovaniya. M.: Vysshaja shkola. 456 s. (in Russ.)
- Chalov R.S. (1998) Morfodinamika rusel ravninnyh rek. / R.S. Chalov, A.M. Alabjan, V.V. Ivanov, R.V. Lodina, A.V. Panin. M.: GEOS. 288 s. (in Russ.)
- Chalov R.S. (2008) Ruslovedenie: teorija, geografiya, praktika. Tom 1. Ruslovye processy: faktory, mehanizmy, formy projavlenija i uslovija formirovaniya rechnyx rusel. M.: Izd-vo LKI. 608 s. (in Russ.)
- Chalov R.S. (2011) Ruslovedenie: teorija, geografiya, praktika. Tom 2. Morfodinamika rechnyx rusel. M.: KRASAND. 960 s. (in Russ.)
- Chalov R.S., Zavadskij A.S., Ruleva S.N. et al. (2016) Morfologija, deformacii, sovremennye izmenenija rusla r. Leny i ih vlijanie na hozjajstvennuju infrastrukturu v rajone g. Jakutska. Geomorfologija. № 3. S. 22 – 35. (in Russ.)

- Chalov R.S., Zavadskij A.S., Panin A.V. (2004) *Rechnye izluchiny*. M.: Iz-vo MGU, 2004. 371 s.
- Chalov R.S., Chernov A.V., Berkovich K.M. et al. (2017) *Geografija projavlenija ruslovyh processov na rekah Rossii*. *Izvestija Russkogo geograficheskogo obshhestva*. T. 149. Vyp. 4. S. 13–33. (in Russ.)
- Chalov S.R. (2021) *Rechnye nanosy v jerozionno-ruslovyh sistemah*. Avtoref. diss. ... dokt. geogr. nauk. M.: MGU. 50 s. (in Russ.)
- Chernov A.V. (2009) *Geografija i geojekologicheskoe sostojanie rusel i pojm rek Severnoj Evrazii*. M.: ООО «Krona». 614 s. (in Russ.)
- Shajdegger A.E. (1964) *Teoreticheskaja geomorfologija*. M.: Progress, 1964. 450 s. (in Russ.)
- Jerozionno-ruslovyje sistemy: monografija (2017)* / Pod red. R.S. Chalova, V.N. Golosova, A.Ju. Sidorchuka. M.: INFRA-M. 702 s. (in Russ.)
- Knighton A.D. (1998) *Fluvial Forms and Processes: A New Perspective*. London: Arnold. 383 p. <http://dx.doi.org/10.4324/9780203784662>
- Petukhova, L.N., Rysin I.I. (2006) Patterns in the development of horizontal river channel transformations in the Republic of Udmurtia, Russian Federation. In: *Channel processes in the rivers of mountains, foothills and plains* / edited by R.S. Chalov, M. Kamykowska, K. Krzemien. Cracow. P. 119–131.
- Robert A. (2003) *River processes: an introduction to fluvial dynamics*. London: Arnold. 214 p.

ABOUT THE AUTHORS

Rysin Ivan Ivanovich, professor. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Udmurt State University” (FSBEI of Higher Education “UdGU”). E-mail: rysin.iwan@yandex.ru. Тел. моб: 8 (919) 917-90-63

Grigorev Ivan Ivanovich, P.h.D. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Udmurt State University” (FSBEI of Higher Education “UdGU”). E-mail: ivangrig@yandex.ru. Tel.: 8 (905) 877-33-32

Petukhova Larisa Nikolaevna, P.h.D. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Udmurt State University” (FSBEI of Higher Education “UdGU”). E-mail: petlar75@mail.ru. Tel.: 8 (905) 876-15-48

УДК 551.4.042

ДЕФОРМАЦИИ РУСЕЛ МАЛЫХ РЕК БАСЕЙНА КУДЬМЫ И ИХ СВЯЗЬ С ФАКТОРАМИ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ

(по данным стационарных наблюдений за 2010–2023 гг.)

А.Л. Варенов

Нижегородский государственный педагогический университет имени К. Минина,
г. Нижний Новгород, Россия
varenovgeo@gmail.com

Поступила в редакцию 10.02.2025

После доработки 19.02.2025

Принята к публикации 22.03.2025

Аннотация. Изменения русел малых рек происходят в условиях небольшой водоносности, значительной зависимости морфологии и морфометрии от местных факторов, чувствительности к антропогенному воздействию. Это обуславливает низкую интенсивность размыва и возникновение многообразия ее связей с факторами русловых процессов, что затрудняет анализ развития русловых деформаций. Проведение исследований на стационарах способствует решению указанной проблемы. В статье рассматриваются методы исследований, методика анализа и некоторые результаты исследований размывов берегов на 15 участках русел малых рек в бассейне Кудьмы за период с 2010 по 2023 г. Данные измерений показывают значительный разброс значений показателей размыва на разных участках: длина фронта размыва $l_{\text{разм}}$ составляет от 10 до 80 м, площадь размыва $F_{\text{разм}}$ — от 2 до 15 м²/год, средняя скорость размыва $C_{\text{ср.}}$ — от 0.1 до 0.3 м/год, максимальная скорость — от 0.4 до 1.0 м/год. Выявление связей этих величин с факторами русловых процессов (водность, геолого-геоморфологические условия, морфодинамический тип русла, местные условия) позволило разделить исследуемые русла на группы с качественными различиями проявления морфодинамики. На относительно прямолинейных участках русел развитие размывов в значительной степени определяется местными условиями. Наиболее четкие связи показателей размыва с определяющими их факторами характерны для свободных излучин. Наиболее тесные связи с условиями руслоформирования имеет площадь размыва $F_{\text{разм}}$.

Ключевые слова: размыв берегов, научные стационары

DOI: [10.71367/3034-4638-2025-2-1-61-72](https://doi.org/10.71367/3034-4638-2025-2-1-61-72)

ВВЕДЕНИЕ

Одним из методов русловых исследований являются стационарные наблюдения за размывом берегов, проводившиеся в последние десятилетия на реках Европейской части России и Сибири (Завадский, Лобанов и др., 2010; Коркин, Исыпов, 2022). Мониторинг отступления берегов на стационарах позволяет получить детальные данные о пространственно-временной динамике смещения русел в плане, сравнить их с данными расчетов по картографическим источникам и космическим снимкам, выявить зависимость их темпов и направленности от водности потока, формы русла, его морфометрических характеристик, других факторов русловых процессов.

Небольшая водоносность малых рек, невысокая естественная зарегулированность стока, особые условия взаимодействия потока и русла вследствие соизмеримости его глубины и ширины, высокая степень зависимости морфологии и морфометрии русел от местных факторов, чувствительность к антропогенному воздействию обуславливают возникновение разных вариантов развития размывов берегов при их относительно низкой интенсивности. В этих условиях данные стационарных наблюдений становятся особенно ценными. Если учесть, что русловые процессы именно на малых реках относятся к числу наименее изученных, то организация и проведение таких наблюдений приобретают особую актуальность.

МЕТОДЫ

Стационарные исследования русловых процессов на малых реках бассейна Кудьмы (правый приток Волги ниже г. Кстово перед Чебоксарским водохранилищем) осуществляются с 2010 г. совместно с сотрудниками Научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Макавеева МГУ имени М.В. Ломоносова, под общим руководством профессора Р.С. Чалова¹. В связи с многофакторностью процессов применялись разные методы исследования, уточнялась методика, расширялась программа наблюдений. В настоящее время наблюдения проводятся на 15 участках. Помимо измерения горизонтальных деформаций берегов (их отступления вследствие размыва), производятся отбор проб донных отложений, промеры глубин по стрелню потока, измерение расходов воды и уклонов водной поверхности, составляются детальные описания и планы с характеристикой ландшафтной обстановки.

При характеристике горизонтальных русловых деформаций используются следующие показатели размыва:

1) протяженность фронта размыва $l_{\text{разм}}$ — линия, по которой фиксируется отступление бровки берега, м;

2) площадь размыва $F_{\text{разм}}$ — площадь между начальным и конечным положениями бровок берегового уступа за определенный период времени, м²;

3) средняя скорость размыва $C_{\text{ср.}}$ — рассчитывается как отношение площади размыва к протяженности средней линии, соединяющей начало и конец участка размыва за определенный период времени, м/год;

4) максимальная годовая скорость размыва C_{max} — наибольшее расстояние между начальным и конечным положениями бровок, м/год;

5) удельная площадь размыва $F_{\text{уд.разм}} = F_{\text{разм}} / l_{\text{разм.}}$, м²/м.

Исходными данными для расчета показателей размыва являются данные съемок положения береговых бровок на стационарах от постоянной реперной сети, полученные методом полигонов (измерения перпендикуляров от линии между реперами), электронным тахеометром, GNSS-оборудованием и с помощью аэрофотосъемки БПЛА. Значения показателей определялись путем создания и сопоставления планов бровок в программах Microstation и Qgis.

При построении зависимостей использовались средние многолетние значения показателей размывов за период 2010–2023 гг. (табл. 1). Ряды наблюдений на стационарах составляют от 10 до 13 лет.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследуемая территория — бассейн р. Кудьмы — расположена на севере Приволжской возвышенности, характеризуется разнообразием природных условий и длительной историей хозяйственного освоения. Главная река бассейна Кудьма (до впадения самого крупного притока — р. Озёрки) и ее притоки имеют длину $x < 120$ км, площадь водосбора $F < 2000$ км², средний многолетний расход воды $Q_{\text{ср.}} < 6.5$ м³/с, средний максимальный расход $Q_{\text{ср. max}} < 90$ м³/сек, порядок (модель А.Е. Шайдегера) $N < 8.4$. С точки зрения развития русловых процессов все реки бассейна являются малыми равнинными, за исключением участка нижнего течения р. Кудьмы (от слияния с р. Озёркой), который следует относить к средним рекам. Водотоки первых порядков обладают собственной спецификой морфологии и динамики русел.

Объектами исследования являются размываемые участки русел малых рек Кудьмы, Озёрки, Сетчуги и Печети, отличающиеся водностью, геоморфологическими условиями развития, морфодинамическими типами русел, локальными условиями размыва и видами хозяйственного воздействия, с которыми во многом связано развитие вертикальных русловых деформаций (табл. 2). Стационары полностью или частично охватывают форму русла в зависимости от распространения размывов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При анализе горизонтальных русловых деформаций важным является учет условий формирования русел. Одними из активных факторов русловых процессов на малых реках являются сток воды, геолого-геоморфологические условия и форма русла.

Сток воды определяет размеры русла, которые находятся в прямой зависимости от его величины. Отмечается, что связь ширины русла b_p с расходом воды Q более тесная, чем глубины h_p . Водность реки зависит от площади водосбора F , которая, в свою очередь, связана с длиной реки x , поэтому условия руслоформирования, морфометрические характеристики и параметры форм русла изменяются по длине реки (Чалов, 2008).

При недостаточности гидрологических данных для проведения расчетов определяют порядок реки N — показатель, дающий осредненное представление о размере реки. Наиболее надежные оценки изменений гидрологических и русловых характеристик рек дает модель А.Е. Шайдегера

¹ На разных этапах в проведении натурных наблюдений участвовали Д.В. Ботавин, А.С. Завадский, Н.М. Михайлова, А.М. Тарбеева, Л.А. Турыкин, Д.И. Школьный и др.

Таблица 1. Средние годовые значения показателей размыва (по данным стационарных наблюдений за 2010–2023 гг.)**Table 1.** Average annual values of erosion indicators (based on stationary observations from 2010 to 2023)

№ п/п	Стационар	Ряд наблюдений, лет	Показатели размыва*				
			$l_{\text{разм}},$ м	$F_{\text{разм}},$ м ²	$C_{\text{ср.}},$ м/год	$C_{\text{max}},$ м/год	$F_{\text{уд.разм}},$ м ² /м
1.	р. Кудьма – д. Лакша	12	10.24	3.11	0.13	0.46	0.30
2.	р. Кудьма – п. Буревестник-1	12	10.33	1.77	0.11	0.4	0.17
3.	р. Кудьма – п. Буревестник-2	13	13.47	2.03	0.09	0.39	0.15
4.	р. Кудьма – к.п. Зеленый город-1	13	24.6	5.69	0.15	0.56	0.23
3.	р. Кудьма – к.п. Зеленый город-2	13	14.7	2.26	0.12	0.38	0.15
4.	р. Кудьма – д. Зеледино-1	2	13	1.8	0.13	0.3	0.14
5.	р. Кудьма – д. Зеледино-2	11	34.8	9.77	0.17	0.7	0.28
6.	р. Кудьма – д. Зеледино-3	10	15.3	3.17	0.13	0.41	0.21
7.	р. Кудьма – д. Ветчак	13	17.56	3.76	0.13	0.56	0.21
8.	р. Озёрка – с. Чернуха	11	79.47	14.67	0.14	0.7	0.18
9.	р. Озёрка – с. Кужутки-1	13	52.76	15.33	0.26	0.93	0.29
10.	р. Озёрка – с. Кужутки-2	13	31.3	9.77	0.19	0.49	0.31
11.	р. Озёрка – д. Белозерово	11	18.39	3.73	0.15	0.59	0.19
12.	р. Сетчуга – с. Ивановское	11	35.3	6.61	0.16	0.69	0.18
13.	р. Печеть – д. Александровка	12	33.2	5.24	0.13	0.46	0.16

* Показатели размыва:

 $l_{\text{разм}}$ – протяженность фронта размыва, м $F_{\text{разм}}$ – площадь размыва, м² $C_{\text{ср.}}$ – средняя скорость размыва, м/год C_{max} – максимальная годовая скорость размыва, м/год $F_{\text{уд.разм}}$ – удельная площадь размыва, м²/м

(в модификации Н.И. Алексеевского), поскольку учитывает постепенное увеличение водности рек по мере впадения любого притока. Характер изменений зависимости между порядком N и характеристиками русла говорит о качественных различиях руслоформирования и применяется для определения «русловых» границ групп водотоков разного размера (Малые реки волжского бассейна, 1998; Пахомова, 2001). Так, $N = 9–10$ принято считать границей между малыми и средними реками.

На графиках $b_p = f(N)$ и $x = f(N)$ для рек бассейна р. Кудьмы перегибы кривых приходятся на порядки рек, равные 7.9 и 8.3 (рис. 1). Это позволяет разделить стационары на группы внутри категории «малые реки» и уточнить границу категории «средние реки» (табл. 3).

Подтверждением верности использования $N = 8.3$ в качестве «русловой» границы является резкое увеличение морфологических параметров свободных сегментных излучин в нижнем течении р. Кудьмы после впадения р. Озёрки (табл. 4).

По мере увеличения длины и водности рек происходит снижение уклонов русла и увеличение стока руслообразующих наносов, проявляющиеся во всё большем количестве прирусловых отмелей и других форм руслового рельефа, что сопровождается образованием излучин и фронтов размыва берегов. На р. Кудьме в условиях поступления большого количества наносов с залесенной песчаной задровой равнины формирование излучин начинается при $N = 3.1$ (9 км от истока) и уклоне русла $I = 0.007$. На р. Озёрке русло сохраняет прямолинейную форму до $N = 5.7$ (17 км от истока) и $I = 0.005$: здесь днище долины преимущественно заболоченное, сложенное торфяными отложениями, низкие берега покрыты травянистой растительностью.

Возможности проявления горизонтальных деформаций и местные условия размыва связаны, таким образом, с геолого-геоморфологическим строением долин рек.

Большинство стационаров расположено на участках широкопойменного русла с соотношением

Таблица 2. Основные характеристики объектов исследования (стационаров)**Table 2.** Main characteristics of monitoring sites

№ п/п	Стационар	F , км ²	N	$h_{\text{бер}}$, м	Тип русла	Основные виды антропогенного воздействия
1.	р. Кудьма – д. Лакша	744.7	7.44	2.5	Относительно прямолинейное, адаптированное к надпойменной террасе	Мелиоративное спрямление и обвалование русла
2.	р. Кудьма – п. Буревестник-1	1101.9	7.9	3.0	Свободная излучина, $l/L^* = 1.13$	Мелиоративное спрямление русла, строительство дамбы и шлюза выше по течению
3.	р. Кудьма – п. Буревестник-2	1104.1	7.9	3.0	Относительно прямолинейное, адаптированное к надпойменной террасе	
4.	р. Кудьма – к.п. Зеленый город-1	1686.3	8.21	4.5	Свободная излучина, $l/L = 1.86$	Мелиоративное спрямление русла, строительство берегоукрепительных сооружений
5.	р. Кудьма – к.п. Зеленый город-2	1709.2	8.21	3.5	Адаптированная излучина, $l/L = 2.29$	
6.	р. Кудьма – д. Зелецино-1	1799.7	8.23	3.6	Свободная излучина, $l/L = 2.3$	Строительство пойменных карьеров, подпор от Чебоксарского водохранилища
7.	р. Кудьма – д. Зелецино-2	1799.7	8.23	3.6	Свободная излучина, $l/L = 2.3$	
8.	р. Кудьма – д. Зелецино-3	1799.7	8.23	3.6	Адаптированная излучина, $l/L = 2.4$	
9.	р. Кудьма – д. Ветчак	2497.4	9.18	4.0	Свободная излучина, $l/L = 1.6$	Подпор от Чебоксарского водохранилища
10.	р. Озёрка – с. Чернуха	995.2	7.84	4.0	Свободная излучина, $l/L = 1.4$	Подпор от Чебоксарского водохранилища
11.	р. Озёрка – с. Кужутки-1	687.7	7.31	4.3	Свободная излучина, $l/L = 1.71$	Спуск временных плотин
12.	р. Озёрка – с. Кужутки-2	645.9	7.29	6.0	Вписанная излучина, $l/L = 2.6$	Спуск временных плотин
13.	р. Озёрка – д. Белозерово	87.5	5.74	5.5	Врезанная излучина, $l/L = 2.4$	Спуск временных плотин, строительство мелиоративных каналов на пойме
14.	р. Сетчуга – с. Ивановское	332.3	6.12	1.5	Свободная излучина, $l/L = 2$	–
15.	р. Печеть – д. Александровка	215.7	4.42	1.2	Свободная излучина, $l/L = 1.8$	Подпор от постоянной плотины

* l/L – степень развитости излучин: l – длина, L – шаг.

ширины поймы и русла $B_n/b_p \approx 30-70$ и характеризуется свободными условиями развития русловых деформаций, размеры и форма русла преимущественно определяются характеристиками потока.

При подходе рек к надпойменным террасам и коренным берегам развитие форм русел полностью или частично контролируется ими, создаются

адаптированные условия. В первом случае происходит формирование относительно прямолинейных русел, заваливание и спрямление вынужденных излучин (стационар р. Кудьма – к.п. Зеленый город-2), в сужениях дна речной долины – размыв террас с образованием вписанных излучин (стационар р. Озёрка – с. Кужутки-2). Во втором случае

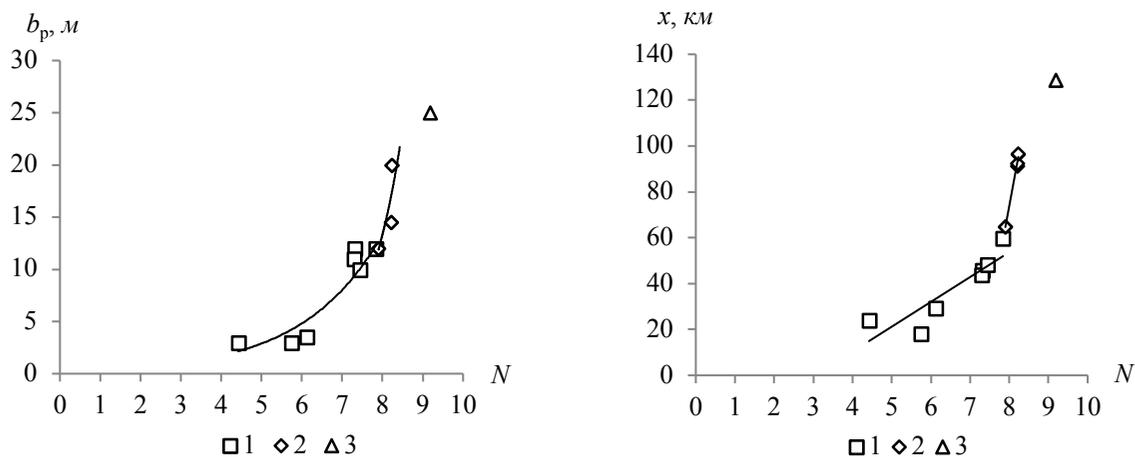


Рис. 1. Зависимость ширины русел b_p рек бассейна р. Кудьмы (на участках стационаров) и их длины (от истока) x от порядка N . Группы стационаров: 1 – $N < 7.9$; 2 – $N = 7.9–8.3$; 3 – $N > 8.3$

Fig. 1. Channel width—stream order chart and channel length—stream order chart for different groups of monitoring sites: 1 – $N < 7.9$; 2 – $N = 7.9–8.3$; 3 – $N > 8.3$

происходит сжатие излучин и приобретение ими гипертрофированной формы (р. Кудьма – д. Зелцеино-3).

Появление врезанных русел ($B_n/b_p < 2$) связано с антропогенными причинами: спуск мельничных плотин и строительство мелиоративных каналов на пойме (стационар р. Озёрка – д. Белозерово). Руслу отличаются наследованием формы, образовавшейся в период, когда они были широкопойменными, и стабильностью положения. Развитие горизонтальных русловых деформаций связано с образованием водоворотных зон в вершинах крутых сегментных и омеговидных излучин при нарушении условия безотрывного движения потока вдоль берегов ($b_p = 2.6r$).

В зависимости от того, с каким геоморфологическим элементом речной долины контактирует водный поток, меняется высота размываемых берегов. На стационарах с низкой поймой она составляет от 1.2 до 3 м, с высокой поймой – от 3 до 4.5 м, с надпойменной террасой – 6 м. На врезанных руслах пойма стала незатопляемой антропогенной террасой, высота береговых уступов значительно превышает естественную и увеличивается до 5.5 м.

Высота берегов влияет на их размывы совместно с воздействием других факторов – изменчивостью стока воды и условиями прохождения руслоформирующих расходов, литологией берегов, наличием неровностей береговых откосов.

На реках бассейна Кудьмы со свободными условиями развития русловых деформаций выделяются три интервала руслоформирующих расходов Q_f : верхний, проходящий при затопленной пойме; средний в пойменных бровках и нижний до выхода воды на пойму (Варенов, Ботавин и др., 2015). Для малых рек рассматриваемого бассейна

было выделено два пика в верхнем интервале обеспеченностью 0.06 и 0.2% и один пик в среднем интервале. Как правило, они имеют место во время половодья и играют основную роль в формировании формы русла. При значительной глубине затопления поймы интенсивность размывов может уменьшаться. В нижнем интервале выделяется несколько пиков, соответствующих паводкам, оказывающим в основном влияние на нижние части береговых уступов, и межени, при которых идет переформирование рельефа дна. Адаптированные, вписанные и врезанные русла на участках с незатопляемыми берегами характеризуются большей площадью взаимодействия водного потока и берегового откоса во время половодья, что приводит к увеличению размыва по сравнению с пойменными берегами. Также высокий берег может определять направление водного потока и тем самым влиять на распределение зон размыва.

Пойменные берега имеют неоднородное строение и сложены суглинками и песками, реже – только суглинками. Надпойменные террасы представлены песчаными отложениями, наиболее легко размываемыми. Берега врезанных русел сложены оторфованными суглинками, нижние части берегов и дно – коренными глинами, что обуславливает дефицит наносов и во многом определяет развитие русловых деформаций.

Перед неровностями берега возникает сопротивление движению воды, формируются водовороты. Чаще всего их образование связано с обрушением суглинистых блоков и наличием деревьев, частично перегораживающих русло, на берегах высотой до 3 м. Как правило, в таких местах наблюдаются

Таблица 3. Группы стационаров в зависимости от связей $b_p = f(N)$ и $x = f(N)$ **Table 3.** Groups of monitoring sites with different relationships $b_p = f(N)$, $x = f(N)$

Характеристика	Группы стационаров по порядку реки N		
	< 7.9	7.9–8.3	> 8.3
Порядок	< 7.9	7.9–8.3	> 8.3
Площадь водосбора, км ²	< 1000	1000–2000	> 2000
Длина реки, км	< 60	60–120	> 120
Ширина реки, м	< 12	12–20	> 20
Уравнение связи $b_p = f(N)$	$b_p = 0.2247e^{0.5107N}$ $R = 0.91$	$b_p = 0.0015e^{1.1376N}$ $R = 0.82$	–
Уравнение связи $x = f(N)$	$x = 10.83N - 32.935$ $R = 0.88$	$x = 92.611N - 666.96$ $R = 0.99$	–

Таблица 4. Изменение морфологических параметров русла р. Кудьмы**Table 4.** Changes of morphological parameters of the Kudma river channel

Характеристика	Участок р. Кудьмы	
	Выше устья р. Озёрки	Ниже устья р. Озёрки
Длина от истока, км	117	144
Площадь водосбора, км ²	1951	3220
Порядок	8.3	9.4
Морфологические параметры излучин:		
- длина l , м	227	670
- шаг L , м	169	453
- радиус кривизны r , м	69	160
- стрела прогиба h_u , м	67	190

максимальные скорости размыва, очертания берега могут приобретать фестончатый характер.

На переформирования берегов влияет форма русла. На прямолинейных участках размывы наблюдаются только при возникновении условий, вызывающих локальное смещение потока в сторону берега под определенным углом. Наиболее распространенной формой русла малых рек являются излучины. Эволюция излучин от их зарождения до спрямления сопровождается увеличением кривизны русла и делится на стадии, характеризующиеся определенной формой излучин, распределением зон размыва и намыва, темпами горизонтальных деформаций (Чалов и др., 2004). По мере перехода излучины от одной стадии развития к следующей меняется степень развитости l/L – соотношение длины и шага излучины. Стационары представлены как сегментными ($l/L < 2$), так и петлеобразными излучинами ($l/L > 2$), стационар р. Кудьма – д. Зелецино-3 охватывает часть синусоидальной излучины ($l/L = 2.4$).

Условия размыва меняет хозяйственная деятельность. Одним из наиболее распространенных видов антропогенного воздействия в бассейне явля-

ется мелиоративное спрямление русла, проведенное на участках р. Кудьмы общей протяженностью 75 км. Оно привело к уменьшению извилистости русла, его врезанию (по данным кривых $Q = f(H)$ для г.п. Хвощевка и г.п. Новая), превращению большей части поймы в надпойменную террасу, отмиранию бывших излучин и формированию стариц уже на террасе. В начальный период существования спрямленное русло представляет собой канал с открытыми размываемыми берегами. Затем русло стабилизируется, берега зарастают преимущественно травянистой растительностью, участки размыва сосредотачиваются на немногочисленных пологих, реже крутых, изгибах русла и в местах слива воды с поймы по старичным понижениям во время половодья. Отсутствие древесной растительности снижает вероятность формирования локальных водоворотных зон, отсевшие блоки грунта блокируют отступление берега на несколько лет, значения показателей размыва снижаются.

Среди антропогенных факторов русловых процессов также следует отметить подпор от Чебоксарского водохранилища, влияющий на условия

прохождения руслоформирующих расходов и приводящий к уменьшению размыва.

Для анализа связей факторов динамики русел и показателей размыва стационары разделены на группы по основным условиям руслоформирования (табл. 5).

Согласно исследованиям Е.В. Камаловой (1988) и О.М. Пахомовой (2001), существует прямая связь между скоростью отступления берега и порядковой структурой рек: при увеличении порядка реки происходит рост скорости размыва берегов. При этом скорости размыва берегов рек разной водности в пределах морфологически однородных участков в каждом случае определяются конкретным сочетанием основных факторов деформаций. На малых реках Приволжской возвышенности ($Q_{\text{ср.мах}} < 100 \text{ м}^3/\text{сек}$) скорость отступления суглинистых берегов $C_{\text{ср.}}$ не меняется при увеличении порядка N и остается в пределах 2 м/год, скорость отступления песчаных берегов возрастает. И.И. Рысин и Л.Н. Петухова (2006) при анализе данных полевых наблюдений на реках Удмуртии также отмечают увеличение показателей размыва ($C_{\text{ср.}}$, $C_{\text{мах}}$, $F_{\text{уд.разм}}$) с ростом порядка реки по выделенным группам: $N < 6$, $N = 6-9$, $N > 9$.

Анализ зависимости показателей размыва от порядка реки N по наблюдениям на стационарах в бассейне р. Кудьмы (рис. 2) позволяет сделать следующие выводы. Интенсивность размыва прямолинейных русел не зависит от водности реки; в целом она меньше, чем у русел других типов, но может быть сопоставима с адаптированными излучинами. Показатели врезанных и вписанных излучин выше, чем адаптированных и свободных излучин с $N = 7.9-8.3$, что можно объяснить высокой сосредоточенностью потока в русле при прохождении половодья, а также песчаным характером берегов у второго типа излучин.

Наблюдается дифференциация показателей размыва по группам свободных излучин. Для групп 5 и 6 (табл. 5) связи аппроксимируются экспоненциальными уравнениями (табл. 6). Стационары группы 5 характеризуются более высокими значениями размыва при меньших коэффициентах корреляции, что может свидетельствовать о менее тесной связи с водностью реки и большей ролью локальных факторов в возникновении размывов и увеличении темпов разрушения берегов по сравнению со стационарами на излучинах группы 6. Наиболее тесная зависимость характерна для связей порядка с протяженностью и площадью размывов:

$$l_{\text{разм}} = f(N), F_{\text{разм}} = f(N).$$

Стационар р. Кудьма — д. Ветчак, относящийся к группе 7, имеет сниженные значения

показателей размыва, несмотря на увеличение порядка N . Основной причиной этого может быть подпор от Чебоксарского водохранилища и частично от моста по магистральному шоссе, находящемуся в 130 м ниже по течению: предмостовая дамба полностью перекрывает пойму, создавая в половодье дополнительный подпор. На данном участке реки размывается уступ пойменного берега высотой 4.0 м, в верхней части сложенный суглинками мощностью 1.5 м, в нижней — песками. Благодаря подпору основной поток во время половодья нередко проходит при значительной глубине затопления поймы или выше литологической границы слоев. Максимальные показатели размыва не наблюдаются в годы с наиболее высокими уровнями воды (по данным г.п. Кстово). В отличие от этого стационара, на свободных излучинах в условиях отсутствия подпора (например, на стационаре р. Озёрка — с. Кужутки-1) многолетний ход размыва имеет прямую зависимость от водности года.

Получены параметры зависимости показателей размыва от высоты берега $h_{\text{бер}}$ (рис. 3). В целом, можно отметить рост их значений на излучинах с увеличением высоты берега $h_{\text{бер}}$. Графики имеют линейный вид, наиболее тесной связью характеризуется площадь размыва $F_{\text{разм}}$. Для свободных излучин с $N < 7.9$ (группа 5) уравнение имеет вид:

$$F_{\text{разм}} = 3.2427h_{\text{бер}} + 1.5451, R = 0.99.$$

Единой зависимостью связаны свободные излучины с $N > 7.9$ и $l/L \leq 2$ (группы 5, 6) и адаптированные излучины (группа 3):

$$F_{\text{разм}} = 2.6333h_{\text{бер}} - 6.4658, R = 0.97.$$

Свободная излучина на стационаре р. Кудьма — к.п. Зелещино-2 имеет $l/L > 2$; этот и ряд других факторов определяют более высокие значения показателей размыва на данном участке русла и выделение его из выявленных закономерностей.

Остальные исследуемые типы русел не укладываются в полученные параметры зависимости. В появлении размывов на прямолинейных руслах более важную роль играют другие характеристики берега, например, наличие препятствий для водного потока и участков, лишенных растительности. Высота берегов вписанных излучин определяется высотой надпойменных террас, излучины имеют большую интенсивность смещения из-за высоких удельных руслоформирующих расходов и песчаного состава береговых отложений, что соответствует характерным особенностям динамики данного типа излучин (Чалов и др., 2004).

Таблица 5. Группы стационаров по основным условиям руслоформирования

Table 5. Groups of monitoring sites according to the main forming conditions

№ п/п	Группа	Стационары
1.	Относительно прямолинейные русла, адаптированные к надпойменной террасе	р. Кудьма – д. Лакша, р. Кудьма – п. Буревестник-2
2.	Врезанные излучины	р. Озёрка – д. Белозерово
3.	Адаптированные излучины широкопойменного русла	р. Кудьма – к.п. Зеленый город-2, р. Кудьма – д. Зелецино-3
4.	Вписанные излучины адаптированного русла	р. Озёрка – с. Кужутки-2
5.	Свободные излучины $N < 7.9 / F < 1000 \text{ км}^2$	р. Печеть – д. Александровка, р. Сетчуга – с. Ивановское, р. Озёрка – с. Кужутки-1, р. Озёрка – с. Чернуха
6.	Свободные излучины $N = 7.9 - 8.3 / F = 1000 - 2000 \text{ км}^2$	р. Кудьма – п. Буревестник-1, р. Кудьма – к.п. Зеленый город-1, р. Кудьма – к.п. Зелецино-2
7.	Свободные излучины $N > 8.3 / F > 2000 \text{ км}^2$	р. Кудьма – д. Ветчак

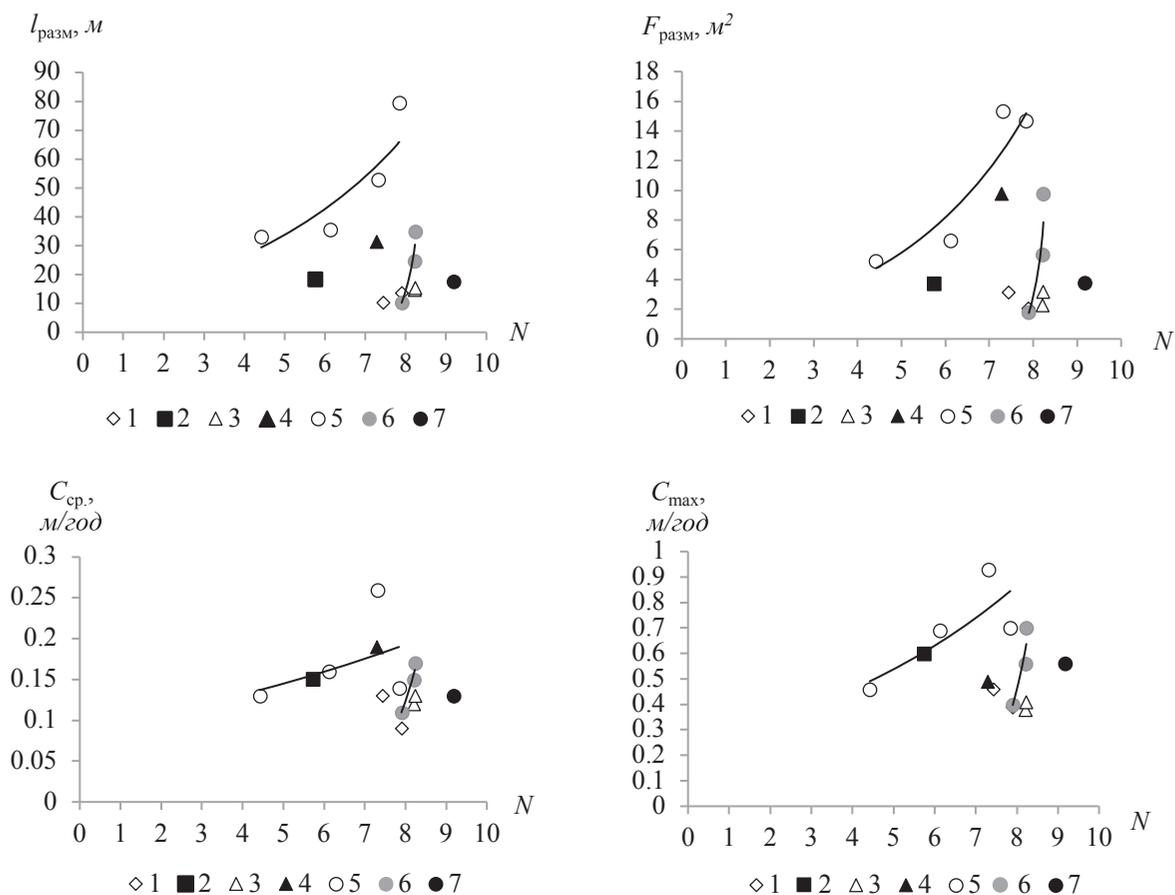
Рис. 2. Зависимость показателей размыва от порядка реки N . Номера 1–7 соответствуют группам стационаров в таблице 5

Fig. 2. Erosion indicators – stream order charts. Numbers – groups of monitoring sites in table 5

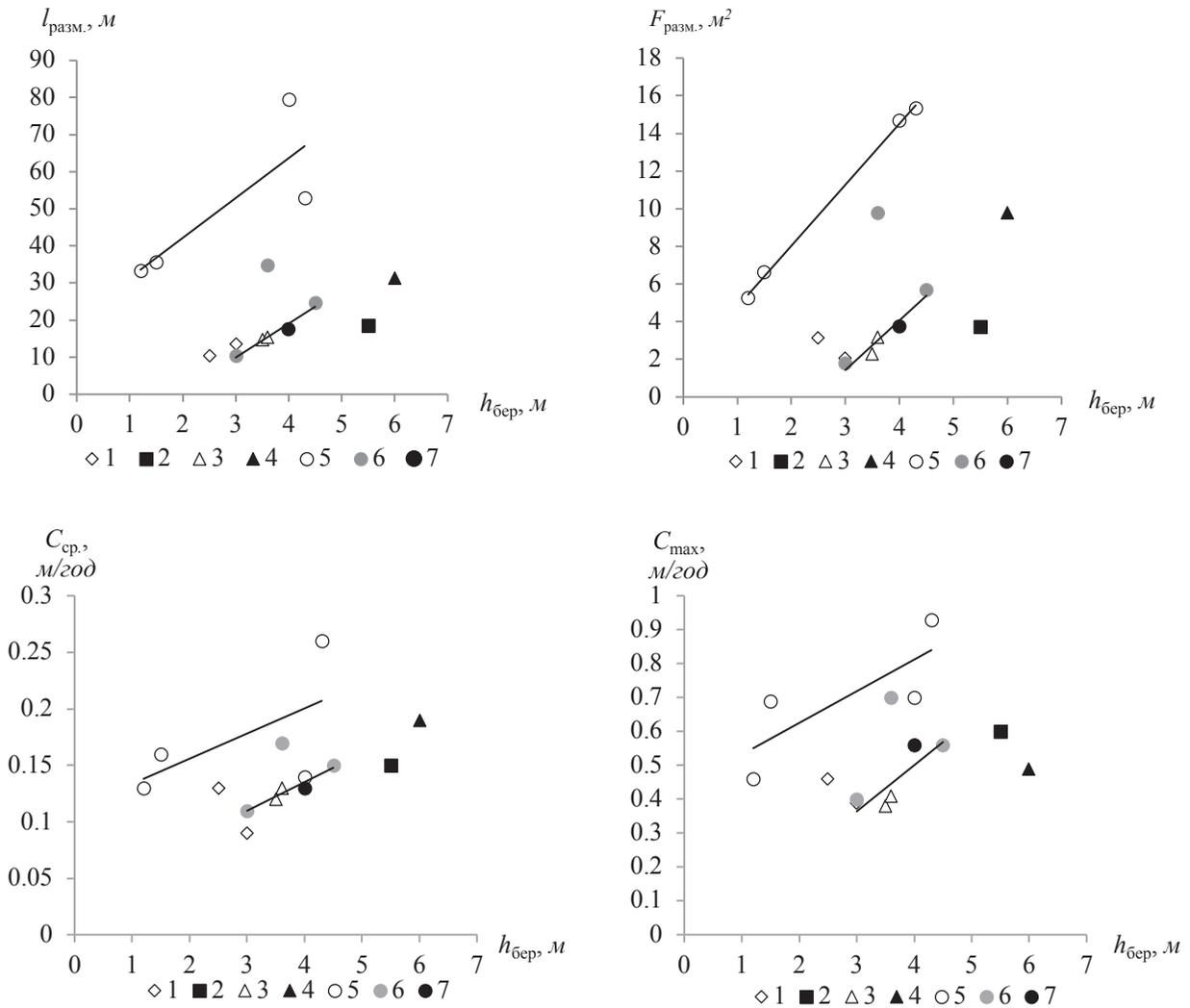


Рис. 3. Зависимость показателей размыва от высоты берега $h_{бер}$. Номера 1–7 соответствуют группам стационаров в таблице 5

Fig. 3. Erosion indicators – bank height charts. Numbers correspond with groups of monitoring sites in table 5

Зависимость $l_{разм.}(C_{ср.}, C_{макс.}, F_{уд.разм.}) = f(h_{бер})$ для свободных излучин с $N < 7.9$ менее тесная, чем для свободных излучин с $N > 7.9, l/L \leq 2$ и адаптированных излучин; коэффициенты корреляции составляют $R = 0.61–0.82$ и $R = 0.81–0.98$ соответственно.

Зависимость показателей размыва берегов от степени развитости излучин l/L имеет различия по типам излучин и рекам бассейна, наряду с общей тенденцией – ростом с увеличением l/L (рис. 4). При близких значениях l/L берега врезанных излучин размываются интенсивнее, чем адаптированных. Повышенная интенсивность отступления берегов вписанных излучин согласуется с высокой степенью их развитости l/L – вышеуказанные факторы также приводят к преимущественно поперечному смещению излучин.

Связи свободных излучин дифференцируются по наиболее крупным рекам бассейна и их притокам. Для стационаров на р. Озёрке характерны более высокие показатели размыва по сравнению с другими реками при близких значениях l/L . Для р. Кудьмы получены уравнения зависимости, имеющие линейный вид:

$$l_{разм.} = 21.167 l/L - 14.637, R = 0.99,$$

$$F_{разм.} = 6.8412 l/L - 6.5365, R = 0.98,$$

$$C_{ср.} = 0.0525 l/L + 0.0496, R = 0.99,$$

$$C_{макс.} = 0.2445 l/L + 0.1339, R = 0.96,$$

$$F_{уд.разм.} = 0.0921 l/L + 0.0657, R = 0.99.$$

Таблица 6. Уравнения зависимости показателей размыва от порядка реки N для групп свободных излучин**Table 6.** Erosion indicators – stream order equations for different wide-floodplain meander groups

Уравнения	Группы стационаров	
	Группа 5 ($N < 7.9$)	Группа 6 ($N = 7.9–8.3$)
$l_{\text{разм}} = f(N)$	$l_{\text{разм}} = 10.356e^{0.236N}, R = 0.89$	$l_{\text{разм}} = 5E - 11e^{3.2947N}, R = 0.97$
$F_{\text{разм}} = f(N)$	$F_{\text{разм}} = 1.0618e^{0.3395N}, R = 0.94$	$F_{\text{разм}} = 4E - 16e^{4.5597N}, R = 0.97$
$C_{\text{ср.}} = f(N)$	$C_{\text{ср.}} = 0.0899e^{0.0953N}, R = 0.46$	$C_{\text{ср.}} = 1E - 05e^{1.1797N}, R = 0.97$
$C_{\text{max}} = f(N)$	$C_{\text{max}} = 0.2427e^{0.1591N}, R = 0.83$	$C_{\text{max}} = 5E - 06e^{1.4286N}, R = 0.94$
$F_{\text{уд.разм}} = f(N)$	$F_{\text{уд.разм}} = 0.1025e^{0.1035N}, R = 0.59$	$F_{\text{уд.разм}} = 8E - 06e^{1.265N}, R = 0.94$

На свободных излучинах р. Озёрки (в пределах стационаров) отмечается уменьшение $l_{\text{разм}}$ при увеличении l/L . Это может быть вызвано усложнением форм более крупной омеговидной излучины благодаря начавшемуся образованию «вторичной» сегментной излучины в месте расположения стационара р. Озёрка – с. Чернуха и неустоявшемуся еще размеру фронта размыва.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные данные стационарных наблюдений на малых реках бассейна Кудьмы за период 2010–2023 гг. показали значительный разброс значений показателей размыва на разных участках – длина фронта размыва $l_{\text{разм}}$ составила от 10 до 80 м, площадь размыва $F_{\text{разм}}$ – от 2 до 15 м²/год, средняя скорость размыва $C_{\text{ср.}}$ – от 0.1 до 0.3 м/год, максимальная скорость – от 0.4 до 1.0 м/год. Рассмотрение основных факторов размыва – водности (порядка) реки, геолого-геоморфологических условий и морфодинамического типа русла – дает возможность выявить закономерности развития и проявления горизонтальных русловых деформаций.

На относительно прямолинейных участках русел отмечается отсутствие связи интенсивности размыва с основными факторами руслоформирования, она в значительной степени определяется местными условиями размыва.

Наиболее ярко зависимость показателей размыва от определяющих факторов проявляется на свободных излучинах. При этом для участков рек с $N < 7.9$ при больших значениях показателей размыва отмечаются большой разброс точек на графиках связей, меньшие значения коэффициентов корреляции, разнообразие связей со степенью развитости l/L . Это говорит о менее тесной зависимости размывов берегов рек от их водности и

существенном влиянии локальных факторов на динамику берегов. Для участков рек с $N > 7.9$ влияние местных условий нивелируется мощностью потока, коэффициенты корреляции уравнений у них более высокие.

Наиболее тесные связи с условиями руслоформирования имеет площадь размыва $F_{\text{разм}}$.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор признателен за помощь в проведении исследований коллективу Научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева и бывшему директору Дальнеконстантиновского краеведческого музея В.В. Жиляеву, а также научному сотруднику Лаборатории А.М. Тарбеевой за консультирование в использовании англоязычной терминологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Варенов А.Л., Ботавин Д.В., Завадский А.С. и др. Русловые процессы на малых реках староосвоенных территорий (на примере рек бассейна р. Кудьмы, Приволжская возвышенность) // Эрозионные и русловые процессы. Вып. 6. М.: Географ. ф-т МГУ. 2015. С. 131–160.

Завадский А.С., Лобанов Г.В., Петухова Л.Н. и др. Результаты стационарных исследований русловых процессов на реках ЕТР // Эрозионные и русловые процессы. Вып. 5. М.: МАКС Пресс. 2010. С. 220–251.

Камалова Е.В. Размывы берегов и горизонтальные деформации русел малых и средних рек бассейнов Волги и Верхнего Дона // Малые реки центра Русской равнины, их использование и охрана. М.: МФ ГО СССР. 1988. С. 25–32.

Коркин С.Е., Исыпов В.А. Анализ горизонтальных русловых деформаций средней Оби на основе

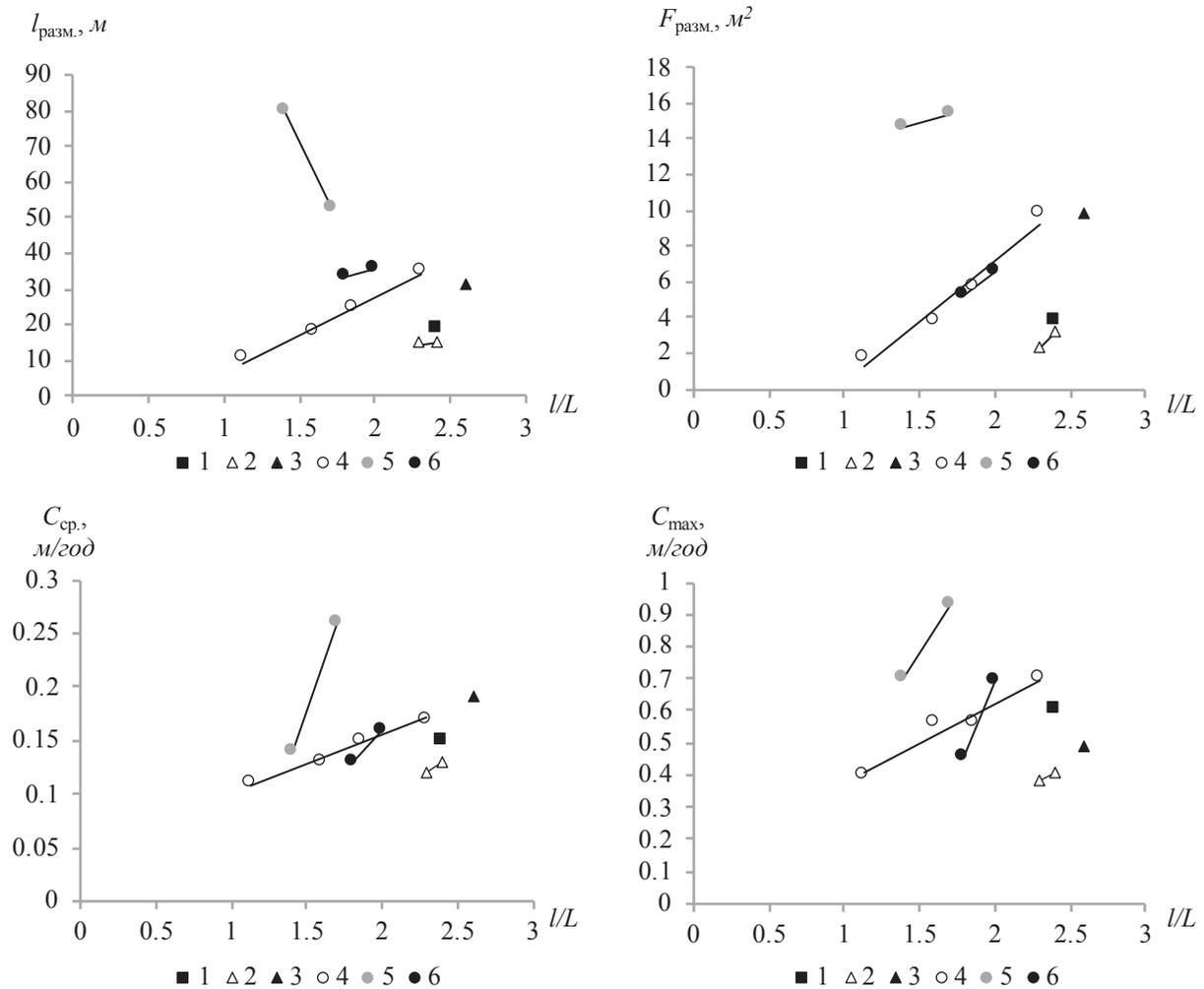


Рис. 4. Зависимость показателей размыва от степени развитости излучин l/L . Типы русел: 1 – врезанные излучины; 2 – адаптированные излучины широкопойменного русла; 3 – вписанные излучины; 4 – свободные излучины, р. Кудьма; 5 – свободные излучины, р. Озёрка; 6 – свободные излучины, р. Печеть и р. Сетчуга

Fig. 4. Erosion indicators – degree of curvature charts. Channel types: 1 – incised meanders, 2 – confined meanders, 3 – confined meanders with the top inside the river terrace, 4 – wide-floodplain meanders, Kudma River, 5 – wide-floodplain meanders, Ozerka River, 6 – wide-floodplain meanders, Pechet’ and Setchuga Rivers

стационарных наблюдений // Геоморфология. 2022. Т. 53. № 4. С. 85–97.

<https://doi.org/10.31857/S043542812204006X>.

Малые реки волжского бассейна. М.: Изд-во МГУ, 1998. 236 с.

Пахомова О.М. Гидролого-морфологические характеристики русел рек и порядковая структура речной сети. Автореф. дисс. ...канд. геогр. наук. М.: МГУ. 2001. 28 с.

Рысин И.И., Петухова Л.Н. Русловые процессы на реках Удмуртии. Ижевск: Ассоциация «Научная книга», 2006. 176 с.

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

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.

ОБ АВТОРЕ

Варенов Александр Леонидович – преподаватель кафедры географии, географического и геоэкологического образования естественно-географического факультета НГПУ имени К. Минина, младший научный сотрудник отдела природы Нижегородского государственного историко-архитектурного музея-заповедника.

E-mail: varenovgeo@gmail.com.

CHANGES OF SMALL RIVERS CHANNELS IN THE KUDMA BASIN AND THEIR RELATIONSHIP WITH FACTORS OF CHANNEL PROCESSES (based on stationary observations from 2010 to 2023)

A.L. Varenov

Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University, Nizhny Novgorod, Russia

varenovgeo@gmail.com

Abstract. Changes of small rivers channels occur in conditions of low water runoff, significant dependence of morphology and morphometry on local factors, sensitivity to anthropogenic impacts. This causes low intensity of bank erosion and the emergence of diversity of its relationships with factors of channel processes, which complicates the analysis of channel deformations. Field monitoring helps to solve this problem. The article examines the methods, analysis techniques and some results of monitoring of bank erosion at 15 sites of small rivers channels in the Kudma basin for the period from 2010 to 2023. The measurement data show a significant spread in the values of indicators of erosion rates: length of eroded bank varies from 10 to 80 m/year, eroded area – from 2 to 15 m²/year, average rate of bank retreat is from 0.1 to 0.3 m/year, maximum – 0.4 to 1.0 m/year. Identification of relationships with factors of channel processes (water runoff, geological and geomorphological conditions, morphodynamic type of channel, local conditions) made it possible to divide the studied channels into groups with qualitative differences in the manifestation of morphodynamics. On straight channel the development of bank erosion is largely determined by local conditions. The dependencies of erosion indicators are most clearly manifested on wide-floodplain meanders. The area of erosion has the closest relationship with the forming conditions.

Key words: bank erosion, monitoring sites

ACKNOWLEDGMENTS

The author is grateful for the help in conducting research to the staff of the Scientific Research Laboratory of Soil Erosion and Riverbed Processes named after N.I. Makkaveev and the former director of the Dalnekonsantinovskiy Museum of Local Lore V.V. Zhilyaev, as well as a researcher at the Laboratory A.M. Tarbeeva for advising on the use of English terminology.

REFERENCES

Varenov A.L., Botavin D.V., Zavadskiy A.S. et al. Channel processes of small rivers in the old developed territory (on the example of the Kudma basin, Volga Upland) // *Erosion and channel processes*. Vol. 6. M.: Geograf. f-t MGU. 2015. P. 131–160.

Zavadskiy A.S., Lobanov G.V., Petukhova L.N. et al. Stationary observations results of channel processes on the European part of Russia // *Erosion and channel processes*. Vol. 5. M.: MAKS Press. 2010. P. 220–251.

Kamalova E.V. Bank erosion and horizontal channel deformations of small and medium rivers in the Volga basin and Upper Don basin // *Small rivers of the central Russian Plain, their use and protection*. M.: MF GO SSSR. 1988. P. 25–32.

Korkin S.E., Isypov V.A. Analysis of horizontal channel deformations based on stationary observations // *Geomorfologiya (In Russ.)*. 2022. Vol. 53. No 5. P. 85–97. DOI: 10.31857/S043542812204006X.

Small rivers of the Volga basin. M.: Izd-vo MGU, 1998. 236 p.

Pakhomova O.M. Hydrological and morphological characteristics of channels and channel-ordering structure. M.: MGU, 2001. 28 p.

Rysin I.I., Petukhova L.N. Channel processes of the rivers of Udmurtia. Izhevsk: Assotsiatsiya «Nauchnaya kniga», 2006. 76 p.

Chalov R.S., Zavadskiy A.S., Panin A.V. River meanders. M.: Izd-vo MGU, 2004. 371 p.

Chalov R.S. Riverbed science: theory, geography, practice. Vol. 1. Channel processes: factors, mechanisms, forms of manifestation and forming conditions. M.: Izd-vo LKI, 2008. 608 p.

ABOUT THE AUTHOR

Varenov Aleksandr – lecturer of the Department of Geography, Geographical and Geoecological Education of the Faculty of Natural Sciences and Geography of Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University; junior researcher at the Department of Nature of Nizhny Novgorod State Reserve Museum of History and Architecture. E-mail: varenovgeo@gmail.com.

УДК 551.435.118, 551.4.023

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛОКАЛЬНОГО ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА БОКОВОЙ ЭРОЗИИ Р. ОКИ

А.Ю. Воробьев¹, А.С. Кадыров¹, Д.С. Локтеев², Е.В. Бургов^{3,4},
А.А. Балобина⁵

¹Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина, г. Рязань, Россия;

²Московский государственный университет геодезии и картографии;

³Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», г. Москва, Россия;

⁴Институт проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова РАН, г. Москва, Россия;

⁵Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, г. Москва, Россия

a.vorobyov90@mail.ru

Поступила в редакцию 14.02.2025

После доработки 19.02.2025

Принята к публикации 06.03.2025

Аннотация. Приводятся результаты работы геоморфологического стационара на нижнем крыле излучины р. Оки у с. Костино Рязанской области. Полевые наблюдения за скоростью эрозии берега на этой учетной площадке свидетельствуют о ежегодном отступании надводной части берега на 1.67 м. За два года мониторинга весенние половодья полностью затапливали стационар. В 2023 г. максимальная водность потока составляла примерно 4700 м³/с и превышала прошлогоднее значение на 62%. Применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) позволило получить растры поверхности высокого разрешения и скоординировать линейные, площадные и объемные метрики эрозии. Отклик рельефа на повышенную энергию половодья во втором году наблюдений выразился в почти двукратном ускорении разрушения откоса (на 95%). Его участки, сложенные песками и супесями, в ряде мест претерпели особенно интенсивные размывы, что подтверждается съемкой дна русла. В ходе геодезической съемки по сезонам гидрологического года нами установлено, что эрозия берега не прекращается летом и осенью, хотя и достигает всего 20% от объема за год.

Ключевые слова: река Ока, боковая эрозия русла, геоморфологический стационар, половодье, морфометрия, БПЛА, цифровая модель рельефа (ЦМР)

DOI: [10.71367/3034-4638-2025-2-1-73-95](https://doi.org/10.71367/3034-4638-2025-2-1-73-95)

ВВЕДЕНИЕ

В центральной части Русской равнины для пойменно-русловых рельефообразующих процессов характерна сезонность максимальных проявлений, обусловленная последовательной и ежегодной сменой фаз водного режима. Начало XXI в. было отмечено множеством примеров нарушения устоявшегося, как казалось в прошлом столетии, годового распределения расходов на водотоках бассейна р. Волги (Георгиади, Коронкевич, Барабанова и др., 2019; Воробьев, Кадыров, 2020; Воробьев, Кривцов, Кадыров, 2021; Горбаренко, Варенцова, Киреева, 2021). Среди них р. Ока выделяется слабо зарегулированным стоком, высокой степенью освоенности прилегающих территорий и значительными

объемами добычи донных отложений (Беляков, Беркович, 2005; Беркович, 2020). Перечисленные особенности природно-антропогенных ландшафтов окской долины особенно характерны для Рязанской области, в которой р. Ока преодолевает 535 км водного пути (треть от всей своей длины). Исторически весенние половодья были одним из основных рельефообразующих процессов в средней части окского бассейна (между устьями рек Москвы и Мокши) (Кривцов, Правкин, 2015; Воробьев, Пузаков, 2017). Исследования геоморфологических, эдафических и биоценологических последствий затопления поймы велись здесь еще с конца XIX в. (Лазаренко, 1964). В последние годы вследствие

колебаний водности р. Оки, бурного развития строительной отрасли и обновления инфраструктуры агропромышленного комплекса резко возрос интерес административного аппарата и представителей бизнеса к природным ресурсам и процессам староосвоенной окской поймы (Команда экспертов..., 2023; Опубликован эскиз моста-дублера..., 2023). Последняя занимает почти центральное положение в Рязанской области, и игнорировать состояние природно-антропогенных геокомплексов днища долины в современных условиях становится просто невозможно.

Река Ока в среднем течении является крупным водотоком со среднегодовым расходом более 500 м³/с. Ведущим рельефообразующим процессом в ее пойме является эрозионно-аккумулятивная работа русла. Документированы разрушения берегов со смещением откосов на 10–15 м вглубь поймы, в том числе при прорывах шеек меандров (Лазаренко, 1964; Воробьев, Пузаков, 2017). К наиболее опасным последствиям боковой эрозии относится медленный подмыв коренных бортов окской долины, подготавливающий реализацию собственных напряжений массивов пород (Коробкин, Передельский, 2013; Kimiaghali, Goharrokh, Clark et al., 2015; Zong, Xia, Zhou et al., 2017). Ярким тому примером являются многочисленные генерации оползневых тел и долинных педиментов у сел Константиново и Дядьково (Кривцов, Правкин, 2015). В пределах региона оползневые процессы, инспирированные весенним подтоплением основания террасовых склонов, за последнюю тысячу лет приводили к исчезновению культурных и религиозных построек (Воробьев, Пузаков, 2017). Но и последствия литодинамики берегов широкопойменного русла являются нежелательным геоморфологическим процессом, который ежегодно приводит к необратимым потерям земельного фонда. Улицы нескольких крупных сел в Рязанской области выходят непосредственно на участки центральной поймы с высоким эрозионным риском. В подобных случаях прогрессирующий размыв берегов окского русла приобретает социально-экономическое значение. Уничтожение генераций зрелой поймы приводит к сокращению площади пастбищ, сенокосов и залежных земель — потенциальных территорий для развития и расширения сельскохозяйственной, селитебной и транспортной инфраструктуры. Пространственно-хронологическая динамика рельефа днища речной долины, который Ю.Г. Симонов выделял в качестве самостоятельной морфолитосистемы (Симонов, 2005), таким образом, рассматривается как процесс, проявления которого имеют выраженное прикладное значение.

В условиях бассейна р. Оки эрозионный риск, казалось бы, должен иметь четко выраженную периодичность и приуроченность к весенним половодьям и пропуску руслоформирующих расходов. Однако за последние полвека приведено множество примеров преобразования морфологии речных берегов (в том числе и низких) не только флювиальной, но и антропогенной, биогенной, склоновой и суффозионной литодинамикой (Баровский, 2005; Karmaker, Dutta, 2013; Егоров, 2017; Masoodi, Noorzad, Majdzadeh et al., 2018; Рысин, Осипов, 2021). Вклад этих альтернативных агентов рельефообразования в ежегодные горизонтальные русловые деформации в границах средней части окского бассейна остается слабоизученным вопросом. Очевидно, что на реках, подобных р. Оке по водному режиму, половодный размыв должен вносить основной вклад в отступление берегов; роль же субэраляльных процессов может рассматриваться в качестве дополнительной. В 2010-е гг. доля весеннего стока (март — май) в среднем течении р. Оки снизилась до 43–45% вместо обычных значений 55–60% (Георгиади, Коронкевич, Барабанова и др., 2019; Горбаренко, Варенцова, Киреева, 2021). Для отдельных лет (например, 2014, 2019, 2020 гг.) зафиксирован максимум водности зимой, летом или осенью, что обусловлено возросшей меридиональностью мезоклимата окского бассейна и неустойчивой предвесенней и весенней погодой. Стратегии, разработанные для землепользования в поймах ряда крупных рек Евразии и Северной Америки, предусматривают фиксацию любых, даже второстепенных рельефообразующих процессов (Lagasse, Zewenbergen, Spitz et al., 2004; Karmaker, Dutta, 2013; Yu, Wei, Wu, 2015). В настоящем исследовании мы задались вопросом: может ли субэральная эрозия за теплое время года приводить к потере значительных территорий и заметному экспорту отложений из берегов, либо берега остаются практически стабильными? Осуществленные на протяжении 2014–2020 гг. исследования деформации фронтов размыва берегов р. Оки (территориальный охват 5.6 км русла) основывались на методе реперов (эрозионных штифтов) (Воробьев, Кадыров, 2020). Несмотря на получение первичной информации о скорости отступления берега, оценка сезонной составляющей эрозии оказалась неполной, в первую очередь, из-за дискретной природы полученных позиционных данных.

Локальная информация о топографии земной поверхности в последние 30–35 лет все чаще добывается с помощью фотограмметрии, аэрофотосканирования и лазерных локаторов (Lawler, 1993; Hamshaw, Bryce, Rizzo et al., 2017; Jugie, Goba,

Virnoux et al., 2018; Masoodi, Noorzad, Majdzadeh et al., 2018). Использование современных достижений геодезии в речных поймах, прежде всего, предполагает возможность составления крупномасштабных цифровых моделей рельефа (ЦМР) для классификации его форм и выделения единиц геоморфологического районирования. Кроме того, систематическая съемка берегов рек на этапе расширения технологических возможностей беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) позволяет хронологически фрагментировать ход морфолитодинамики, вплоть до привязки отдельных рельефообразующих процессов к сезонам гидрологического года. Обе задачи были успешно решены в настоящей работе, главной целью которой являлось определение скорости боковой эрозии (параметр U) и ее объемов (параметр V) на надводной части берега р. Оки в границах геоморфологического стационара.

Стационарные исследования рекомендованы в динамической геоморфологии для мониторинга периодических процессов и построения сценариев развития той или иной территории (Симонов, 2005; Егоров, 2017). При этом наиболее благоприятные условия для заложения учетных площадок связаны с динамичными объектами, трансформация топографии которых очевидна уже в течение нескольких лет. По данным ресурса Global Surface Water Explorer (Global Surface Water..., 2023), самой активной эрозией в Рязанском расширении поймы р. Оки (743–662 км от устья) отличается фронт размыва на Марковской излуцине. Наша оценка стабильности плановых очертаний водотока, выполненная в первом приближении с использованием карт Атласа Менде, определила нижнее крыло меандра как неустойчивый участок русла с высоким эрозийным риском (Воробьев, Пузаков, 2017). За 160 лет увеличение длины прогиба стрелы излуцины достигло порядка 300 м, средняя скорость боковой эрозии – 1.9 м/год. Тот же вывод можно сделать по результатам полевого мониторинга смещения пойменной бровки с помощью метода эрозионных штифтов (Воробьев, Кадыров, 2020).

Геоморфологические последствия прохождения половодий 2022–2023 гг. запечатлены на упомянутом участке с помощью наземной геодезической съемки и применения современных технологий. В границах стационара «Костино» с динамично развивающимся рельефом осуществлена количественная ежесезонная оценка боковой эрозии, позволяющая оценить геоморфологический риск для местных геоконплексов. Дистанционные и историко-географические данные позволяют предполагать, что актуальная скорость отступления берега в границах учетной площадки несколько

выше, чем в среднем по Рязанскому расширению. Ежегодные значения всех параметров эрозии будут, по всей видимости, соответствовать верхней границе интенсивности возможной морфолитодинамики на прочих фрагментах окских берегов в его пределах. Протяженность стационара вдоль пойменной бровки определяется необходимостью наблюдений противозерозионной устойчивости хотя бы нескольких характерных элементов рельефа сегментно-гвивистой поймы, ширина которых чаще всего колеблется от 10 до 50 м.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Ключевой участок исследования, расположенный на нижнем крыле Марковской излуцины (рис. 1), представлен 400-метровым выделом фронта размыва меандра, подрезающего генерацию сегментно-гвивистой поймы. Геологическое строение пойменного массива двучленное: маломощная (в среднем 2.4 м) пойменная фация аллювия (aIVp) залегает на песчано-супесчаном пакете пойменно-русловых отложений (aIVrg). Механический состав грунтов aIVp суглинистый, мощность почвенно-растительного слоя (ПРС) достигает 0.5 м. Стационар является характерным примером учетной площадки на комплексе сегментно-гвивистого рельефа локального уровня, причем двучленная фациальная схема осложнена, по крайней мере, тремя старичными линзами (aIVs), соответствующими межгвивным ложбинам. Положение нижней границы русловой фации неизвестно, но обычно на подобных молодых комплексах рельефа она переходит в плейстоценовые озерно-аллювиальные и аллювиальные отложения песчано-гравийного состава (Лазаренко, 1964). Стационар имеет форму сложного прямоугольника шириной до 60 м, из которых (в зависимости от конкретного года) 2–7 м приходится на бичевник. Среднее превышение дневной поверхности поймы над меженным уровнем, абсолютные отметки которого 92.5 м, составляет 6.3 м.

К пойменной части стационара прилегает фрагмент русла р. Оки в 726 км от ее устья, имеющий угол разворота излуцины 110–140°. Сама излуцина имеет степень развитости $l/L = 3.4$, русло приближается к значению показателя формы $r/b_p = 2.7$, когда становится возможным нарушение безотрывного обтекания фронта размыва (Эрозионно-русловые..., 2017). Русло сужено ($b_p = 157$ м), что на 54 м меньше, чем среднее значение для Рязанского расширения окской поймы. Учитывая, что $L/h = 0.7$, излуцину следует классифицировать как заваленную синусоидальную (Кондратьев, Попов, Снисценко, 1982; Эрозионно-русловые..., 2017).

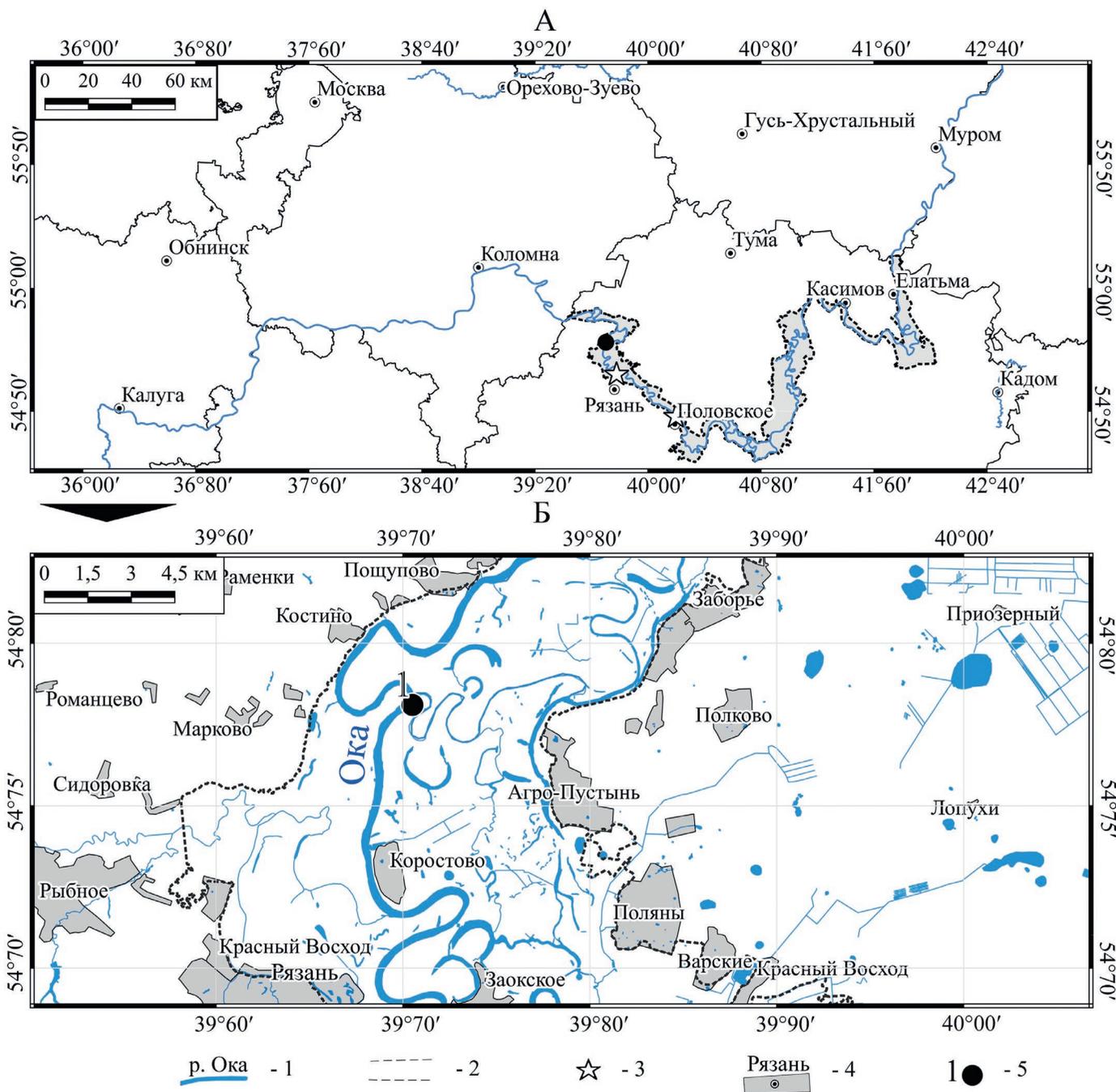


Рис. 1. А – пойменная часть долины р. Оки в ее среднем течении. Б – расположение наблюдаемого участка берега Марковской излучины р. Оки. 1 – реки и водоемы; 2 – пойма р. Оки в Рязанской обл.; 3 – гидропосты Рязань и Половское; 4 – населенные пункты; 5 – стационар «Костино»

Fig. 1. А – floodplain of the Oka River valley in its middle part. Б – location of the monitoring of the bank of the Markovskaya bend of the Oka River. 1 – rivers and water bodies; 2 – floodplain of the Oka River in the Ryazan Oblast; 3 – gauging stations 'Ryazan' and 'Polovskoye'; 4 – settlements; 5 – geomorphological stationary site 'Kostino'

На этапе рекогносцировки местности и анализа лоцманских карт (Лоцманская карта..., 1956) нами было установлено, что особенностью излучины в ее нижнем крыле является наличие глубокого плёса (до 11–12 м). Около стационара находится, веро-

ятно, самый глубокий участок р. Оки в пределах Рязанского расширения. Поскольку устойчивость берега реки в значительной степени обусловлена морфометрией и литологией его подводной части (Кораблева, Чернов, 2008; Deng, Xia, Zhou et al.,

2018; Jugie, Goba, Vermoux et al., 2018; Беркович, 2020), нами были предприняты гидрометрические работы. Они включали измерения глубины русла по трем промерным створам (рис. 2), впоследствии позволившие разделить русловые сечения на 20-метровые интервалы. Моделирование рельефа русла и поймы выполнено в AutoCAD, модуль Civil 3D. Геодезические расчеты стали основой для составления трех поперечных сечений меженного потока: на входе и выходе русла из стационара и в срединной его части.

Основная информация о динамике рельефа ключевого участка основывается на использовании двух подходов к получению пространственных данных, распространенных в геодезии и маркшейдерии: непосредственного перемещения оператора по берегу с GNSS-приемником (Тикунов, 1997) и сканирования неровностей земной поверхности камерой беспилотного летательного аппарата (БПЛА) (Hamshaw, Bryce, Rizzo et al., 2017; Лучников, Ляхин, Лепихин, 2018; Masoodi, Noorzad, Majdzadeh et al., 2018). Множество дискретных точек позициони-

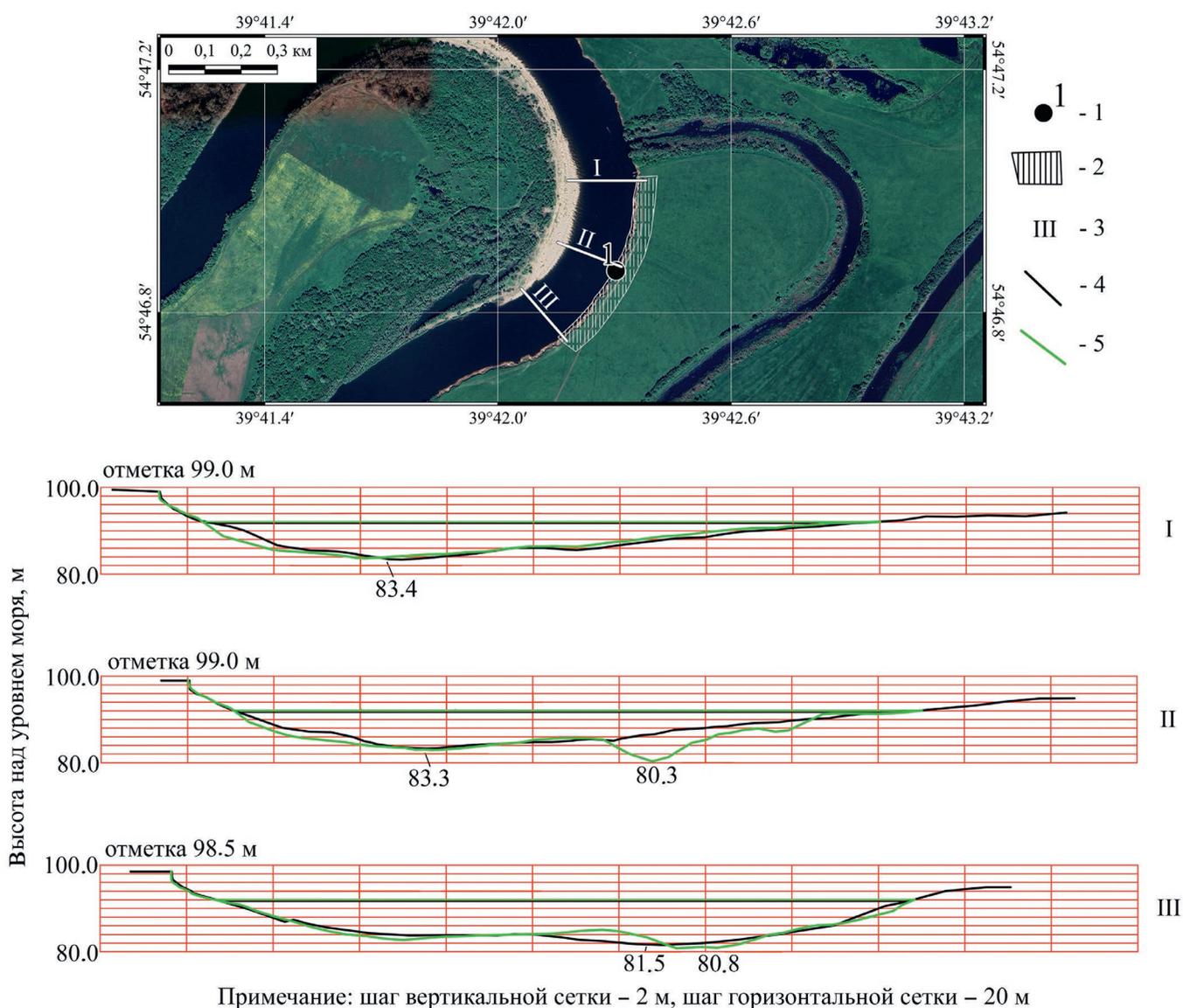


Рис. 2. Стационар «Костино»: 1 – центр учетной площадки; 2 – ее границы; 3 – номера поперечных сечений; 4 – контуры сечений в 2022 г.; 5 – контуры сечений в 2023 г.

Fig. 2. Geomorphological station 'Kostino': 1 – centre of the accounting site; 2 – its boundaries; 3 – numbers of cross sections; 4 – contours of sections in 2022; 5 – contours of sections in 2023

рования как самой бровки откоса, так и плоскости уступа было получено с помощью геодезической съемки модельного объекта GNSS-приемниками Topcon GR-5 и EFT M4 GNSS (рис. 3). По итогам каждой съемки создавалась нерегулярная сеть из 2300–2700 точек, ставшая в дальнейшем основой для построения итоговой ЦМР методом триангуляции. Полевая съемка частично выполнена в режиме RTK (Real-Time Kinematic – кинематика в реальном

времени) с использованием двух приемников для ускорения выполнения поставленной задачи. Для обеспечения точности измерений производилась привязка к местной системе координат и к Балтийской системе высот 1977 г.

Гораздо более обширные облака точек (до 30 млн объектов) с координатами были сформированы путем аэрофотосканирования поверхности стационара и примыкающих областей. Первая

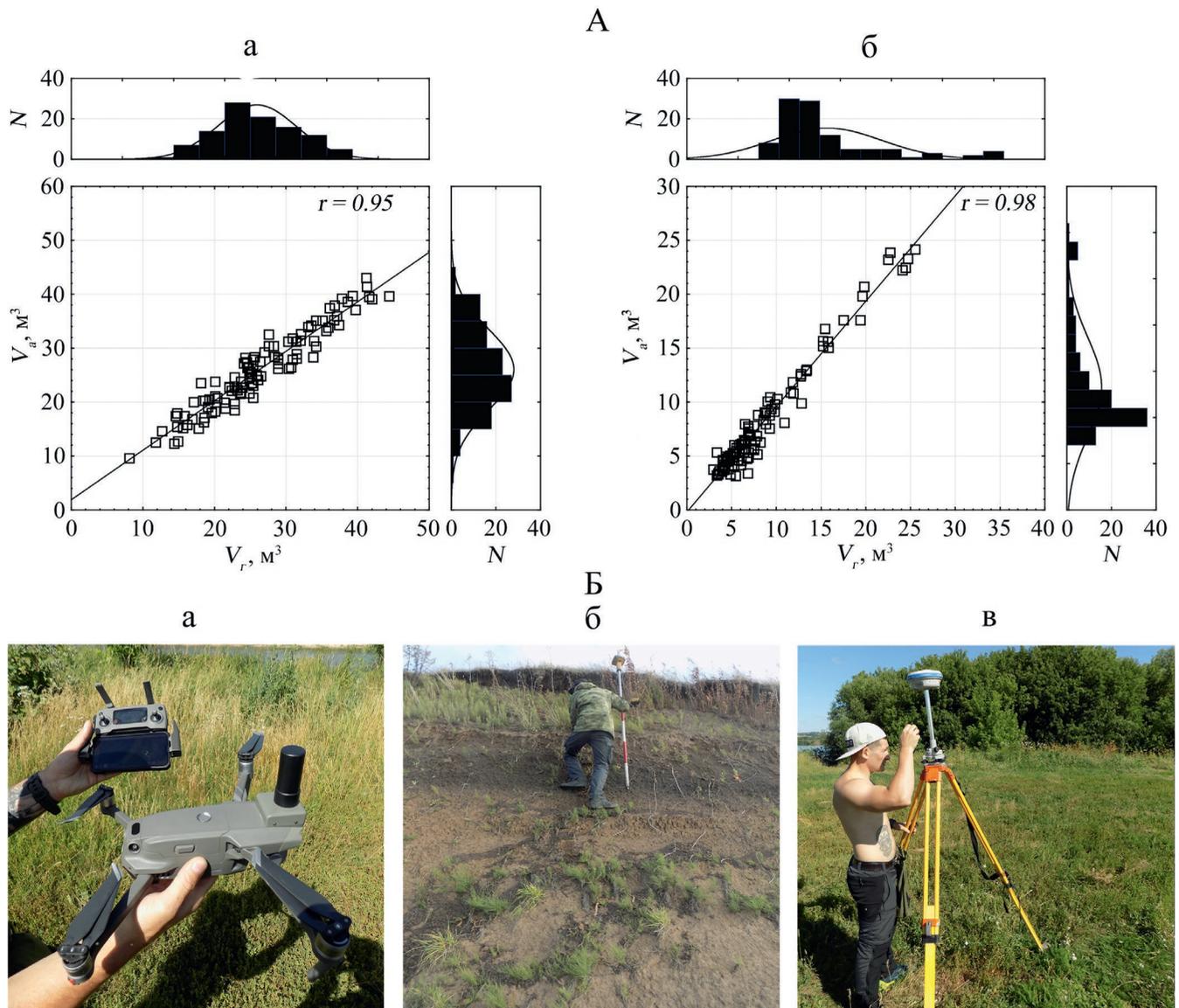


Рис. 3. Корреляция данных наземной съемки (объем размыва V_r) и БПЛА-съемки (объем размыва V_a), выполненных зимой – весной 2022 г. (а), летом – осенью 2022 г. (б), N – число наблюдений (А). Использованное геодезическое оборудование (Б: а – «дрон» DJI Mavic 2 перед аэрофотосъемкой; б – съемка средней части берегового откоса; в – «база» – второй стационарный GNSS-приемник на секторе № 1)

Fig. 3. Correlation of geodetic survey data (volume of erosion V_r) and UAV survey data (volume of erosion V_a) performed in winter – spring 2022 (a), summer – autumn 2022 (б), N – number of observations (A). Used geodetic equipment (Б: а – ‘drone’ DJI Mavic 2 before aerial survey; б – survey of the middle part of the coastal slope; в – ‘base’ – second stationary GNSS receiver on sector No. 1)

съемка была проведена в ноябре 2021 г., две последующие — в начале июня и в конце октября 2022 г. Основная часть работ на наших учетных площадках приходилась на период май — октябрь.

Воздушная фотограмметрия, ввиду оперативности полевых работ и высокой пространственной полноты моделей, широко применяется для отслеживания сезонных деформаций берегов рек во многих странах мира (Hamshaw, Bryce, Rizzo et al.,

2017; Лучников, Ляхин, Лепихин, 2018; Masoodi, Noorzad, Majdzadeh et al., 2018). Геоэкологическая напряженность (Рысин, Осипов, 2021), эрозия аллювиальных почв (Couper, Maddock, 2001), роль различных эрозионных агентов (Егоров, 2017, Jugie, Goba, Virmoux et al., 2018) и пространственное распределение скорости эрозии (Кораблева, Чернов, 2008; Завадский, Лобанов, Петухова и др., 2010; Эрозионно-русловые..., 2017; Van Dijk,

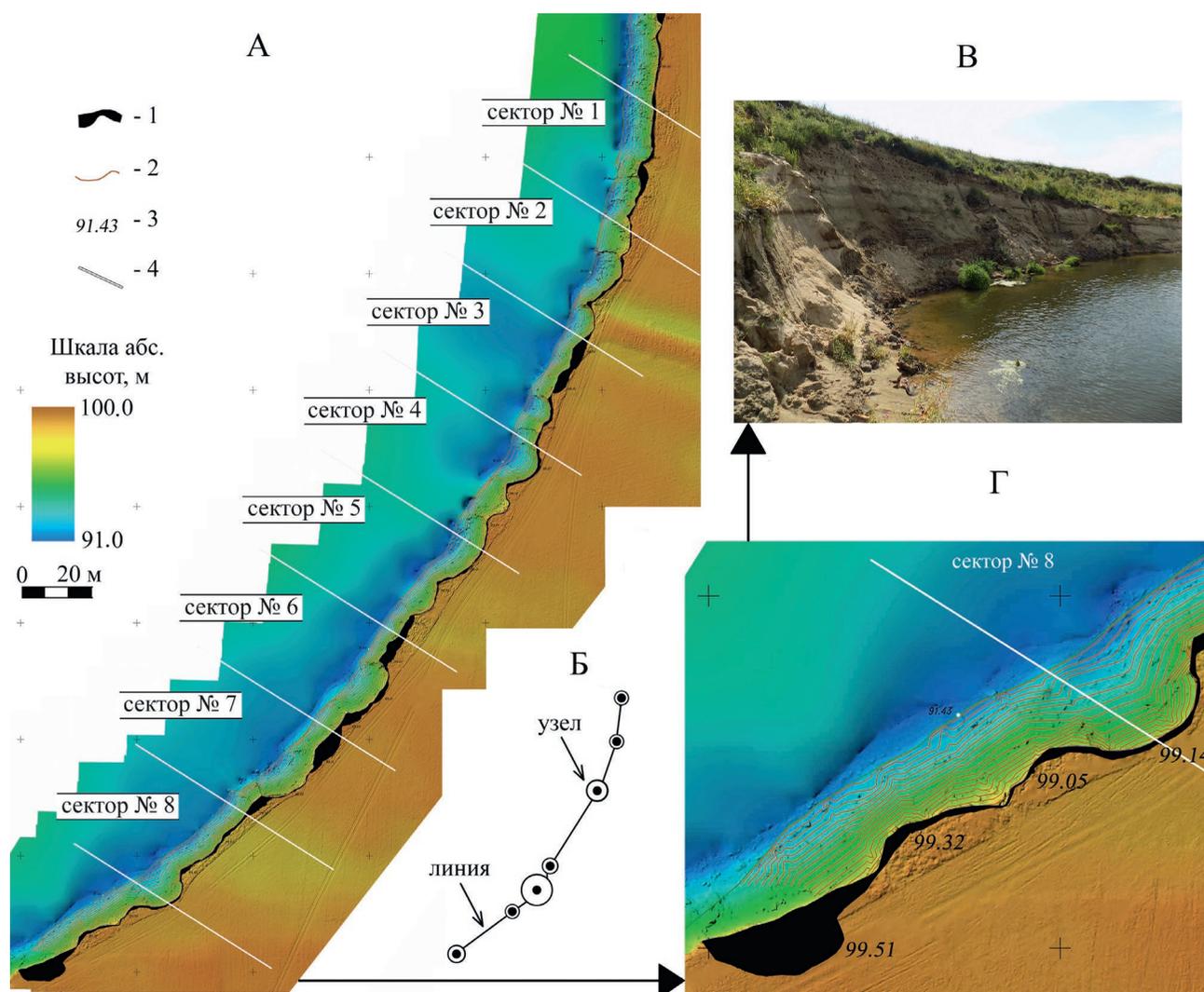


Рис. 4. Линейно-узловые плановые очертания боковой эрозии берега р. Оки после половодья 2023 г. А — цифровая модель рельефа, смещение пойменной бровки с осени 2022 г. до весны 2023 г.: 1 — размыв во время половодья 2023 г.; 2 — изогипсы; 3 — отметки высот; 4 — границы секторов стационара. Б — линейно-узловая модель эрозии. В — крупный фестон в песчаном уступе после половодья 2023 г. Г — распределение боковой эрозии в окрестности границы стационара

Fig. 4. Linear-nodal plan outlines of lateral erosion of the Oka River bank after the flood of 2023. A — digital elevation model of relief, displacement of floodplain edge from autumn 2022 to spring 2023: 1 — scour during the 2023 flood; 2 — isohypses; 3 — elevation marks; 4 — stationary sector boundaries. Б — linear-nodal model of erosion. В — large festoon in the sandy concave bank after the 2023 flood. Г — distribution of lateral erosion in the vicinity of the stationary sector boundary

Mastbergen, Van den Ham et al., 2018) считаются референтными качественно-количественными показателями в стационарных исследованиях по отмеченной тематике. Главным результатом БПЛА-съемки, тем не менее, является сам растр ЦММ (цифровой модели местности) – современный цифровой продукт, пригодный для визуализации и классификации форм рельефа (рис. 4). Нами использовался БПЛА DJI Mavic Pro, а также DJI Mavic 2, оснащенный собственным GNSS-приемником. Во втором случае «дрон» является ровером и автоматически записывает координаты, считывая фотособытие. Камера со CMOS-матрицей 4/3 и разрешением 4000 × 2500 пикселей фиксирует положение опорных знаков на пойме, в качестве которых использовались картонные метки.

В программе Agisoft Metashape были сформированы ортофотопланы и привязаны к карте высот. Пространственное разрешение их растров составило 1.3 см, что позволило проследить разрушение пойменного яра в теплое время года, осуществляемое склоновыми, биогенными и антропогенными процессами, ливневым размывом и паводковыми подмывами откоса. Переход от ЦММ к ЦМР происходил в автоматическом режиме, хотя и требовал контроля оператора. В первую очередь отбраковываются некорректно позиционированные точки. Построение точной ЦМР основывается на определении соотношения площадей участков без растительности и ареалов разнотравно-злаковых и древесно-кустарниковых биоценозов. Отметим, что стационар «Костино» лишен деревьев-крупномеров, встречаются отдельные экземпляры *Salix alba*, *Acer negundo* и *Alnus incana* высотой до 3–5 м. Верификация моделей на участках, покрытых травянистой растительностью, сопровождалась наземной съемкой на свежих укусах в летнее время.

Наземная съемка (см. рис. 3) сыграла решающую роль в поддержании работы стационара в 2023 г., весенняя и зимняя модели рельефа в данный период были сформированы без участия «дронов». Вступление в силу Постановления Губернатора Рязанской области № 134-пг от 7 ноября 2022 г. «О реализации Указа Президента Российской Федерации от 19 октября 2022 года № 757» (Официальное опубликование..., 2023) привело к прекращению БПЛА-контроля литодинамики учетных площадок. Осенняя ЦМР 2022 г., последняя по времени создания, стала основой для размещения контуров изолиний, актуальных на начало июня и ноября 2023 г. Во всех случаях совмещение поверхностей, созданных точечной геодезической съемкой и аэрофотосканированием, и расчет объемов эрозии (параметр V) осуществлялись в модуле Civil

3D. Весь 400-метровый стационар для удобства количественного описания был фрагментирован на восемь 50-метровых отрезков (сектора № 1–8) (рис. 4). Установлена хорошая сходимости данных V_r (расчетов по наземным моделям) и V_a (расчетов по БПЛА-съемке) для зимне-весенней эрозии 2021–2022 гг. и для летне-осенней литодинамики 2022 г. Определение коэффициента корреляции Спирмена (r) в условиях данной задачи и прочие статистические операции выполнены в программе Statistica 10.0 по известному (Вуколов, 2008) алгоритму (см. рис. 3).

Нами обособлены летне-осенний и зимне-весенний сезоны функционирования стационара (рис. 5). Первый из них соответствует фазе летне-осенней межени гидрологического года, а второй – фазам зимней межени и весеннего половодья. Водность первого сезона (ноябрь – май) в последние годы несколько перераспределена (Горбаренко, Варенцова, Киреева, 2021) за счет усиления зимних паводков, но максимум все равно приходится на весенние месяцы. Для периода мониторинга известны не только расходы воды в границах стационара, но и их значения на г.п. Половское в 2022–2023 гг. На данном створе осуществляется круглогодичный контроль уровней р. Оки и расходов воды, на створе г.п. Рязань, всего в 34 км ниже по руслу от стационара, – только уровней. Кривая, составленная по данным АИС ГМВО для г.п. Половское (за 2008–2021 гг.), связывает характерные уровни и расходы в пойменно-руслевом сечении (рис. 5). В соответствии с графиком приводятся интервальные оценки максимальной водности р. Оки на пике половодья (Q_{\max}) и ее стока за 14 лет (календарные годы). Гидрологическая информация заимствована из открытых массивов данных (АИС ГМВО, 2023).

Морфология рельефа может являться самостоятельным предметом исследования (Тикунов, 1997; Симонов, 2005; Завадский, Лобанов, Петухова и др., 2010; Hamshaw, Bryce, Rizzo et al., 2018), однако оценки устойчивости речных берегов обычно неполны без представлений об их механическом составе. Многие склоновые рельефообразующие процессы (осыпание, земляные обвалы, оползни) также в явном виде зависят от преобладающей литологии отложений, слагающих откосы (Yu, Wei, Wu, 2015; Zong, Xia, Zhou et al., 2017; Van Dijk, Mastbergen, Van den Ham et al., 2018). Теоретически нефлювиальная литодинамика может вносить заметный вклад в эрозию берегов на протяжении теплого сезона года (июнь – октябрь) (Lawler, 1993; Couper, Maddock, 2001; Беркович, 2020). Состав аллювиальных отложений, дневной и погребенной почвы рассмотрен нами на опорных

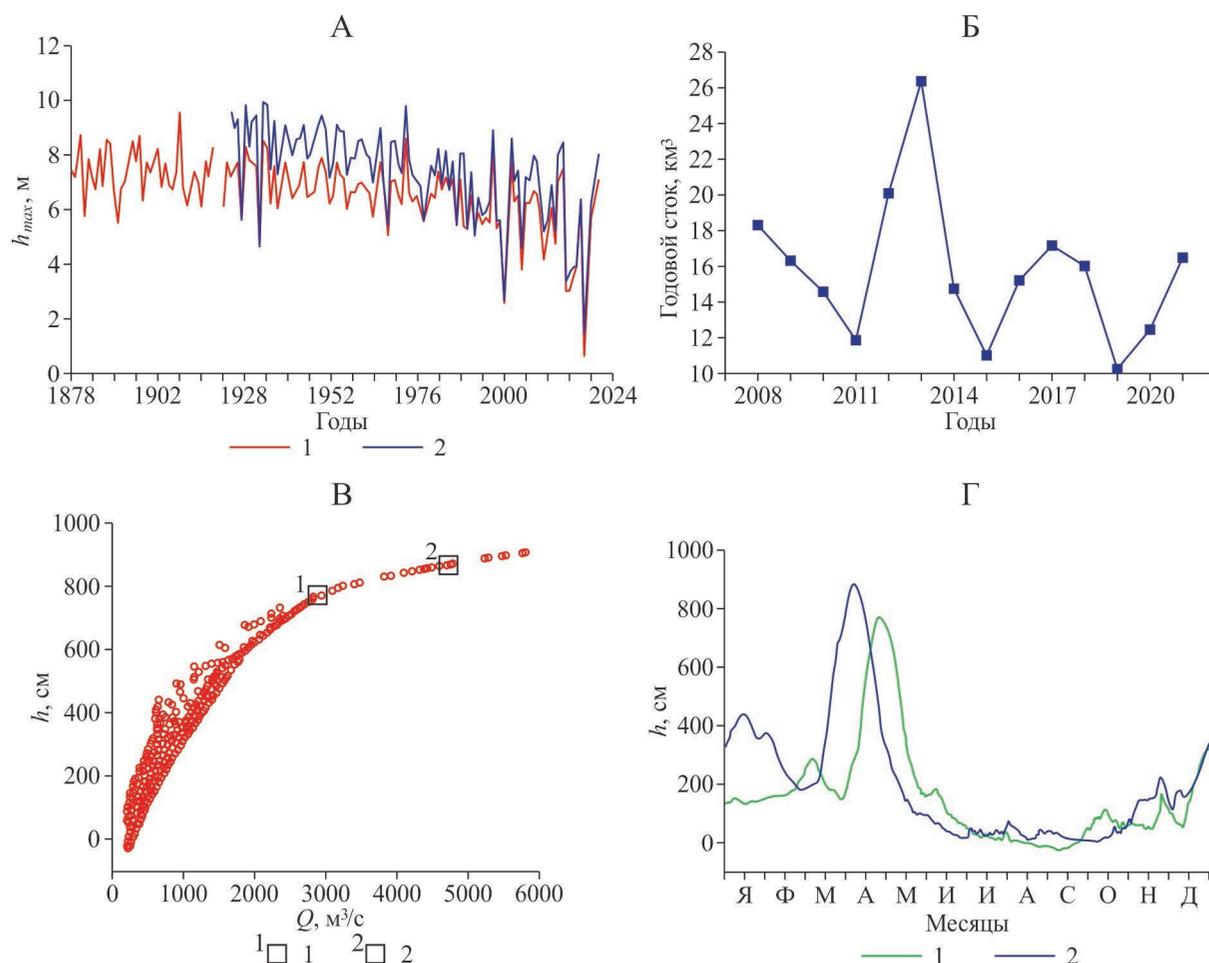


Рис. 5. Динамика водного режима р. Оки в районе исследования. А – максимальные уровни 1878–2023 гг.: 1 – г.п. Рязань; 2 – г.п. Половское. Б – годовой сток по г.п. Половское. В – кривые $Q = f(H)$ по г.п. Половское: 1 – $\sim Q_{\max}$ в 2022 г.; 2 – $\sim Q_{\max}$ в 2023 г. Г – ход уровней по г.п. Половское: 1 – в 2022 г.; 2 – в 2023 г.

Fig. 5. Dynamics of the Oka River water regime in the study area. А – maximum levels 1878–2023: 1 – Ryazan gauging station; 2 – Polovskoye gauging station. Б – Annual runoff for the gauging station of Polovskoye. В – curves $Q = f(H)$ for Polovskoye settlement: 1 – $\sim Q_{\max}$ in 2022; 2 – $\sim Q_{\max}$ in 2023. Г – data about of the water level of Polovskoye gauging station: 1 – in 2022; 2 – in 2023

шурфах и зачистках (рис. 6). С шагом 0.5 м по вертикали были отобраны пробы почвогрунтов, гранулометрический анализ которых в дальнейшем позволил определить границы русловой, пойменной и старичной фаций. Ранее, несмотря на наличие специальных исследований по литологии осадков поймы р. Оки в ее среднем течении (Лазаренко, 1964), механический состав берегов на Марковской излучине не становился предметом рассмотрения. Координация сезонной динамики и стратиграфии рельефа на фронте размыва осуществлена нами с учетом распределения U в ареалах экспонирования осадочных фаций на русловом склоне.

Непараметрические тесты (рис. 7) Фишера и Краскелла – Уоллиса (Вуколов, 2008) и графическая визуализация (двухосевые графики, графики

«ящички с усами») использовались для подтверждения либо опровержения гипотез об однородности мощности рельефообразования в зависимости от тех или иных параметров. К числу последних, помимо фациального состава, относилась высота позиции над урезом р. Оки (параметр h) и расположение на том или ином секторе стационара. Средний диаметр частиц грунта (d_{50}), используемый в прогнозах горизонтальных русловых деформаций речных русел (Беркович, 2012; Karmaker, Dutta, 2013; Yu, Wei, Wu, 2015; Deng, Xia, Zhou et al., 2018), позволил оценить гранулометрический состав надводной части берега (рис. 8). Крупномасштабное моделирование рельефа стало основой для оценок экспорта отложений из модельного участка фронта размыва по интервалам высот (через каждые

0.5 м высоты). Предпринята также координация фактических результатов мониторинга с формулой К.М. Берковича и Б.Н. Власова (Беркович, 2020) по расчету плановых деформаций русла и с коэффициентом устойчивости русла Н.И. Маккавеева (Кондратьев, Попов, Снисченко, 1982; Эрозионно-русловые..., 2017), рекомендованными (Савичев, 2013) для прогнозов скорости смещения свободных излучин.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Фациальная архитектура дна окской долины в районе исследования рутинна для молодых генераций окской поймы, но подвержена латеральной изменчивости, в частности, амплитуда мощности осадков $aIVp$ составляет 1.4–3.3 м. Ложе водотока врезано в древние песчаные отложения, однако и субаэральный рельеф в значительной мере сложен частицами псаммитовой размерности. Средний d_{50} надводной части берега составляет 0.2 мм, причем литологические различия между фациями хорошо заметны — $d_{50} = 0.08$ мм для $aIVp$ и $d_{50} = 0.28$ мм для $aIVrg$ (рис. 6). Обнаружены лишь три крупные старичные линзы, вертикальная мощность которых может достигать 1.6 м в реликтовых понижениях палеорельефа. В среднем же она составляет всего 0.9 м на тех секторах учетной площадки, где значительная площадь занята межгрядными ложбинами, частично перекрытыми наложенными прирусловыми валами. Старичные суглинки существенно не отличаются от пойменных, их d_{50} равен 0.06 мм, есть значительная примесь песка. Различия между крупностью пойменных и донных осадков, напротив, велики и составляют, в первом приближении, 3–6 раз. На аккумулятивном берегу излучины ежегодно фиксируется накопление крупного (0.5–1.0 мм) и грубого (1.0–2.0 мм) песка (Воробьев, Кривцов, Кадыров, 2021), пристрежневая субфация, видимо, несколько обогащена гравием. Наши данные по литологии фронтальной части прирусловой отмели и подводного склона на фронте размыва свидетельствуют о преобладании песчаных частиц диаметром 0.35–1.2 мм. Общие же оценки d_{50} руслового ложа р. Оки на западе Рязанской области колеблются в широком диапазоне (0.4–1.0 мм) (Беляков, Беркович, 2005).

Для рек с песчаным дном характерно интенсивное перемещение гряд (Кондратьев, Попов, Снисченко, 1982; Савичев, 2013; Zong, Xia, Zhou et al., 2017). На поперечных сечениях окского русла около стационара четкие контуры даже крупнейших из них установить не удалось. Тем не менее выделяются поднятия дна реки относительной высотой до

1.5 м и шириной до 20–25 м. Для фиксации более достоверной морфологии ложа необходима более высокая пространственная полнота позиционной информации. Теоретически распознанные неровности дна могут относиться к грядам групп Б и В (по Н.И. Алексеевскому (Эрозионно-русловые..., 2017)) или мезоформам (по Р.С. Чалову (Эрозионно-русловые..., 2017)). Они тяготеют к подводной части прирусловой отмели, однако частично выполняют и эрозионный склон русла ниже уровня воды. Высота этой части откоса составляет порядка 8 м на всех трех сечениях, перепад высот между плёсом и пойменной бровкой достигает 15–18 м. Подтверждены приводящиеся в литературе повышенные местные значения максимальной глубины русла — до 11.6 м. Такие глубины в верхнем течении р. Оки маркируют русловые карьеры (Беркович, 2020). Донный рельеф на стационаре «Костино» имеет, главным образом, естественное происхождение. Так, плёс глубиной до 11–12 м (перевал «Волынский») на нижнем крыле меандра существовал еще в 1956 г. (Лощманская карта..., 1956). Отмеляя часть потока плавно переходит в выпуклый берег излучины. Однако в окрестностях створа III прирусловая отмель узкая и непосредственно сообщается с прирусловым валом высотой до 3.5 м. Наличие относительно высокого противоположного берега на выходе реки из стационара создает предпосылки для повышения скорости потока в половодье до начала перелива воды на высокую пойму (Эрозионно-русловые..., 2017). Это способно вызвать ускоренную эрозию на фронте размыва при водности, соответствующей нижнему интервалу руслоформирующих расходов, поскольку поток оказывается стесненным в русловом ложе.

Сохранность рельефа секторов № 6–8 и фрагментов берега еще ниже по течению оказывается «под угрозой» из-за увеличения здесь пропускной способности русла. Судя по батиметрическим данным, поток имеет две динамические оси, промежуток между которыми четко выделяется на створе III. Площадь поперечного сечения на этом створе достигает 1060 м², гидравлический радиус — 6.58 м; на поперечнике I у секторов № 1 и № 2 данные параметры равны 710 м² и 4.52 м соответственно. При неустановившемся движении потока во время половодья пиковые расходы могут резко возрастать (Барышников, 2012; Karmaker, Dutta, 2013). Н.Е. Кондратьев с соавторами (Кондратьев, Попов, Снисченко, 1982) убедительно показали возрастание скорости деформаций берегов реки с увеличением ее глубины на примере р. Дон. Предпринимаются попытки нивелировать высокий эрозионный риск на секторах № 4–8 путем проведения дноуглу-

бительных работ. Регулирование глубины русла приурочено к выпуклому берегу Марковской излучины и имеет целью перераспределение расходов и образование обратной асимметрии поперечного сечения. Наши повторные гидрометрические измерения 2023 г., осуществленные сразу после работы землесоса, зафиксировали прорезь шириной до 25–30 м и глубиной 4.5–6.0 м на створах II и III. Абсолютные отметки тальвега прорези соответствуют 80.3–80.8 м. Подобные работы проводятся на исследованном участке русла регулярно, о чем может свидетельствовать расположение линии максимальных глубин в виде широкой ложбины на створе III в пределах фронтальной зоны прирусловой отмели.

Модификация водного пути в целом, оправданная на ключевом участке исследования, осуществляется без учета пространственного распределения ежегодных размывов на подводном склоне пойменного массива. На секторах № 1–5 половодье 2023 г. привело к его отступанию на 2–7 м, наиболее существенные преобразования затронули участок в окрестностях створа I. Линия максимальных глубин в данном случае приблизилась к берегу на 10 м. Заложение подводного склона практически не изменилось (около 1:5), но сформировался единый уклон, объединяющий надводную и подводную части берега. При этом почти не зафиксировано размыва откоса на створе III, хотя его подводный участок круче, с

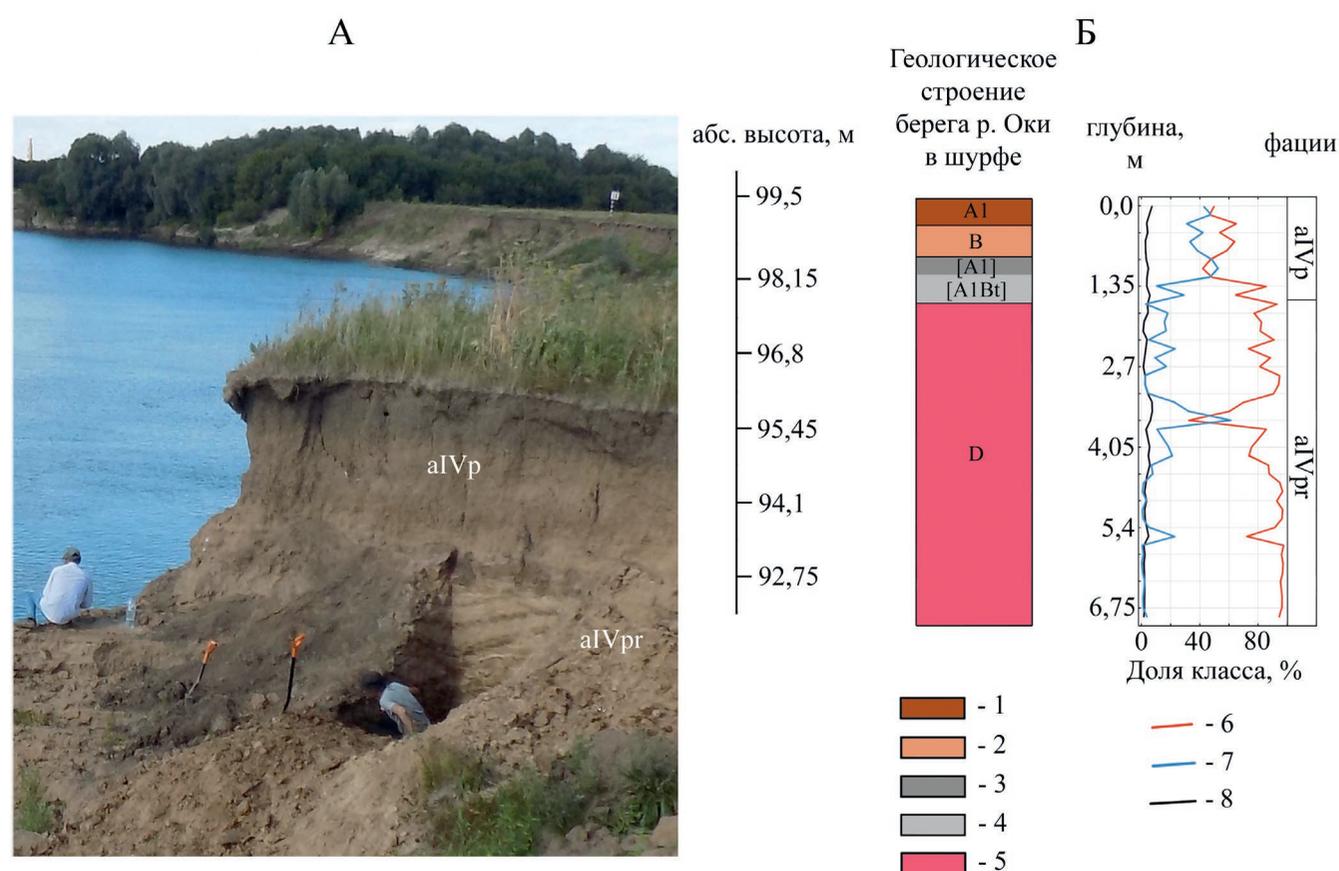


Рис. 6. Стратиграфия и гранулометрический состав почвогрунтов в одном из опорных шурфов на стационаре. А – опорный разрез пойменной гривы; Б – геологическое строение разреза. Генетические горизонты почвенного профиля: 1 – гумусово-аккумулятивный A1; 2 – переходный B; 3 – гумусово-аккумулятивный серый лесной палеопочвы A1; 4 – иллювиально-гумусовый серый лесной палеопочвы A1Bt; 5 – подстилающие грунты D. Доля размерных классов частиц грунта: 6 – песок; 7 – алеврит; 8 – ил. Фации аллювия: aIVp – пойменная; aIVr – пойменно-русловая

Fig. 6. Stratigraphy and granulometric composition of soil in one of the reference outcrops at the stationary. А – reference outcrop of the floodplain ridge; Б – geological structure. Genetic horizons of the soil profile: 1 – humic A1; 2 – transitional B; 3 – humic of the palaeosol A1; 4 – illuvial of the palaeosol A1Bt; 5 – underlying soils D. Proportion of size classes of soil particles: 6 – sand; 7 – aleurite; 8 – silt. Alluvium facies: aIVp – overbank fines; aIVr – laminated sands

заложением 1:3.8. Поток лишь углубил на 0.8–1.3 м основание склона, создав (или возобновив?) вторую линию максимальных глубин. Вся подводная часть 400-метрового фрагмента русла высотой 8 м за половеде теряет, по грубым подсчетам, около 11 700 м³ грунта, который превратился во влекомые наносы. Максимальные потери русловой фации аллювия и более древних отложений на один погонный метр достигают около 50 м³.

Пойменная фация аллювия занимает 35% надводной части откоса учетной площадки, ее наибольшая мощность приурочена к секторам № 3 и 4. На секторах № 1, 6 и 7 в отдельных местах слой скрытослоистых суглинков вместе с почвенно-растительным слоем редуцирован до 1.1–1.3 м. Совокупная площадь старичных почвогрунтов, экспонированных в границах пойменного яра, достигает всего 6.7% от общей склоновой поверхности учетной площадки. Остальная часть берега представлена песками и супесями осадков aIVrg с пологонаклонной и косоволнистой слоистостью, иногда в них встречаются и алевритовые прослои. Вклад фаций в геологическое строение стационара соразмерен их роли в боковой эрозии (рис. 8). Отложения aIVrg, занимающие нижнюю часть толщи грунтов, разрушаются на 4% быстрее, чем можно было бы предположить, исходя только лишь из стратиграфического строения пойменного массива. Отметим, что в границах стационара почти повсеместно нижняя часть пойменной фации аллювия выполнена горизонтами погребенной дерновой почвы (рис. 6). По гранулометрическому составу фракций она, в целом, конформна пакету aIVr и не оказывает положительного либо отрицательного влияния на устойчивость откоса в интервале высот 4.5–5.5 м над урезом реки.

Статистически достоверные отличия в скорости экспорта грунтов из трех основных фаций отсутствуют: уровень значимости тестов Фишера и Краскелла – Уоллиса равен 0.48 и 0.12 соответственно (рис. 7). Индифферентность общего размыва к фациальной принадлежности грунтов во многом обусловлена преобладающей ролью половедного потока и затушеванием вклада остальных геоморфологических агентов. В теплое время года рельефообразующие процессы, согласно своей сущности, способны избирательно подвергать те или иные отложения разрушению. Так, биогенная эрозия приурочена, главным образом, к кровле aIVrg, поскольку ласточки-береговушки (*Riparia riparia*) предпочитают осадки легкого гранулометрического состава для заложения нор. Волнобой от проплывающих судов действует на основание пойменного яра (Егоров, 2017), а ливневые осад-

ки способны эродировать любые почвогрунты. В отличие от субаэральных агентов, размыв берега в половеде 2022–2023 гг. заведомо осуществлялся по всей высоте откоса. По данным г.п. Рязань (АИС ГМВО, 2023), превышение уровня воды при пиковых расходах над пойменной бровкой в 2022 г. составляло 0.3 м, в 2023 г. – 1.1 м. На двухосевом графике параметр U имеет равномерное распределение по d_{50} , что является свидетельством одинаковой интенсивности боковой эрозии на всех осадочных породах, препарированных ею.

Наклон линейного тренда зависимости U и высоты берега H_0 для 2022 г. свидетельствует о слабой отрицательной связи между ними, не зафиксированной и на аналогичной диаграмме для 2023 г. Максимальные усредненные на 50 м длины и 1 м высоты откоса значения U между двумя фазами повышенной водности различаются почти вдвое (1.8 м/сезон и 3.0 м/сезон). Наряду с двукратным превышением средних скоростей размыва в зимне-весенний сезон во втором году исследований относительно первого (2.0 м/сезон против 1.0 м/сезон) на итоговой ЦМР можно видеть 6 крупных обрушений берега (см. рис. 4). В то же время по длине стационара «Костино» берег размывается относительно равномерно – не выявлены статистически достоверные отличия между усредненными значениями U по восьми секторам (рис. 7). Медианные значения U центрируют выборки в интервале 0.6–0.9 м/сезон (фактически, это отступление берега за полугодие). Выбросы на диаграмме «ящики и усы», расположенные в интервале 2.5–3.0 м/сезон, также встречаются на большинстве 50-метровых участков берега.

Определяющим фактором колебаний мощности эрозионного процесса является ежегодная изменчивость стока воды (Баровский, 2005; Замышляев, 2010; Kimiaghalam, Goharrokhi, Clark et al., 2015; Эрозионно-русловые..., 2017; Jugie, Goba, Virmoux et al., 2018). Региональный мониторинг деформаций русла в 2014–2017 гг., когда половеде по водности соответствовали крупным осенним паводкам, неоднократно регистрировал практически стабильные участки окского русла. Смещение пойменной бровки на них было в пределах погрешности измерений (до 0.1 м/год). Среднемаксимальный Q_{\max} р. Оки возрастает на участке русла от г. Калуги до г. Муром с 4800 м³/с до 9050 м³/с (Беляков, Беркович, 2005). Пиковая водность потока по кривой связи уровни-расходы в 2023 г. достигала примерно 4700 м³/с, в то время как в 2022 г. – всего 2900 м³/с (рис. 5). Несмотря на то, что за два года мониторинга весенние половеде не вышли на среднемаксимальный уровень

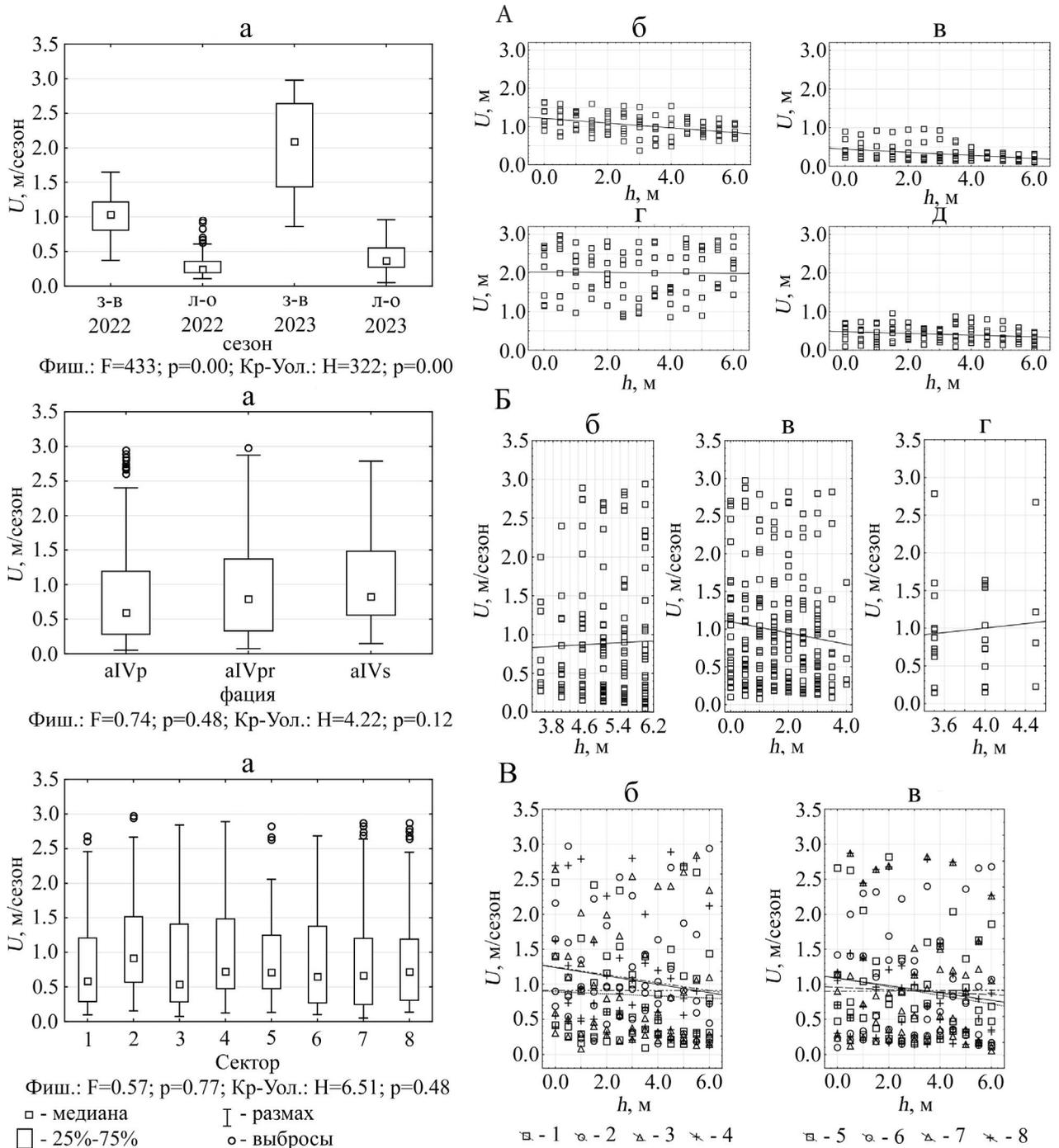


Рис. 7. Распределение скорости боковой эрозии (U) по сезонам гидрологического года (А), межгрупповые различия этого параметра по сезонам (а), распределение значений U по высоте берегов зимой – весной 2022 г. (б), летом – осенью 2022 г. (в), зимой – весной 2023 г. (г), летом – осенью 2023 г. (д). Распределение эрозии по фациям осадочных отложений (Б), межгрупповые различия между фациями (а), связь сезонных значений U с высотой берега для грунтов aIVp (б), то же для грунтов aIVpr (в), то же для грунтов aIVs (г). Эрозия на секторах стационара (B), межгрупповые различия по секторам (а), на секторах № 1–4 (б), на секторах № 5–8 (в); цифрами обозначены порядковые номера секторов

Fig. 7. Distribution of lateral erosion rate (U) by season of the hydrological year (A), inter-group differences of this parameter by season (а), distribution of U values by bank height in winter- to spring 2022 (б), summer- to autumn 2022 (в), winter- to spring 2023 (г), summer- to autumn 2023 (д). Distribution of erosion by sediment facies (Б), inter-group differences between facies (а), relationship of seasonal U values to bank height for aIVp soils (б), same for aIVpr soils (в), same for aIVs soils (г). Erosion on stationary sectors (B), intergroup differences by sectors (а), on sectors No. 1–4 (б), on sectors No. 5–8 (в); numbers denote serial numbers of sectors

по водности, приближение к данному пороговому значению привело к учащению резких проявлений рельефообразования. Поток, Q_{\max} которого в 2023 г. увеличился на 61%, сформировал новые фестоны и нивелировал мысы на секторах № 1, 3, 5–7. Четыре из шести обрушений произошли на пойменных гривах, и лишь два — на межгривных понижениях, частично выполненных осадками aIVs. Латеральная селективность боковой эрозии на сегментно-гривистых поймах и геодинамическая «уязвимость» отложений грив по сравнению с тонкодисперсными осадками в разделяющих их ложбинах хорошо известны (Cooper, Maddock,

2001; Кораблева, Чернов, 2008; Рысин, Осипов, 2021). Крупнейший фестон на стационаре «Костино» образовался за пределами учетной площадки в песках и ожелезненных песчаниках aIVrg, отчасти aIVr (см. рис. 4).

Ключевой причиной появления фестонов и выемок, наряду с равномерным радиальным распределением U , в 2023 г. стало формирование полноценного пойменно-руслового потока, пересекающего пойменную бровку. В первом году мониторинга было всего 6 дней с ее затоплением, а в следующем — уже 18 дней. Взаимодействие водных масс русла и поймы в форме, по-видимо-

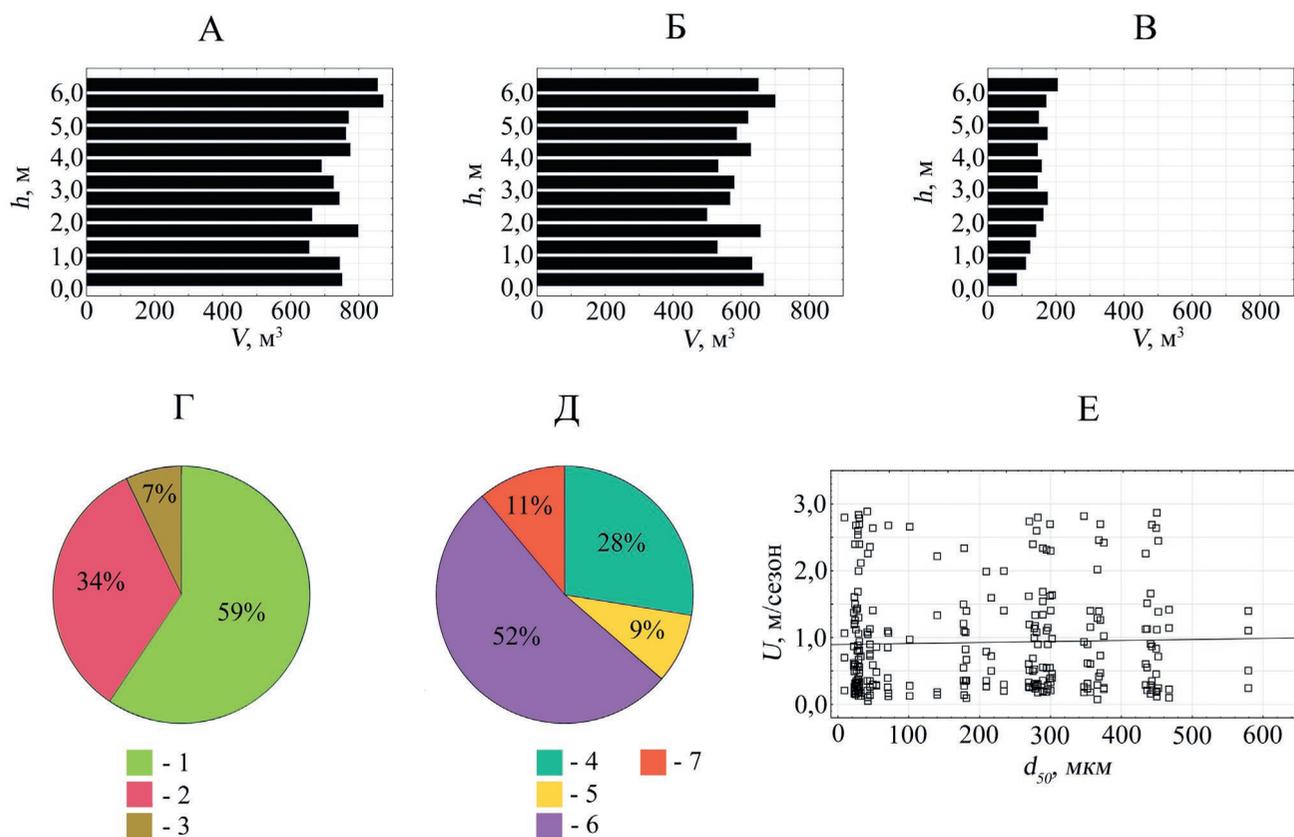


Рис. 8. Результаты расчетов объемов эрозии берега (А–Д) и зависимость скорости его отступления от среднего диаметра частиц грунта d_{50} (Е). А – объем эрозии (V) за 2022–2023 гг., распределенный по высоте берегов (h); Б – то же за зимне-весенние сезоны; В – то же за летне-осенние сезоны; Г – распределение объема эрозии (V) по осадочным фациям; Д – то же по сезонам 2022–2023 гг. Объем эрозии по типам отложений: 1 – aIVrg; 2 – aIVp; 3 – aIVs. Объем эрозии по сезонам года: 4 – половодье 2022 г.; 5 – лето – осень 2022 г.; 6 – половодье 2023 г.; 7 – лето – осень 2023 г.

Fig. 8. Results of calculations of bank erosion volumes (A–Д) and dependence of its retreat rate on the average diameter of soil particles d_{50} (E). A – erosion volume (V) for 2022–2023, distributed by bank height (h); Б – the same for winter-spring seasons; В – the same for summer-autumn seasons; Г – distribution of erosion volume (V) by sediment facies; Д – the same for 2022–2023 seasons. Erosion volume by sediment types: 1 – aIVrg; 2 – aIVp; 3 – aIVs. Volume of erosion by season of the year: 4 – flood 2022; 5 – summer- to autumn 2022; 6 – flood 2023; 7 – summer- to autumn 2023

му, расходящегося течения (Барышников, 2012) вызвало увеличение скоростей и расходов в основном русле и, как следствие, усиление боковой эрозии. Особенно пострадали участки береговой линии с положительной продольной кривизной по отношению к окскому руслу (выступы). Во время трехнедельного руслонаполнения в 2023 г. их взаимодействие с водными массами не ограничивалось фронтальной зоной, но распространялось и на боковые поверхности. При низком сцеплении песков и супесей $aIVr$, сопровождаемом интенсивной грунтовой фильтрацией, основания откосов быстро потеряли устойчивость. Суглинистые отложения пакетов $aIVr$ сохранились в виде отдельных блоков на склоне и бичевнике до летних паводков или даже до следующего половодья.

Эрозия речных берегов является во многом интегральным процессом и в действительности складывается несколькими компонентами. Например, земляные обвалы могут происходить как вследствие сдвиговых напряжений, создаваемых водными массами по отношению к берегу, так и на спаде половодья из-за увеличения удельного веса грунтового массива при разгрузке верховодки (Yu, Wei, Wu, 2015; Егоров, 2017; Deng, Xia, Zhou et al., 2018). Для разделения весеннего сезона рельефообразования на подобные краткие этапы геодезическая съемка должна быть ежедневной, но опасная гидрологическая обстановка делает ее сопряженной с угрозами эксплуатации оборудования. Сосредоточив внимание на распределении эрозионного риска по более продолжительным метеорологическим сезонам, мы выявили достоверные отличия между ними по скорости боковой эрозии берега. Медианы выборок U , соответствующих летне-осенним месяцам 2022–2023 гг., в 2–4 раза меньше, чем для зимне-весеннего периода. Оба непараметрических критерия показали уровень значимости между выборками $p < 0.01$. Определяющая роль половодий в моделировке рельефа русловых откосов проявляется в увеличении экспорта наносов из них. Если по итогам половодий надводная часть стационара «Костино» теряет 2780–5430 м³ почвогрунтов, то за июнь – октябрь – всего 890–1130 м³. Расхождения между V_r и V_a в 2022 г. незначительны, коэффициент корреляции Спирмена составил 0.95–0.98; корреляция значима при $p < 0.01$. Систематические ошибки больше для зимне-весенней эрозии из-за сложности учета микрорельефа откоса в ходе проведения наземной съемки (рис. 8). Ежегодный объем переработки рельефа учетной площадки на 1 пог. м длины откоса оценен в 12.8 м³. За гидрологический 2023 г. соотношение эрозии подводного

и надводного фрагментов склона р. Оки составило примерно 1.0/0.5.

Высокоточный мониторинг горизонтальных русловых деформаций выводит на первый план проблему информативности локальных наблюдений для прогнозов динамики пойменного рельефа. Главным недостатком стационарного мониторинга физико-географических процессов являются затруднения при экстраполяции полевых данных на участки за границами учетной площадки (Lawler, 1993; Couper, Maddock, 2001; Симонов, 2005; Лучников, Ляхин, Лепихин, 2018). В настоящее время нам неизвестны иные крупномасштабные оценки параметров U и V , произведенные в среднем течении р. Оки для рельефа ее размываемых берегов. Оценка репрезентативности данных за отдельные годы может основываться и на соответствии прогнозных и фактических значений скорости эрозии. Большинство формул для количественных расчетов параметра U определяют его для одиночных створов. При этом меандрирование русла обычно происходит по двум видам плановых деформаций излучин – продольным и поперечным (Кондратьев, Попов, Снисченко, 1982; Lagasse, Zewenbergen, Spitz et al., 2004; Эрозионно-русловые..., 2017). Стационарные наблюдения продолжительностью в несколько лет не предполагают их специальной дифференциации, поскольку доминирование того или иного вида во многом зависит от морфодинамической позиции стационара. Геодинамические (Коробкин, Передельский, 2013; Kimiaghali, Goharrokhi, Clark et al., 2015) и геоэкологические изыскания (Lagasse, Zewenbergen, Spitz et al., 2004; Рысин, Осипов, 2021) также выделяют плановые деформации русла как единый опасный рельефообразующий процесс.

За два года стационарного контроля эрозии было зафиксировано уничтожение 1388 м² поймы, более половины (64.9%) вклада осуществлено половодьем 2023 г. Для сравнения, в 2022 г. поток размыл 314 м² территории, или 22.6% от итоговой суммы. В июне – октябре на стационаре, в среднем, утрачивается 86.3 м² территории, причем за теплый сезон, начавшийся после более мощного половодья, было уничтожено на 12 м² поймы меньше, чем за лето – осень 2022 г. Ежегодные потери площади поймы на стационаре наиболее велики в границах секторов № 1, 3, 6–7, максимумы приурочены к «залповой» эрозии при появлении фестонов и выемок. Потери территорий, как и экспорт грунтов, распределены неравномерно, усредненные линейные оценки по U и V предоставляют только общую информацию. Так осуществляется дискретная

природа русловых процессов (Кораблева, Чернов, 2008; Егоров, 2017), ярко выраженная в позициях—средоточиях реализованной геоморфологической опасности. Отмеченные позиции пространственно обособляются как «узлы» в границах новообразованных отрицательных форм флювиального рельефа, разделенные «линиями» с более медленным отступанием берега (см. рис. 4). Протяженность последних колеблется в интервале 15–100 м и, очевидно, коррелирует с литологией грунтов и исходной продольной кривизной пойменной бровки, но количественные оценки этих соотношений пока отсутствуют.

Такую пространственную модель боковой эрозии речного берега можно обозначить как линейно-узловую, задачи картографирования объектов и процессов с подобной топологией успешно решаются (Тикунов, 1997; Перькова, 2017) в общественной географии, экономике, геоматике и технических науках. Между тем неясно, насколько типичным является линейно-узловой рисунок эрозии. Наиболее вероятно, что он становится морфологически четко выраженным только при приближении Q_{\max} к средним многолетним значениям (или при превышении их), когда поток приобретает достаточную мощность для дестабилизации геологических тел или их значительных фрагментов. Еще одним условием линейно-узловой топологии эрозии можно считать ее приуроченность к сегментно-гивистым поймам с чередованием характерных литологических разностей по длине фронта размыва. Максимальное расстояние смещения пойменной бровки в пределах крупнейшего фестона в 2023 г. составило 10.8 м, в границах прочих «узлов» — 7.9 м. Отступление берега в границах «линий» не превышает 1.8 м, что свидетельствует о наличии двух количественных компонентов эрозии — ожидаемого и стохастического. Ожидаемые значения близки к данным, полученным путем геоинформационного реанализа по Атласу Менде

(Воробьев, Пузаков, 2017), и к результатам регионального гидролого-морфодинамического анализа (Баровский, 2005). Тем не менее открытым вопросом остается потенциал их прогнозирования, исходящий из гидравлических параметров русла и изменчивости стока.

Для прогнозов скорости размывов пойменных берегов успешно используется формула К.М. Берковича (Баровский, 2005; Эрозионно-русловые..., 2017):

$$U = k \frac{Q^2 I}{d H_6}, \quad (1)$$

где Q — среднемаксимальный расход воды, I — уклон, d — средний диаметр наносов (d_{50}), H_6 — высота берега над меженью, k — безразмерный коэффициент, объединяет структурно-морфологические и гидравлические параметры системы «пойма—русло». Река Ока в контурах Марковской излучины фактически течет в сторону, обратную направлению днища долины, поэтому уклоны здесь минимальны (0.02 ‰). Коэффициент k при расчетах взят равным 0.00034, как и на других реках со среднегодовым расходом более 500 м³/с, но менее 5000 м³/с. Сценарии горизонтальных деформаций, разработанные нами (табл. 1) в отсутствие исчерпывающих данных о литологии дна, построены на интервальной оценке $d_{50} = 0.4–1.2$ мм. Используя имеющиеся данные о среднем диаметре донных отложений на участке русла с. Кузьминское — г. Рязань (Беляков, Беркович, 2005) — 0.75 мм и заменив среднемаксимальный Q на значения Q_{\max} 2022–2023 гг., мы рассчитали значения U , которые, очевидно, завышены.

Фактические значения скорости разрушения берега параметризуют k примерно на порядок меньшим, чем принято в рекомендациях (Савичев, 2013), даже если считать Q_{\max} 2023 г. завышенным. Подбор оптимального k стал возможен при использовании коэффициента стабильности русла Н.И. Маккавеева:

Таблица 1. Параметры формулы К.М. Берковича (1) и результаты расчета скорости боковой эрозии на стационаре «Костино»

Table 1. Parameters of K.M. Berkovich's formula (1) and results of calculation of lateral erosion rate at the stationary 'Kostino'

d_{50}	U_{2022} $k = 0.00034$	U_{2023} $k = 0.00034$	U_{2022} $k = 0.000034$	U_{2023} $k = 0.000034$
0.4	23.8	62.58	2.38	6.24
0.6	15.8	41.72	1.58	4.16
0.8	11.9	31.29	1.19	3.12
1.0	9.52	25.03	0.95	2.50
1.2	7.93	20.86	0.79	2.08

$$K_c = 100 d/b_p I, \quad (2)$$

учитывающего только структурно-морфологические критерии руслового ложа. Если принять $d_{50} = 1.0$ мм, то $K_c = 31$, что в 3 раза больше, чем усредненные значения для Кузьминско-Рязанского участка р. Оки (Беляков, Беркович, 2005). При относительно высокой стабильности русла, таким образом, все равно наблюдаются интенсивные размывы берега. Теоретическое моделирование, выполненное В.И. Замышляевым (Замышляев, 2010), позволяет объяснить отмеченное противоречие малым радиусом кривизны Марковской излучины. Благоприятный «угол атаки» потока на берег учетной площадки, согласно аргументации Н.Е. Кондратьева (Кондратьев, Попов, Снисченко, 1982), также способствует неустойчивости плановых очертаний меандра. Зависимость, предложенная в работе (Беркович, Злотина, 2003), позволяет связать U и коэффициент устойчивости русла:

$$U = 15,6 K_c^{-0,65} \quad (3)$$

В нашем случае $U = 1.67$, и обнаруживается хорошая сходимость прогноза с усредненными значениями за 160 лет и с масштабами реально наблюдаемой литодинамики берега. Опираясь прочими количественными связями, можно получить дополнительную информацию и о подводном рельефе. Так, по зависимости K_c от θ (критерий квазигомогенности потока И.Ф. Карасева (Беркович, 2012)), установленной, в том числе, для р. Оки, при $K_c > 10-20$, предполагается преобладание ленточных и перекошенных гряд в комплексе донных форм. Мезоформы, обнаруженные на русловых поперечниках I–III, вполне могут относиться к отмеченным разновидностям гряд.

Подобные расчеты, выполненные на локальном уровне, способствуют синхронизации разночастотных составляющих многолетней эрозии берегов в рамках регулярного геоморфологического мониторинга. Уточнение прогнозов скорости горизонтальных деформаций русла по различным формулам и проверка их на новом фактическом материале, по-видимому, станут одним из магистральных направлений работы стационара «Костино». Помимо этого, основной проблемой является прогноз стохастических (иногда катастрофических) проявлений эрозии, особенно опасных в окрестностях населенных пунктов. Новейшие исследования на реках Западной Европы (Jugie, Goba, Virmoux et al., 2018; Van Dijk, Mastbergen, Van den Ham et al., 2018) показали перспективность комплексной классификации берегового рельефа, одновременного учета его

морфологических, литологических и водно-физических свойств выполняющих грунтов для предсказания фрагментарных обрушений откосов в «узлах» береговой эрозии. Для поймы р. Оки в ее среднем течении реализация пространственно-временного моделирования рельефообразования на подобном уровне еще остается делом будущего.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Во время половодий 2022 и 2023 гг., хотя и имевших обеспеченность по $Q_{\max} > 50\%$, ни один фрагмент исследованного берега не остался незатронутым боковой эрозией. Ее скорость распределена относительно равномерно по восьми 50-метровым секторам стационара «Костино» и по высоте надводного откоса. Статистически значимые пространственные различия по U нами не были выявлены. Гидродинамическое воздействие волн половодий приводит к отступанию берега, в среднем, на 1.5 м. Тем не менее во время половодья 2023 г. была ярко выражена латеральная дискретность рельефообразования. Формировались новые фестоны и выемки, фиксировались случаи смещения пойменной бровки на 8–10 м. Даже на локальном масштабе мониторинга морфолитодинамика оказывается весьма чувствительной к литологии сегментно-гребистого рельефа. Амплитуда значений U , измеренных традиционными геоморфологическими методами, может достигать 800–1000%. Однако при статистическом сравнении локальные максимумы эрозии не дают значимых отличий между секторами, сглаживаясь, в том числе, отступанием берега в летне-осенние сезоны.

Прогноз горизонтальных русловых деформаций по формуле К.М. Берковича (1) откорректирован путем перерасчета ожидаемой скорости эрозии через коэффициент стабильности русла Н.И. Маккавеева (2). Результаты расчета находятся в рамках ежегодных интервальных значений U по многолетним данным, но сопоставимы только со средней скоростью смещения берега, установленной нами с помощью геодезического мониторинга. Максимумы эрозии на стационаре отождествляются с узлами топологической модели боковой эрозии, требующей дальнейшей разработки. Дестабилизация берега в «узлах» обычно ограничена площадью 80–100 м², а их заложение сопровождается выносом 300–500 м³ почвогрунтов из плоскости откоса. Появление фестонов и выемок на сформированной нами ЦМР обусловлено возросшими расходами и втрое большей длительностью затопления поймы во втором

году исследования по сравнению с первым. Предсказание подобных стохастических проявлений морфолитодинамики, тем более в региональном масштабе исследований русловых процессов, пока не представляется возможным. Трудности прогнозирования исходят из необходимости детализированных расчетов структурно-морфологических параметров откосов, при этом в границах всего стационара не подтверждается зависимость U от d_{50} , в отличие от связи U с метеорологическими сезонами. Субаэральная эрозия вогнутого берега в пределах стационара «Костино», наблюдавшаяся нами в течение теплых сезонов 2022–2023 гг., составляет 20% от общего объема перемещенных грунтов в ходе рельефообразования. Применение БПЛА впервые для Рязанской области позволило и осуществить точные ежегодные расчеты V для всего 400-метрового фрагмента вогнутого берега Марковской излучины (5112 м³/год), и определить степень переработки откоса на 1 м² территории (7.37 м³/год).

Подводная часть руслового склона на стационаре также была нестабильной — ее эрозия в 2023 г. привела к выносу, по меньшей мере, 10 000–11 000 м³ грунта. Исходя из изменений, фиксируемых на поперечных сечениях русла р. Оки, мы можем сделать вывод о прогрессирующем подмыве подводного основания склона на севере стационара, ближе к устью р. Солотчи. Землечерпание у выпуклого берега меандра и заложение прорези, несомненно, затормаживают разрушение рельефа учетной площадки и замедляют потери земель на наблюдаемой части фронта размыва. Однако, по имеющейся в нашем распоряжении информации, регулирование русла осуществляется неравномерно и не может полностью предотвратить естественный ход его плановых деформаций. За год на учетной площадке площадью 3.1 га по-прежнему уничтожается 693.5 м² поймы, половодный размыв резко преобладает (607.6 м²/год) над прочими геоморфологическими процессами. Продолжение работы стационара должно подтвердить либо опровергнуть достоверность разведочных прогнозов средней скорости отступления берега, целесообразность сведения топологии эрозии к линейно-узловой модели и намеченные тенденции динамики рельефа дна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

АИС ГМВО. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов. <https://gmvo.skniivh.ru/> Дата посещения: 08.12.2023.

Баровский Н.А. Гидролого-морфодинамический анализ свободно меандрирующих русел на разных стадиях развития // Геоморфология. 2005. № 4. С. 54–63.

Барышников Н.Б. Проблемы морфологии, гидрологии и гидравлики пойм. СПб.: РГГМУ. 2012. 426 с.

Беляков А.А., Беркович К.М. Река Ока: проблемы и перспективы реконструкции // Эрозионные и русловые процессы. Вып. 4. 2005. М.: Изд-во МГУ. С. 251–273.

Беркович К.М. Руслу рек и деятельность человека. М.: ПринтКов. 2020. 146 с.

Беркович К.М. Русловые процессы на реках в сфере влияния водохранилищ. М.: Геогр. ф-т МГУ. 2012. 163 с.

Беркович К.М., Злотина Л.В. Расчет стабильности речных русел в условиях антропогенной нагрузки // География и природные ресурсы. 2003. № 2. С. 117–123.

Воробьев А.Ю., Кадыров А.С. Полевые исследования отступления берегов русла р. Оки в 2014–2018 гг. с помощью метода простых реперов // Географический вестник. 2020. № 3 (54). С. 30–45.

Воробьев А.Ю., Кривцов В.А., Кадыров А.С. Современная динамика накопления и состав аллювия прирусловой поймы реки Оки // Уч. зап. Казан. ун-та. Сер. естеств. науки. 2021. Т. 163, кн. 4. С. 603–625.

Воробьев А.Ю., Пузаков С.В. Динамика боковой эрозии на вогнутых берегах излучин реки Оки в ее среднем течении в XIX–XX веках и на современном этапе // Вест. Рязан. гос. ун-та им. С.А. Есенина. 2017. № 3 (56). С. 152–161.

Вуколов Э.А. Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов STATISTICA и EXCEL. М.: ФОРУМ. 2008. 464 с.

Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Кашутина Е.А., Милюкова И.П. О вкладе климатических и антропогенных факторов в изменения стока крупных рек Русской равнины и Сибири // Докл. РАН. 2019. Т. 488. № 5. С. 539–544.

Горбаренко А.В., Варенцова Н.А., Киреева М.Б. Трансформация стока весеннего половодья и паводков в бассейне верхней Волги под влиянием климатических изменений // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2021. № 4. С. 6–28.

Егоров И.Е. Экзогенные геоморфологические процессы и методы их изучения. Ижевск, Изд-во УдГУ. 2017. 383 с.

- Завадский А.С., Лобанов Г.В., Петухова Л.Н., Серебренникова И.А., Смирнова Е.А., Чернов А.В. Результаты стационарных исследований русловых процессов на реках ЕТР // Эрозионные и русловые процессы. М.: Изд-во МГУ. 2010. С. 220–251.
- Замышляев В.И. Гидродинамические модели устойчивости и плановых переформирований речных русел и пути их развития // Журнал университета водных коммуникаций. 2010. Т. 2. С. 94–100.
- Команда экспертов представит концепцию развития водного туризма в Рязанской области. Изд-во «Пресса», новости районов Рязанской области: <https://ryazpressa.ru/komanda-ekspertov-predstavit-konceptziyu-razvitiya-vodnogo-turizma-v-ryazanskoj-oblasti/> Дата обращения: 03.12.2023.
- Кондратьев Н.Е., Попов И.В., Снисенко Б.Ф. Основы гидроморфологической теории руслового процесса. Л.: Гидрометеиздат. 1982. 272 с.
- Кораблева О.В., Чернов А.В. Опыт мониторинга русловых деформаций на широкопойменных реках (на примере р. Керженец) // География и природные ресурсы. 2008. № 2. С. 158–165.
- Коробкин В.И., Передельский Л.В. Инженерная геология и охрана окружающей среды. Ростов-на-Дону: Изд-во Ростов. ун-та. 2013. 348 с.
- Кривцов В.А., Правкин С.А. Долинные педименты в среднем течении р. Оки // Геоморфология. 2015. № 3. С. 39–47.
- Лазаренко А.А. Литология аллювия равнинных рек гумидной зоны (на примере Днепра, Десны, Оки). Труды ГИН. Вып. 120. 1964. 236 с.
- Лоцманская карта реки Оки от устья (г. Горький) до Щурово. М.: Моск.-Окское бассей. управл. пути. 1956. 75 с.
- Лучников А.И., Ляхин Ю.С., Лепихин А.П. Опыт применения беспилотных летательных аппаратов для оценки состояния берегов поверхностных водных объектов // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2018. № 1. С. 37–46.
- Опубликован эскиз моста-дублёра через Оку под Рязанью. Медиа-Рязань, информационное агентство: https://mediaryazan.ru/news/detail/506894.html?sphrase_id=4068743 Дата обращения: 03.12.2023.
- Официальное опубликование правовых актов. Постановления Губернатора Рязанской области: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/6200202211110011> Дата обращения: 03.12.2023.
- Перькова М.В. Формирование линейно-узловой структуры расселения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 2. С. 120–125.
- Рысин И.И., Осипов Д.Н. Геоэкологическая напряженность пойменно-русловых комплексов на реках Удмуртии // Наука Удмуртии. 2021. № 1 (93). С. 43–63.
- Савичев О.Г. Гидрология, метеорология и климатология: гидрологические расчеты. Томск, Томский политех. ун-т. 2013. 224 с.
- Симонов Ю.Г. Геоморфология. Методология фундаментальных исследований. СПб.: Питер. 2005. 427 с.
- Тикунов В.С. Моделирование в картографии. М.: Изд-во МГУ. 1997. 405 с.
- Эрозионно-русловые системы. М.: ИНФРА-М. 2017. 702 с.
- Couper P.R., Maddock I.P. Subaerial river bank erosion processes and their interaction with other bank erosion mechanisms on the River Arrow, Warwickshire, UK // Earth Surface Processes and Landforms. 2001. Vol. 26. Iss. 6. P. 631–646.
- Deng S., Xia J., Zhou M., Li J., Zhu Y. Coupled modeling of bank retreat processes in the Upper Jingjiang Reach, China // Earth Surface Processes and Landforms. 2018. Vol. 43. Iss. 14. P. 2863–2875.
- Global Surface Water Explorer: <https://global-surface-water.appspot.com/map>. Дата обращения: 03.12.2023.
- Hamshaw S.D., Bryce T., Rizzo D.M., O'Neil-Dunne J., Frolik J., Dewoolkar M.M. Quantifying streambank movement and topography using unmanned aircraft system photogrammetry with comparison to terrestrial laser scanning // River research and Applications. 2017. Vol. 33. Iss. 8. P. 1354–1367.
- Jugie M., Goba F., Virmoux C., Brunstein D., Tamisiera V., Coeura C. L., Granchera D. Characterizing and quantifying the discontinuous bank erosion of a small low energy river using Structure-from-Motion Photogrammetry and erosion pins // Journal of Hydrology. 2018. Vol. 563. P. 418–434.
- Karmaker T., Dutta S. Modeling seepage erosion and bank retreat in a composite river bank // Journal of Hydrology. 2013. Vol. 476. P. 178–187.
- Kimiaghalam N., Goharrokhi M., Clark S.P., Ahmari H.A. Comprehensive fluvial geomorphology study of riverbank erosion on the Red River in Winnipeg, Manitoba, Canada // Journal of Hydrology. 2015. Vol. 529. P. 1488–1498.
- Lagasse P.F., Zewenbergen L.W., Spitz W.J., Thorne C.R. Methodology for Predicting Channel Migration. Washington, DC: Transportation Research Board. 2004. 214 p.
- Lawler D.M. The measurement of river bank erosion and lateral channel change: A review // Earth Surface Processes and Landforms. 1993. Vol. 18. Iss. 9. P. 777–821.
- Masoodi A., Noorzad A., Majdzadeh M.R., Samadi T.A. Application of short-range photogrammetry for

monitoring seepage erosion of riverbank by laboratory experiments // *Journal of Hydrology*. 2018. Vol. 558. P. 380–391.

Van Dijk W.M., Mastbergen D.R., Van den Ham G.A., Leuven J.R.F.W., Kleinhans M.G. Location and probability of shoal margin collapses in a sandy estuary // *Earth Surface Processes and Landforms*. 2018. Vol. 43. Iss. 11. P. 2342–2357.

Yu M., Wei H., Wu S. Experimental study on the bank erosion and interaction with near-bank bed evolution due to fluvial hydraulic force // *International Journal of Sediment Research*. 2015. Vol. 30. P. 81–89.

Zong Q., Xia J., Zhou M., Deng S., Zhang Y. Modelling of the retreat process of composite riverbank in the Jingjiang Reach using the improved BSTEM // *Hydrological processes*. 2017. Vol. 31. Iss. 26. P. 4669–4681.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при поддержке РФФ, проект № 22-77-00050.

ОБ АВТОРАХ

Воробьев Алексей Юрьевич, доцент кафедры географии, экологии и туризма, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский го-

сударственный университет имени С.А. Есенина», кандидат географических наук, тел. 89511011707, a.vorobyov90@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7110-4232>.

Кадыров Александр Сергеевич, аспирант, лаборант кафедры географии, экологии и туризма, Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина, alieksandr.kadyrov93@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1416-7898>.

Локтеев Дмитрий Сергеевич, студент Заочного факультета, Московский государственный университет геодезии и картографии, lokteev@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0345-0504>.

Бургов Евгений Вадимович, кандидат биологических наук, начальник группы биотехнических систем КК МБИКС-ПТ лаборатории робототехники, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»; инженер, Лаборатория почвенной зоологии и общей энтомологии, Институт проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова Российской академии наук, burgov.ev@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3983-5748>.

Балобина Анна Александровна, магистрант Института экологии, Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, balobina-anna@gambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0261-7392>.

RESULTS OF LOCAL GEODETIC MONITORING OF LATERAL EROSION OF THE OKA RIVER

A.Y. Vorobyov¹, A.S. Kadyrov¹, D.S. Lokteev², E.V. Burgov^{3,4}, A.A. Balobina⁵

¹Ryazan State University named for S. Yesenin, Ryazan, Russia;

²Moscow State University of Geodesy and Cartography;

³National research center “Kurchatov institute”, Moscow, Russia;

⁴A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;

⁵Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, Russia

a.vorobyov90@mail.ru

Abstract. The paper presents the results of geomorphological stationary works in the downstream of the Oka River bend near the “Kostino” village, center of the European part of Russia. Field observations of bank erosion rates at this survey site indicate an annual retreat of 1.67 m of the subaerial part of the bank. During two years of monitoring, spring floods completely flooded the stationary. In 2023, the maximum discharge of the Oka River was approximately 4700 m³/s and exceeded 2022's value by 62%. We used unmanned aerial vehicles (UAVs) and obtained high-resolution surface rasters and calculated linear, area and three-dimensional erosion rates. The relief response to increased flood energy in the second year of observations was expressed in almost twofold acceleration of bank failure (by 95%). The concave bank sections, composed of sand and sandy loam, have undergone particularly intensive erosion in a number of places, which is confirmed by our monitoring of the channel bed. By surveying by season of the hydrological year, we found that subaerial bank erosion does not stop in summer and autumn, although it only reaches 20% of the full-year volume.

Keywords: Oka River, lateral channel erosion, geomorphological stationary, spring flood, morphometry, UAV, digital elevation model (DEM)

REFERENCES

- AIS GMVO: inform. internet-portal [Electronic data]. Access way: <https://gmvo.skniivh.ru/> (access date: 08.12.2023). (In Russ.)
- Barovskij N.A. Hydrological and morphodynamic analysis of free meandering channels at different stages of development // *Geomorfologija*. 2005. № 4. P. 54–63. (In Russ.)
- Baryshnikov N.B. Problems of morphology, hydrology and hydraulics of floodplains. SPb.: RGGMU. 2012. 426 p. (In Russ.)
- Beljakov A.A., Berkovich K.M. Oka River: problems and prospects of reconstruction // *Jerozionnye i ruslovyje processy*. Vyp. 4. 2005. M.: Izd-vo MGU. P. 251–273. (In Russ.)
- Berkovich K.M. Channel processes on rivers in the sphere of influence of reservoirs. M.: Geogr. f-t MGU. 2012. 163 p. (In Russ.)
- Berkovich K.M. River channels and human activity. M.: PrintKov. 2020. 146 p. (In Russ.)
- Berkovich K.M., Zlotina L.V. Calculation of river channel stability under anthropogenic load // *Geografija i prirodnye resursy*. 2003. № 2. P. 117–123. (In Russ.)
- Catchment erosional-fluvial systems / pod red. R.S. Chalova, V.N. Golosova, A.Ju. Sidorchuka. M.: INFRA-M. 2017. 702 p. (In Russ.)
- Couper P.R., Maddock I.P. Subaerial river bank erosion processes and their interaction with other bank erosion mechanisms on the River Arrow, Warwickshire, UK // *Earth Surface Processes and Landforms*. 2001. Vol. 26. Iss. 6. P. 631–646.
- Deng S., Xia J., Zhou M., Li J., Zhu Y. Coupled modeling of bank retreat processes in the Upper Jingjiang Reach, China // *Earth Surface Processes and Landforms*. 2018. Vol. 43. Iss. 14. P. 2863–2875.
- Georgiadi A.G., Koronkevich N.I., Barabanova E.A., Kashutina E.A., Miljukova I.P. On the contribution of climatic and anthropogenic factors to changes in the flow of large rivers of the Russian Plain and Siberia // *Doklady Earth Sciences*. 2019. T. 488. № 5. P. 539–544. (In Russ.)
- Gorbarenko A.V., Varencova N.A., Kireeva M.B. Transformatsiya stoka vesennyi polovod'ja i pavodkov v bassejne verhnaya Volga pod vlianiem klimaticheskikh izmenenonii (in Russian) // *Vodnoe hozjajstvo Rossii: problemy, tehnologii, upravlenie*. 2021. № 4. P. 6–28. (In Russ.)
- Egorov I.E. Exogenous geomorphological processes and methods of their study. Izhevsk, Izd-vo UdGU. 2017. 383 p. (In Russ.)
- Global Surface Water Explorer. [Electronic data]. Access way: <https://global-surface-water.appspot.com/map>. (access date: 03.12.2023).
- Hamshaw S.D., Bryce T., Rizzo D.M., O'Neil-Dunne J., Frolik J., Dewoolkar M.M. Quantifying streambank movement and topography using unmanned aircraft system photogrammetry with comparison to terrestrial laser scanning // *River research and Applications*. 2017. Vol. 33. Iss. 8. P. 1354–1367.
- Jugie M., Goba F., Vermoux C., Brunstein D., Tamisiera V., Coeura C. L., Granchera D. Characterizing and quantifying the discontinuous bank erosion of a small low energy river using Structure-from-Motion Photogrammetry and erosion pins // *Journal of Hydrology*. 2018. Vol. 563. P. 418–434.
- Karmaker T., Dutta S. Modeling seepage erosion and bank retreat in a composite river bank // *Journal of Hydrology*. 2013. Vol. 476. P. 178–187.
- Kimiaghalam N., Goharrokhi M., Clark S.P., Ahmari H.A. Comprehensive fluvial geomorphology study of riverbank erosion on the Red River in Winnipeg, Manitoba, Canada // *Journal of Hydrology*. 2015. Vol. 529. P. 1488–1498.
- Komanda jekspertov predstavit koncepciju razvitiya vodnogo turizma v Rjazanskoj oblasti. Izd-vo «Pressa», novosti rajonov Rjazanskoj oblasti. [Electronic data]. Access way: <https://ryazpressa.ru/komanda-ekspertov-predstavit-koncepciju-razvitiya-vodnogo-turizma-v-ryazanskoj-oblasti/> (access date: 03.12.2023). (In Russ.)
- Kondrat'ev N.E., Popov I.V., Snishhenko B.F. Fundamentals of hydromorphological theory of channel process. L.: Gidrometeoizdat. 1982. 272 s. (In Russ.)
- Korableva O.V., Chernov A.V. Experience of monitoring of channel deformations on the wide-floodplain rivers (on the example of the Kerzhenets River) // *Geografija i prirodnye resursy*. 2008. № 2. P. 158–165. (In Russ.)
- Korobkin V.I., Peredel'skij L.V. Engineering geology and environmental protection. Rostov-na-Donu: Izd-vo Rostov. un-ta. 2013. 348 p. (In Russ.)
- Krivcov V.A., Pravkin S.A. Valley pediments in the middle reaches of the Oka River // *Geomorfologija*. 2015. № 3. P. 39–47. (In Russ.)
- Lagasse P.F., Zewenbergen L.W., Spitz W.J., Thorne C.R. Methodology for Predicting Channel Migration. Washington, DC: Transportation Research Board. 2004. 214 p.
- Lawler D.M. The measurement of river bank erosion and lateral channel change: A review // *Earth Sur-*

face Processes and Landforms. 1993. Vol. 18. Iss. 9. P. 777–821.

Lazarenko A.A. Lithology of alluvium of plain rivers of humid zone (on the example of Dnieper, Desna, Oka). Trudy GIN. Vyp. 120. 1964. 236 p. (In Russ.)

Locmanskaja karta reki Oki ot ust'ja (g. Gor'kij) do Shhurovo. Moscow: Mosk.-Okskoe bassejn. Upravl. puti (Publ.). 1956. 75 p. (In Russ.)

Luchnikov A.I., Ljahn Ju.S., Lepihin A.P. Experience in the use of unmanned aerial vehicles to assess the state of the banks of surface water bodies // Vodnoe hozjajstvo Rossii: problemy, tehnologii, upravlenie. 2018. № 1. P. 37–46. (In Russ.)

Masoodi A., Noorzad A., Majdzadeh M.R., Samadi T.A. Application of short-range photogrammetry for monitoring seepage erosion of riverbank by laboratory experiments // Journal of Hydrology. 2018. Vol. 558. P. 380–391.

Oficial'noe opublikovanie pravovyh aktov. Postanovlenija Gubernatora Rjazanskoj oblasti: [Electronic data]. Access way: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/6200202211110011> (access date: 03.12.2023). (In Russ.)

Opublikovan jeskiz mosta-dubljora cherez Oku pod Rjazan'ju. Media-Rjazan', informacionnoe agentstvo : [Electronic data]. Access way: https://mediaryazan.ru/news/detail/506894.html?sphrase_id=4068743 (access date: 03.12.2023). (In Russ.)

Per'kova M.V. Formation of linear-nodal structure of settlement // Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova. 2017. № 2. P. 120–125. (In Russ.)

Rysin I.I., Osipov D.N. Geocological stress of floodplain-channel complexes on the rivers of Udmurtia // Nauka Udmurtii. 2021. № 1 (93). P. 43–63. (In Russ.)

Savichev O.G. Hydrology, meteorology and climatology: hydrological calculations. Tomsk, Tomskij politeh. un-t. 2013. 224 p. (In Russ.)

Simonov Ju.G. Methodology of fundamental research. SPb.: Piter. 2005. 427 p. (In Russ.)

Tikunov V.S. Modelling in cartography. M.: Izd-vo MGU. 1997. 405 p. (In Russ.)

Van Dijk W.M., Mastbergen D.R., Van den Ham G.A., Leuven J.R.F.W., Kleinhans M.G. Location and probability of shoal margin collapses in a sandy estuary // Earth Surface Processes and Landforms. 2018. Vol. 43. Iss. 11. P. 2342–2357. (In Engl.)

Vorob'ev A.Ju., Kadyrov A.S. Field studies of the Oka river bank erosion in 2014–2018 by the erosional pins method // Geograficheskij vestnik. 2020. № 3 (54). P. 30–45. (In Russ.)

Vorob'ev A.Ju., Krivcov V.A., Kadyrov A.S. Current dynamics of accumulation and composition of alluvium in the near-channel floodplain of the Oka river (Rus-

sia) // Uch. zap. Kazan. un-ta. Ser. estestv. nauki. 2021. T. 163, kn. 4. P. 603–625. (In Russ.)

Vorob'ev A.Ju., Puzakov S.V. The dynamics of side erosion of the concave banks of the Oka river in its middle course in the 19th – 20th centuries and nowadays // Vest. Rjazan. gos. un-ta im. S.A. Esenina. 2017. № 3 (56). P. 152–161. (In Russ.)

Vukolov Je.A. Fundamentals of statistical analysis. Workshop on statistical methods and operations research using STATISTICA and EXCEL packages. M.: FORUM. 2008. 464 p. (In Russ.)

Yu M., Wei H., Wu S. Experimental study on the bank erosion and interaction with near-bank bed evolution due to fluvial hydraulic force // International Journal of Sediment Research. 2015. Vol. 30. P. 81–89.

Zamyshljaev V.I. Hydrodynamic models of stability and planned reformation of river channels and ways of their development // Zhurnal universiteta vodnyh kommunikacij. 2010. T. 2. P. 94–100. (In Russ.)

Zavadskij A.S., Lobanov G.V., Petuhova L.N., Serbrennikova I.A., Smirnova E.A., Chernov A.V. Results of stationary studies of channel processes in the rivers of the ETR // Jerozionnye i ruslovyje processy. M.: Izd-vo MGU. 2010. P. 220–251. (In Russ.)

Zong Q., Xia J., Zhou M., Deng S., Zhang Y. Modelling of the retreat process of composite riverbank in the Jingjiang Reach using the improved BSTEM // Hydrological processes. 2017. Vol. 31. Iss. 26. P. 4669–4681.

ACKNOWLEDGMENTS

The study was funded by the Russian Science Foundation, Project no. 22-77-00050.

ABOUT THE AUTHORS

Aleksei Y. Vorobyov, Cand. Sci. (Geography), Associate Professor, Department of Geography, Ecology, and Tourism, Ryazan State University named for S. Yesenin, a.vorobyov90@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7110-4232>.

Aleksandr S. Kadyrov, post-graduate student, assistant, Department of Geography, Ecology, and Tourism, Ryazan State University named for S. Yesenin, alieksandr.kadyrov93@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1416-7898>.

Dmitrii S. Lokteev, student, Extramural faculty, Moscow State University of Geodesy and Cartography, lokteev@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0345-0504>.

Evgenii V. Burgov, Cand. Sci. (Biology), Head of the Biotechnical Systems Group of the Robotics Laboratory, National research center “Kurchatov insti-

tute”; engineer, Laboratory of soil zoology and general entomology, A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences, burgov.ev@yandex.ru, ORCID:

<https://orcid.org/0000-0002-3983-5748>.

Anna A. Balobina, Master student, Institute of Environmental Engineering, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, balobina-anna@rambler.ru, ORCID:

<https://orcid.org/0009-0001-0261-7392>.

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОЙМЕННОГО АЛЛЮВИЯ В СРЕДНЕМ И ВЕРХНЕМ ТЕЧЕНИИ Р. ДЕСНЫ И ФАКТОРЫ, ЕГО ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ

Г.В. Лобанов¹, Г.В. Чекин²

¹Брянский государственный университет им. И.Г. Петровского, естественно-географический факультет, г. Брянск, Россия;

²Брянский государственный аграрный университет, институт экономики и агробизнеса, г. Брянск, Россия

Lobanov_grigorii@mail.ru, gb-swamp@yandex.ru

Поступила в редакцию 27.01.2025

После доработки 19.02.2025

Принята к публикации 21.02.2025

Аннотация. В статье приведены сведения о гранулометрическом составе грунтов центральной поймы р. Десны в верхнем и среднем течении протяженностью 256 км. Рассмотрены факторы, определяющие общую картину соотношения фракций (по материалам более 100 проб). Систематизированы сведения о различиях гранулометрического состава пойменных отложений в среднем течении р. Десны. Различия состава пойменных отложений сопоставляются на уровне 18 отрезков течения, обособленных по геолого-геоморфологическим особенностям строения долины. Показано, что различия соотношения фракций формируются под влиянием как общих закономерностей изменения состава наносов вниз по течению, так и локальных особенностей источников поступления материала, обусловленных различиями строения долины и водосборного бассейна.

Ключевые слова: гранулометрический состав пойменных отложений, геолого-геоморфологические факторы русловых процессов, источники наносов, среднее течение р. Десны

DOI: [10.71367/3034-4638-2025-2-1-96-100](https://doi.org/10.71367/3034-4638-2025-2-1-96-100)

Модели устойчивости русла тем или иным образом учитывают свойства формирующих его грунтов. Независимо от выбранной характеристики грунта (средний диаметр, плотность минеральной части, сопротивление размыву, сцепление и иные варианты) ее значения и особенности взаимодействия потока и ложа на крупных и средних равнинных реках заметно изменяются по продольному профилю. Литологическое и инженерно-геологическое разнообразие руслообразующих грунтов создается двумя группами причин. Во-первых, неоднородным поступлением материала в русло непосредственно со склонов, днища долины и водосборной территории в целом. Во-вторых, перемещением и перераспределением по дну долины поступающего в нее материала (наносов) (Чернов, 2009).

Первая группа причин обусловлена разной интенсивностью эрозии, которая зависит от факторов разной природы (климатических, геолого-геоморфологических, ландшафтных). Более того, состав и количество материала изменяются во времени, усложняя изначально неравномерное распределение руслоформирующих грунтов.

Вторая группа причин разнообразия действует одновременно с первой. Руслообразующие наносы перемещаются потоком вдоль и поперек долины и, таким образом, изменяют различия, обусловленные изначально неравномерным поступлением материала: в одних случаях — сглаживают, в других — усиливают. Вместе с тем состав и свойства руслообразующих наносов не отличаются исключительной пестротой. Их особенности сохраняются

на отрезках значительной протяженности, способствуя обособлению морфологически однородных отрезков русла.

Целью настоящего исследования было изучение различий гранулометрического состава руслообразующих наносов в верхнем и среднем течении р. Десны и связи этих различий с особенностями геолого-геоморфологического строения долины и территории бассейна. Верхняя граница участка исследования соответствует плотине Десногорского водохранилища, нижняя — устью значительного левого притока Десны, р. Неруссы (110–356 км реки от истока); таким образом, длина участка исследования составляет 246 км.

Исходный материал исследования представлен гранулометрическим анализом более 100 проб грунта, отобранных на центральной пойме р. Десны. Подход к местам отбора проб пойменного наилка обоснован тем, что состав наносов центральной поймы наилучшим образом отражает его баланс за длительный промежуток времени (столетия и тысячелетия). Состав наносов обусловлен многими факторами, в частности геолого-геоморфологическим строением склонов долины и водосборной территории, балансом наносов на данном и выше расположенном участках.

По результатам опробывания установлено, что в составе наносов незначительно преобладает фракция крупной пыли (0.05–0.01 мм) — 35.8%, несколько менее распространена фракция мелкого песка (0.25–0.05 мм) — 30.9%. На физическую глину в целом (фракции средняя, мелкая пыль и ил) приходится 28.5%. На фракцию крупного песка (наименее распространенную) приходится 4.8%. Подробное распределение фракций представлено на рис. 1. Распределение фракций отражает литологическое строение водосборного бассейна. Мелкие частицы поступают в долину из двух источников — от моренных и покровных суглинков и супесей, которыми сложены водосборные территории, и коренных пород суглинистого и супесчаного состава верхне- и нижнемелового возраста, залегающих в основании склонов в долине верхнего течения р. Десны. С водосборной территории материал поступает с твердым стоком притоков, со склонов — вследствие боковой эрозии.

Для выявления закономерностей распределения крупности фракций пойменного аллювия по продольному профилю долины результаты гранулометрического анализа были сгруппированы по ранее выделенным пойменно-русловым комплексам (Лобанов, 2019). Пойменно-русловой комплекс (по А.В. Чернову) представляет собой геосистему «пойма—русло», в которой тесно взаимосвязаны

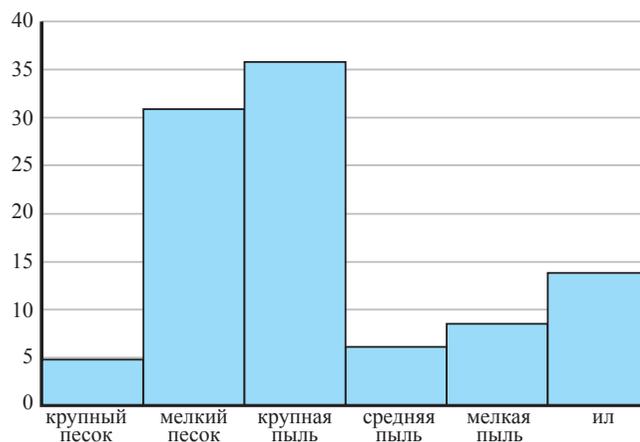


Рис. 1. Гранулометрический состав пойменных отложений среднего течения р. Десны. По оси ординат — средняя доля фракций

Fig. 1. Granulometric composition of floodplain sediments of the middle course of the Desna River

особенности потока, руслоформирующих грунтов и иных факторов, влияющих на их взаимодействие. Взаимосвязь проявляется как в морфологических особенностях русла, дна и склонов долины, так и в гидрологических характеристиках потока, динамике рельефа русла (Чернов, 2005).

Русло и голоценовая пойма р. Десны в верхнем и среднем течении отличаются большим морфологическим разнообразием. По течению сменяются участки русла, отличающиеся морфодинамическим типом, характерными размерами, количеством и взаимным расположением форм. Соответственно изменяется строение поймы — ее высота, ширина, литологический состав отложений, рельеф поверхности и почвенно-растительный покров. Относительно однородные участки, в рамках широко распространенной терминологии, определяются нами как пойменно-русловые комплексы (ПРК). Протяженность ПРК составляет от первых километров до первых десятков километров. Поскольку на таком, сравнительно коротком расстоянии гидрологические характеристики потока меняются мало, одним из главных факторов обособления являются характеристики аллювиальных отложений (гранулометрический состав и обусловленные им прочностные свойства грунта). Всего на протяжении участка исследования выделено 18 ПРК средней протяженностью 15 км (для участка реки с 315 по 373 км пробы отсутствуют).

В границах морфологически однородных участков отбиралось 2–3, реже большее количество проб. Далее по средним значениям долей фракций формировалась картина распределения крупности руслообразующих наносов, отраженная на рис. 2 и в таблице 1.

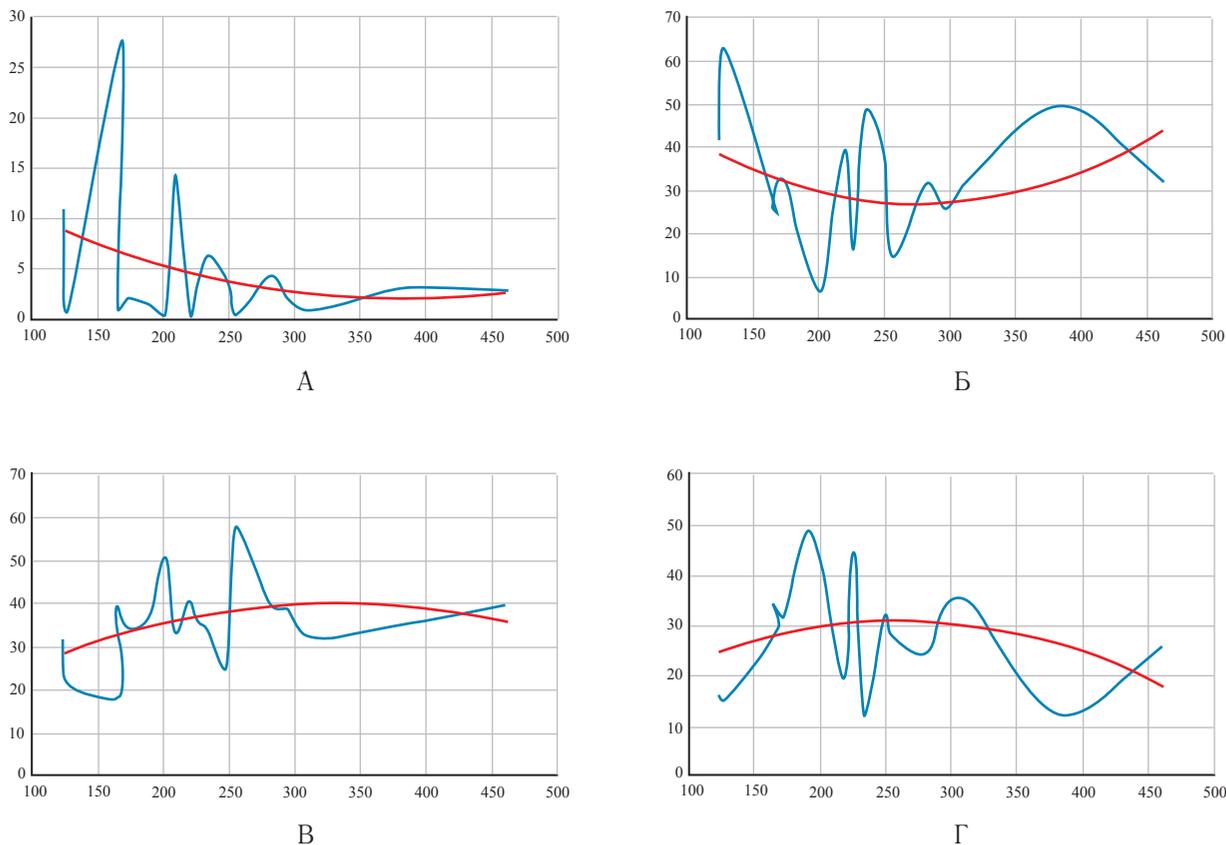


Рис. 2. Распределение доли фракций пойменного аллювия вниз по течению. А — средний и крупный песок; Б — мелкий песок; В — крупная пыль; Г — физическая глина. По оси ординат отложена доля фракции в процентах, по оси абсцисс — расстояние от истока до середины отрезка течения в границах ПРК в километрах. Синяя линия — фактические значения, красная — полиномиальный тренд

Fig. 2. Distribution of fractions of floodplain alluvium downstream. А — medium and coarse sand; Б — fine sand; В — coarse dust; Г — physical clay. The ordinate axis shows the fraction fraction, and the abscissa axis shows the distance from the source to the middle of the current segment within the boundaries of floodplain–channel complexes. The blue line is the actual values, the red line is the polynomial trend

Физическая глина (менее 0.01 мм) на фракции в ходе анализа не подразделялась.

В распределении наносов на пойме прослеживаются две закономерности. Во-первых, доля фракции крупного и среднего песка убывает вниз по течению. Здесь характер распределения вполне укладывается в известную зависимость уменьшения крупности наносов по мере снижения уклонов реки. Следует заметить, что количество песчаного материала в составе руслоформирующих грунтов ниже по течению не убывает. Напротив, здесь река следует по обширному зандру, в котором сформированы надпойменные террасы, поставляющие в русло при размыве берегов песок.

Во-вторых, на участке 200–400 км от истока снижается доля фракции мелкого песка и на этом же отрезке увеличивается доля крупной пыли и

физической глины. Природа этого явления связана, вероятно, с особенностями бассейновой составляющей твердого стока. На этом промежутке река следует вдоль Брянской возвышенности, сложенной с поверхности покровными (местами лёссовидными) суглинками. Материал поступает в русло по разветвленной сети эрозионных форм и изменяет соотношения фракций.

Вместе с тем тренды сглаживают существенные различия гранулометрического состава соседних участков — под влиянием местных условий тренд может меняться на противоположный. Разнообразие русловых и бассейновых источников материала, особенностей геолого-геоморфологического строения долины и морфодинамики русла ограничивает возможность универсального объяснения соотношения фракций на каждом участке. В частности,

Таблица 1. Гранулометрический состав отложений ПРК верхнего и среднего течения р. Десны**Table 1.** Granulometric composition of sediments of the upper and middle reaches of the Desna River

№ ПРК	Содержание фракций (мм), %				Расстояние от истока реки, км
	> 0.25	0.25–0.05	0.05–0.01	<0.01	
1	10.9	41.5	31.6	15.9	110.8–119.5
2	1.2	62.3	21.5	15.1	119.5–125.2
3	27.6	24.6	19.0	28.8	125.2–153.6
4	1.1	26.1	38.9	34.2	153.6–160.9
5	2.1	31.9	34.2	31.8	160.9–168.9
6	1.5	13.8	36.5	48.3	168.9–182.3
7	0.7	6.6	50.8	41.8	193.4–199.1
8	14.3	22.4	33.3	29.9	199.1–205.9
9	0.6	39.2	40.3	19.9	205.9–215.1
10	3.6	16.2	35.9	44.3	215.1–222.6
11	6.3	47.6	34.0	12.1	222.6–230.3
12	3.6	39.3	25.5	31.6	230.3–242.9
13	0.4	14.3	57.7	27.6	247.9–252.9
14	4.3	31.3	40.1	24.3	272.6–278.3
15	1.9	25.4	38.5	34.2	278.3–290.1
16	0.8	32.4	32.1	34.7	295.9–308.4
17	3.0	49.4	35.3	12.3	373.7–380.2
18	2.8	31.8	39.7	25.7	445.4–456.5

участки с более высокой долей крупного песка чаще соответствуют сужениям дна долины, где скорость потока половодья увеличивается, обеспечивая вынос за пределы сужений более мелкого материала, увеличивается доля более крупных фракций (таковы, например, ПРК № 1, 3, 8 в табл. 1).

Участки с относительно высокой долей глинистого материала и пыли обычно соответствуют участкам с широкой и невысокой поймой, на которых в половодье откладывается мелкий материал. Кроме того, глинистый материал (физическая глина) поступает от размываемых склонов долины и водосборов. Например, максимальная доля глинистой фракции (ПРК № 8) соответствует узкому участку долины, правый склон которой густо пересечен балками и долинами малых рек, врезанными в моренную равнину.

Несмотря на довольно пеструю картину различий, сведения о гранулометрическом составе руслообразующих грунтов являются важной фактической основой для объективной оценки устойчивости русла и прогноза его деформаций.

Обнаруженные закономерности позволяют сформулировать следующие выводы:

1. Гранулометрический состав пойменного аллювия на конкретном участке течения зависит

от кинетической энергии потока и особенностей материала, поступающего в русло при размыве береговых уступов и выносимого притоками.

2. Кинетическая энергия потока неравномерно увеличивается от верхнего течения к среднему, однако на локальных участках тенденция нарушается тектонически обусловленными различиями ширины долины и поймы.

3. Особенности материала, поступающего в русло, определяются различиями геолого-геоморфологического строения, прежде всего гранулометрического состава и прочностных характеристик четвертичных отложений на водосборной территории.

4. Различия состава пойменного аллювия согласуются с особенностями геолого-геоморфологического строения долины и водосборной территории, но вес отдельных факторов изменяется от участка к участку.

5. Закономерный характер различий состава аллювия позволяет использовать особенности геолого-геоморфологического строения как основание для районирования устойчивости русел.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Лобанов Г.В. Морфологическое разнообразие верхнего течения реки Десна / Г.В. Лобанов,

М.В. Жохов // Региональные геосистемы. 2022. Т. 46, № 1. С. 81–93.
DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-1-81-93. EDN FSUKTM.

Чернов А.В. Методология и методика географического русловедения // Эрозия почв и русловые процессы. МГУ. М., 2005. Вып. 15.

Чернов А.В. География и экологическое состояние русел и пойм рек Северной Евразии. М.: Изд-во «Крона», 2009. 684 с.

ОБ АВТОРАХ

Лобанов Григорий Владимирович
Кандидат географических наук, доцент кафедры географии, экологии и землеустройства Брянского государственного университета имени академика И.Г. Петровского

Чекин Геннадий Владимирович
Кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрохимии, почвоведения и экологии Брянского государственного аграрного университета

DISTRIBUTION OF THE GRANULOMETRIC COMPOSITION OF FLOODPLAIN ALLUVIUM IN THE MIDDLE AND UPPER REACHES OF THE DESNA RIVER AND ITS DETERMINING FACTORS

G.V. Lobanov¹, G.V. Chekin²

¹*Bryansk State University named after I.G. Petrovsky,
Faculty of Geography and Natural Sciences, Bryansk, Russia;*

²*Bryansk State Agrarian University, Institute of Economics and Agribusiness, Bryansk, Russia*

Lobanov_grigorii@mail.ru, gb-swamp@yandex.ru

Abstract: The article provides information on the granulometric composition of the grounds of the central floodplain in the upper and middle course of the Desna River with a length of 256 km. The factors determining the overall picture of the fraction ratio (based on materials from more than 100 samples) are considered. The information on the differences in the granulometric composition of floodplain sediments in the middle reaches of the Desna River is systematized. Differences in the composition of floodplain sediments are compared at the level of 18 stream segments, isolated by geological and geomorphological features of the valley structure. It is shown that the differences in the fraction ratio are formed under the influence of both general patterns of changes in the composition of sediments downstream and local features of the sources of material intake due to differences in the structure of the valley and the drainage basin.

Keywords: granulometric composition of floodplain sediments, geological and geomorphological factors of riverbed processes, sediment sources, the middle course of the Desna River

REFERENCES

G.V. Lobanov, M.V. Zhohov. Morfologicheskoe raznoobrazie verhnego techeniya reki Desna. Regional'nye geosistemy. Т. 46, № 1, S. 81–93. 2022, DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-1-81-93.

A.V. Chernov. Metodologiya i metodika geograficheskogo ruslovedeniya. Eroziya pochv i ruslovye processy. MGU. М., 2005. Vyp. 15.

A.V. Chernov. Geografiya i ekologicheskoe sostoyanie rusel i pojм rek Severnoj Evrazii. М.: Изд-во «Крона», 2009. 684 с.

ABOUT THE AUTHORS

Lobanov Grigory Vladimirovich
Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Geography, Ecology and Land Management, Bryansk State University named after Academician I.G. Petrovsky

Chekin Gennady Vladimirovich
Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Agrochemistry, Soil Science and Ecology, Bryansk State Agrarian University

УДК 912.44:528.94

МЕТОДИКА СОСТАВЛЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ АТЛАСОВ ПО РУСЛОВОЙ МОРФОДИНАМИКЕ И ГЕОМОРФОЛОГИИ УСТЬЕВЫХ СИСТЕМ РЕК РОССИИ

В.Н. Коротаев, Е.Р. Чалова

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
географический факультет*

vlaskor@mail.ru, ekar28@yandex.ru

Поступила в редакцию 27.01.2025

После доработки 06.02.2025

Принята к публикации 21.03.2025

Аннотация. В статье рассматривается методика составления специализированных тематических географических атласов. Необходимость в этом возникла при попытке представления в печати огромного натурального материала экспедиционных работ Научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова и Лаборатории гидролокации дна Института океанологии РАН имени П.П. Ширшова, проведенных совместно в эстуариях и дельтах рек на побережьях окраинных и внутренних морей России за период 1969–2015 гг. Всего было составлено пять атласов, издано — четыре. При создании атласов были использованы разработки содержательного наполнения, структуры, оформления атласа, построения легенды геоморфологических карт с учетом имеющегося массива натуральных данных, современных технических и программных возможностей. В каждом атласе картографическое и специальное иллюстративное содержание было представлено геоморфологическими картами, космическими снимками, схемами горизонтальных деформаций русла, эхолотными профилями и гидролокационными изображениями для выделенных участков. Каждый участок представлял отдельный подраздел, названный «листом», который имел свой порядковый номер и отражался в оглавлении. Геоморфологические картосхемы составлялись на основе крупномасштабных топографических карт с использованием космических снимков, находящихся в открытом доступе. Генезис рельефа традиционно показывался качественным фоном, возраст — геологическими индексами. Все опубликованные и подготовленные к изданию атласы-монографии представляют собой специальные тематические научно-справочные произведения, где в красочной и доступной для широкого круга читателей форме обобщен огромный натуральный материал по геологии, геоморфологии, гидрологии и геофизике эстуариев и дельт крупных рек, впадающих в окраинные и внутренние моря России.

Ключевые слова: устье реки, эстуарий, дельта, гидролого-морфологические процессы, русловая морфодинамика, геоморфологическое картографирование, тематический атлас

DOI: [10.71367/3034-4638-2025-2-1-101-107](https://doi.org/10.71367/3034-4638-2025-2-1-101-107)

ВВЕДЕНИЕ

Логическое завершение практически любого географического исследования — представление его результатов в виде специальных карт или тематических атласов, являющихся обобщением значительного объема материалов, полученных, как правило, в ходе многолетних экспедиционных работ. Богатейшие натурные материалы по устьевой гидрологии, геоморфологии дельтовых равнин и русловым процессам в дельтовых рукавах были по-

лучены в Научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова при проведении комплексных гидрологических, геоморфологических и русловых исследований устьев и нижних течений крупных рек арктического побережья Сибири (Таз, Пур, Енисей, Лена, Яна, Индигирка, Колыма) с 1969 по 1995 г., а с 1995 по 2015 г. совместно с лабора-

торией гидролокации дна Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН — в результате гидрофизических и географических работ в эстуариях и дельтах рек севера европейской части и на юге России (Мезень, Онега, Северная Двина, Волга, Кубань, Дон). Для наиболее полного и наглядного представления этих материалов форматы научных статей, монографий, диссертаций оказались недостаточными. Тогда возникла идея создания серии узкоспециализированных тематических атласов по низовьям крупных рек России, и не просто атласов, а атласов-монографий, где наряду с картографическими материалами присутствуют полноценные научные тексты (теория и региональные обзоры), дополненные графическими иллюстрациями и фотографиями.

АТЛАСЫ УСТЬЕВЫХ ОБЛАСТЕЙ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКА

С 2009 г. выпущено четыре атласа устьевых систем рек России, два из которых посвящены Волге (Нижней Волге от Волгограда до Астрахани и дельте), а также рекам Арктического побережья, Юга и Дальнего Востока, подготовлен атлас по устьям рек Чукотки и Корякского нагорья (рис. 1).

Первым опытом стал изданный в 2009 г. «Атлас русловой морфодинамики Нижней Волги» (Атлас..., 2009). При полевых исследованиях, результаты которых легли в основу составления атласа, использовались новейшие технологии гидрографических и геофизических изысканий, применялось современное оборудование (цифровой эхолот-навигатор, система спутникового позиционирования GPS, гидролокационная и сейсмоакустическая аппаратура, разработанная в Институте океанологии РАН), а также специальные программы сбора и обработки данных. Программа *Vojdenie*, синхронизирующая данные эхолотных промеров с координатами, получаемыми навигационным спутниковым приемником, обеспечила сбор значительного массива данных, обработка которых позволила составить подробные карты крупного масштаба на отдельные участки русла Волги.

Картографическое и специальное иллюстративное содержание атласа, выделенное в особый раздел под названием «Атлас карт, схем и графиков по морфологии дна и динамике русла Нижней Волги», составляют геоморфологические картосхемы участков исследуемых территорий, схемы горизонтальных русловых деформаций за период 1914–2000 гг., космические снимки, выступающие в качестве подложки для геоморфологических карт и схем горизонтальных деформаций русла, эхолот-

ные профили, гидролокационные изображения дна и графики вертикальных деформаций дна за период 1944–1982 гг. для 15 участков русла Нижней Волги от Волгограда до Астрахани. Каждый участок выделен в отдельный подраздел, названный «листом», имеющим свой порядковый номер, отраженный в таком виде в оглавлении. Такие листы содержат от девяти до 23 страниц в зависимости от объема представленного материала.

Для построения графиков вертикальных деформаций дна и схем горизонтальных деформаций русла использовались лоцманские карты 1917–2000 гг. Горизонтальные русловые деформации в пределах каждого участка оценивались за четыре сопоставимых по продолжительности отрезка времени — 1917–1944, 1944–1965, 1965–1982 и 1982–2000 гг., а их интенсивность и направленность определялись путем подсчета площадей размыва коренных берегов, поймы, русловых форм и аккумуляции наносов в виде прирусловых отмелей.

Изображения дна были получены при гидролокационном картировании и сейсмоакустическом зондировании русла Нижней Волги, на основе которых были построены типовые продольные профили русла.

Геоморфологические картосхемы составлены на основе крупномасштабных топографических карт с использованием космических снимков, находящихся в открытом доступе; в морфогенетической легенде генезис рельефа традиционно показан качественным фоном, возраст — геологическими индексами. Для флювиальных форм рельефа была определена зелено-желтая гамма цветов, для морских — сине-фиолетовая, что в целом соответствует легенде геоморфологических карт СССР масштаба 1:50 000–1:25 000. Разновозрастные поймы (от молодой формирующейся Волжской до старой сформировавшейся Волго-Ахтубинской) выделялись на основе данных абсолютного датирования отложений по C_{14} , палеогеоморфологического анализа топографических карт, аэро- и космических снимков и маршрутного полевого геоморфологического картирования.

Опробованные методы разработки содержательного наполнения, структуры, оформления атласа, построения легенды геоморфологических карт были использованы при создании последующих тематических атласов-монографий с учетом имеющегося массива натуральных данных, современных технических и программных возможностей.

Более четко структурированными, по сравнению с первым опытом, стали теоретические части атласов. Если в атласе Нижней Волги (Атлас..., 2009) текст был разделен на две части, названные



Рис. 1. Атласы русловой морфодинамики устьевых областей рек России

Fig. 1. Atlases of channel morphodynamics of estuaries of rivers of Russia

«Предисловием», описывающим природные условия Нижней Волги (климат, геологию, геоморфологию, гидрологический режим и руслообразующие наносы), и «Заключением», где детально рассматриваются русловые деформации по 15 типичным морфодинамическим участкам русла Нижней Волги и дается прогноз переформирования русла на начало XXI в., то в атласе дельты Волги (Атлас..., 2015) текст, помимо краткого вводного «Предисловия», подразделяется на два больших раздела, названных «Природные условия дельты Волги» и «Современная динамика дельты Волги» и состоящих, в свою очередь, из нескольких тематически определенных подразделов. Здесь, в частности, рассматривалась история создания единой водной магистрали, объединяющей водные пути бассейна Волги и Каспийского моря в виде грандиозного гидротехнического сооружения — Волго-Каспийского судоходного канала, одного из крупнейших морских каналов, не имеющего аналогов в мировой практике регулирования морских устьев рек.

Картографический раздел, название которого, «Атлас космических снимков, карт, схем и графиков по геоморфологии и русловой морфодинамике», говорит о его содержании, состоит, как и в первом атласе, из многостраничных листов, названных по имени рассматриваемого речного рукава. Но

в отличие от первого атласа, «космические снимки» вынесены в заглавие разделов. Каждый лист не только открывается большим космическим снимком, демонстрирующим всю означенную территорию, но и содержит более крупномасштабные снимки на отдельные, представленные более подробно ее участки. Для лучшего ориентирования на снимках подписаны названия основных географических объектов (рек, населенных пунктов).

Использование космических снимков, несомненно, стало положительным моментом содержания для всего произведения. Помимо этого, описание каждого участка опиралось на геоморфологическую картосхему, графики морфологии и динамики дна, гидролокационные изображения рельефа дна, видовые фотоснимки.

Независимо от мощной картографической составляющей атласа-монографии, представляющей исследуемую территорию по геоморфологически выделенным участкам, теоретические разделы, рассматривающие всю территорию целиком, включают необходимые графические материалы — обзорные космические снимки и карты, разнообразные схемы, графики, видовые фотографии, не служащие простыми оживляющими текст иллюстрациями, а выполняющие важную смысловую функцию, являясь основой теоретических заключений.

После двух атласов, посвященных одной реке, стало возможным и вполне реальным представить подобным образом гидрологические, гидрографические и геолого-геоморфологические данные, полученные в течение многолетних экспедиций в дельтах рек арктического побережья, Юга и Дальнего Востока России. Понятие «Арктическое побережье» включает весьма разнообразные по природным условиям и истории развития области прибрежной суши и шельфов окраинных морей Северного Ледовитого океана от Кольского полуострова до Чукотского – Белого, Баренцева, Карского, Лаптевых и Восточно-Сибирского. Однако, несмотря на разнообразие, вся эта территория имеет ряд общих черт, позволяющих рассматривать арктическое побережье России как единое целое. Во-первых, северная окраина евразийского материка расположена в одной арктической климатической зоне; во-вторых, крупные реки, дренирующие эту территорию, принадлежат одному бассейну – Северного Ледовитого океана; в-третьих, все побережье находится под воздействием таких мощных рельефообразующих факторов, как эвстатические колебания уровня Мирового океана, неоген-четвертичные тектонические движения и наличие криолитозоны. Это позволило объединить в единое произведение «Морфодинамика устьевых систем крупных рек арктического побережья России» (Атлас, 2017) дельты Онеги, Северной Двины, Мезени, Печоры, Оби, Таза и Пура, Енисея, Пясины, Хатанги, Анабара, Оленёка, Лены, Яны, Индигирки, Колымы. Под «устьевой геоморфологической и осадочной системой реки» понимается устьевой конус выноса, сформированный рекой за последние 5–7 тыс. лет в период стабилизации постледниковой трансгрессии Мирового океана, когда большинство речных долин в их низовьях были превращены в ингрессионные заливы. За это время здесь сформировался комплекс субаэральных и субаквальных аллювиально-дельтовых и прибрежно-морских аккумулятивных и эрозийных форм рельефа, слагающих их отложений и система взаимосвязанных водотоков (Коротаев, 1991, 2012). Верхней границей устьевой системы считается вершина позднеголоценового ингрессионного залива (эстуария, лимана или устьевой лагуны). За нижнюю границу устьевой системы принимается подводное окончание устьевого конуса выноса (авандельты), обычно совпадающее с морским склоном внешнего устьевого бара или зоной современного морского барообразования.

В устьях крупных рек, впадающих в окраинные моря арктического побережья России, были сформированы различные морфогенетические

типы устьевых систем: эстуарные (Онега, Мезень, Кулой), эстуарно-дельтовые (Печора, Обь, Енисей, Хатанга, Анабар, Колыма), лагунно-дельтовые (Северная Двина, Яна, Индигирка) и дельтовые (Оленёк, Лена), отличающиеся как геоморфологическим и геолого-литологическим строением, так и особенностями процессов дельтообразования. Для атласа были составлены геоморфологические карты устьевых систем 15 наиболее крупных рек арктического побережья России от Онеги до Колымы по единой генетико-возрастной легенде, разработанной при участии профессора Г.И. Рычагова. Картографической основой для геоморфологических карт служили топографические карты масштабов 1:100 000 и 1:200 000 и фрагменты космических снимков Landsat-7 и снимков с сайта Google Планета Земля. Абсолютный возраст аллювиально-дельтовых отложений определялся по радиоуглеродной методике C_{14} , генезис отложений – при помощи спорово-пыльцевого и палинологического анализа; литология дельтовой поймы исследовалась во время полевых маршрутных геоморфологических работ. В итоге характеристика каждой устьевой системы сложилась из краткого текстового комментария, содержащего общие физико-географические сведения о территории и самом объекте исследования, и ряда графических материалов, основным из которых является геоморфологическая картосхема устьевой системы, а также обзорный космический снимок в натуральной цветопередаче, картосхемы грунтов, русловых наносов, горизонтальных деформаций русел, графики морфологии и динамики рельефа дна, видовые фотографии.

Следующим стал атлас «Геоморфология устьевых систем крупных и малых рек Юга и Дальнего Востока России» (Атлас..., 2020), открывающийся, по традиции, научным обзором природных условий южных и восточных побережий России, включающим описание геологического строения и рельефа побережий, историю формирования устьевых систем, гидрологический режим крупных рек рассматриваемых регионов. Картографическая часть отличается компоновкой от предшествующих изданий. Здесь представленные устьевые системы объединены в разделы по бассейнам Азовского, Каспийского (рис. 2), Охотского морей и озера Байкал. Эти разделы отделяются друг от друга шмуцтитлами с названием раздела и видовой фотографией названного побережья. Информационную основу раздела составляют гидрологические, гидрофизические, геофизические, геолого-геоморфологические данные и материалы многолетних полевых работ

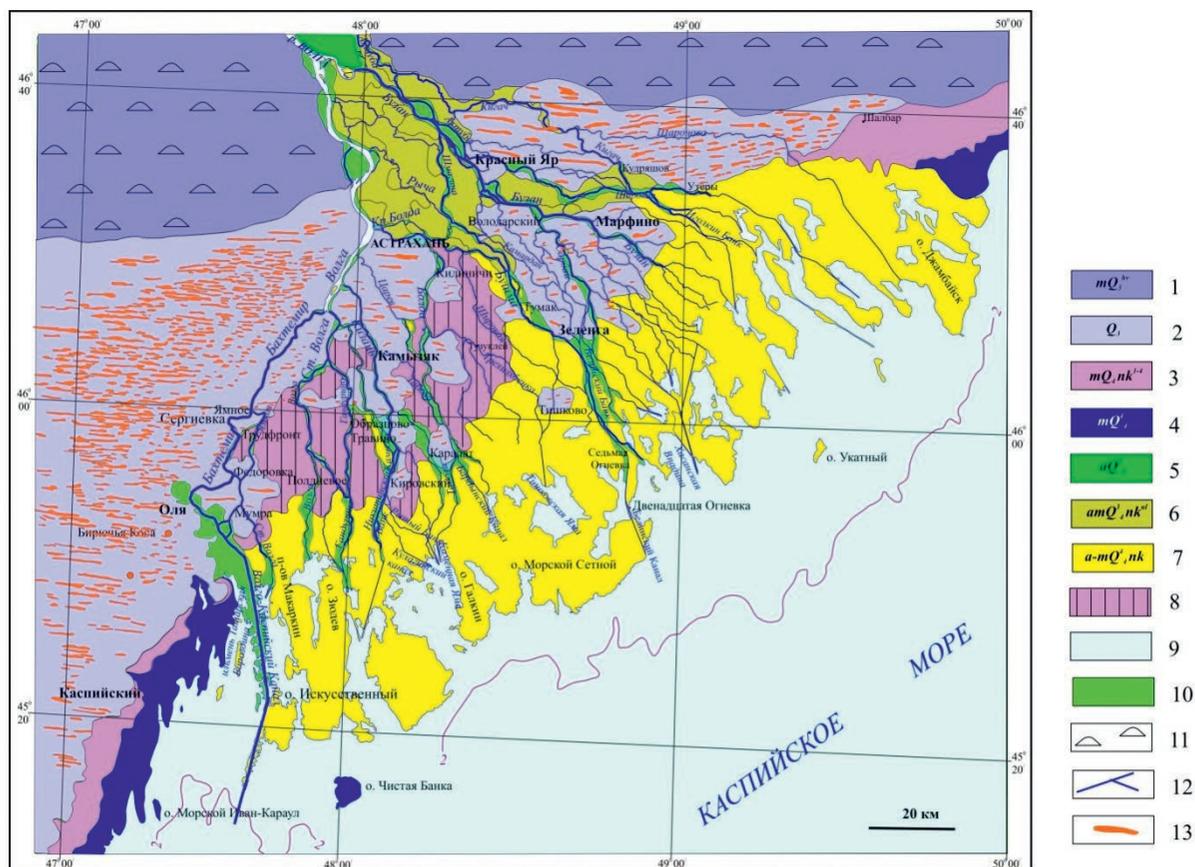


Рис. 2. Образец геоморфологической карты — геоморфологическая карта дельтовой системы Волги (Атлас, 2020): 1 — позднехвалынская морская равнина; 2 — новокаспийская морская равнина в зоне Бэровских бугров; 3 — новокаспийская морская абразионная терраса; 4 — современная морская терраса (после 1929 г.); 5 — Волго-Ахтубинская пойма; 6 — Уллучайская дельтовая равнина; 7 — современная дельта (не более 200 лет); 8 — участки цокольной дельтовой равнины; 9 — водные объекты; 10 — современная речная пойма; 11 — бугристые пески; 12 — гидрографическая сеть и каналы; 13 — Бэровские бугры

Fig. 2. Sample geomorphological map — geomorphological map of the Volga delta system (Atlas, 2020): 1 — the Late Khvalyn sea plain; 2 — the New Caspian sea plain in the zone of the Barovsky hills; 3 — the New Caspian sea abrasive terrace; 4 — the modern sea terrace (after 1929); 5 — the Volga-Akhtuba floodplain; 6 — Ulluchai delta plain; 7 — modern delta (no more than 200 years old); 8 — sections of the basement delta plain; 9 — water bodies; 10 — modern river floodplain; 11 — bumpy sands; 12 — hydrographic network and channels; 13 — Barovsky hills

в устьях крупных рек, разновременные картографические и космические источники. Методы составления карт базируются на применении апробированных приемов геоморфологического картографирования и палеогеоморфологического анализа дельтовых равнин, а также современных геоинформационных технологий.

В 2021 г. было завершено составление последнего в серии атласа-монографии «Геоморфология морских берегов и устьевых систем рек Чукотки и Корякского нагорья» и подготовлен в электронном виде его издательский макет. Как и предыдущие произведения, атлас состоит из тек-

стовой и картографической частей. В тексте дается подробная характеристика природных условий побережий Чукотки и Корякского нагорья (геологическое строение и рельеф, мерзлотные условия, гидрологический режим рек, моря и типы берегов), описываются природные особенности формирования побережий Чукотки и Корякского нагорья. В атласе помещен также материал по строению рельефа берегов. Картографическая составляющая атласа, знакомящая с 32 наиболее характерными участками побережья, представляет их с помощью космического снимка из системы Google Earth и геоморфологической карты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все опубликованные и подготовленные к изданию атласы-монографии представляют собой специальные тематические научно-справочные произведения, где в красочной и доступной для широкого круга читателей форме обобщен огромный натурный материал по геологии, геоморфологии, гидрологии и геофизике эстуариев и дельт крупных рек, впадающих в окраинные и внутренние моря России.

БЛАГОДАРНОСТИ

Выполнено по планам НИР (ГЗ) Научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Атлас русловой морфодинамики Нижней Волги (Волгоград–Астрахань) / Под ред. В.Н. Коротаева, Д.Б. Бабича, Р.С. Чалова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2009. 232 с.

Атлас дельты Волги: геоморфология, русловая и береговая морфодинамика / Отв. ред.: В.Н. Коротаев, Г.И. Рычагов, Н.А. Римский-Корсаков. М.: АПР, 2015. 128 с.

Атлас: морфодинамика устьевых систем крупных рек арктического побережья России / Отв. ред.: В.Н. Коротаев, Г.И. Рычагов, Н.А. Римский-Корсаков. М.: АПР, 2017. 148 с.

Атлас: геоморфология устьевых систем крупных и малых рек Юга и Дальнего Востока России / Отв. ред.: В.Н. Коротаев, Г.И. Рычагов, Н.А. Римский-Корсаков. М.: ИД Академии им. Жуковского. 2020. 152 с.

Коротаев В.Н. Геоморфология речных дельт. М.: Московский университет, 1991. 212 с.

Коротаев В.Н. Очерки по геоморфологии устьевых и береговых систем (Избранные труды). М.: Географический ф-т МГУ, 2012. 540 с.

ОБ АВТОРАХ

Коротаев Владислав Николаевич – ведущий научный сотрудник НИЛ эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, доктор географических наук, доцент, г. Москва, vlaskor@mail.ru

Чалова Екатерина Романовна – ведущий инженер Лаборатории аэрокосмических исследований географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, кандидат географических наук, г. Москва, ekar28@yandex.ru

METHODOLOGY FOR PREPARING SPECIAL GEOGRAPHICAL ATLASES ON CHANNEL MORPHODYNAMICS AND GEOMORPHOLOGY OF ESTUARINE RIVER SYSTEMS IN RUSSIA

V.N. Korotaev, E.R. Chalova

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography

vlaskor@mail.ru, ekar28@yandex.ru

Annotation. The article discusses the methodology of compiling highly specialized thematic geographical atlases. The need for this arose when trying to present in print a huge field material of the expeditionary work of the N.I. Makkaveev Scientific Research Laboratory of Soil Erosion and River Channel Processes of the Lomonosov Moscow State University Faculty of Geography and the Laboratory of Bottom Sonar of the P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, conducted jointly in estuaries and river deltas on the coasts of marginal and inland seas of Russia during the period 1969–2015. In total, five atlases were compiled, and four were published. When creating the atlases, developments in the content, structure, design of the atlas, and the construction of a legend of geomorphological maps were used, taking into account the available array of field data, modern technical and software capabilities. In each atlas, cartographic and special illustrative content was represented by geomorphological maps, satellite images, diagrams of horizontal channel deformations, echo-sounder profiles and sonar images for selected areas. Each section represented a separate subsection, called a "sheet", which had its own serial number and was reflected in the table of contents. Geomorphological cartographs were compiled

on the basis of large-scale topographic maps using satellite images that are publicly available. The genesis of the relief has traditionally been shown by a qualitative background, and the age by geological indexes. All monograph atlases published and prepared for publication are special thematic scientific reference works, which summarize in a colorful and accessible form the vast natural material on geology, geomorphology, hydrology and geophysics of estuaries and deltas of large rivers flowing into the marginal and inland seas of Russia.

Keywords: mouth, estuary, delta, hydrological and morphological processes, channel morphodynamics, geomorphological mapping, thematic atlas

ACKNOWLEDGMENTS

It was carried out according to the plans of the Scientific Research Laboratory of Soil Erosion and Riverbed Processes named after N.I. Makkaveev of Lomonosov Moscow State University.

REFERENCES

Atlas of riverbed morphodynamics of the Lower Volga (Volgograd-Astrakhan) / Edited by V.N. Korotaev, D.B. Babich, R.S. Chalov. Moscow: Publishing House of Moscow University, 2009. 232 p.

Atlas of the Volga Delta: geomorphology, riverbed and coastal morphodynamics / Edited by V.N. Korotaev, G.I. Rychagov, N.A. Rimsky-Korsakov. Moscow: APR, 2015. 128 p.

Atlas: morphodynamics of estuarine systems of large rivers of the Arctic coast of Russia / Ed. by V.N. Korotaev, G.I. Rychagov, N.A. Rimsky-Korsakov. Moscow: APR, 2017. 148 p.

Atlas: geomorphology of estuarine systems of large and small rivers in the South and Far East of

Russia / Editors: V.N. Korotaev, G.I. Rychagov, N.A. Rimsky-Korsakov. Moscow: Publishing House of the Zhukovsky Academy. 2020. 152 p.

Korotaev V.N. Geomorphology of river deltas. Moscow: Moscow University, 1991. 212 p.

Korotaev V.N. Essays on the geomorphology of estuarine and coastal systems (Selected works). Moscow: Geographical Faculty of Moscow State University, 2012. 540 p.

ABOUT THE AUTHORS

Korotaev Vladislav Nikolaevich – leading researcher of the Makkaveev Research Laboratory of Soil Erosion and River Channel Processes of Lomonosov Moscow State University, DSc (doctor of science in Geography), Moscow, vlaskor@mail.ru

Chalova Ekaterina Romanovna – leading engineer of the Aerospace Research Laboratory of Lomonosov Moscow State University, Candidate of Geographical Sciences, Moscow, ekar28@yandex.ru