

ISSN 0869-6071

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
РУССКОЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО



# ИЗВЕСТИЯ РУССКОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА

апрель–июнь

Том 155. Вып. 2

2023



# СОДЕРЖАНИЕ

---

Том 155, номер 2, 2023

---

|                                                                                                                                                                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Стохастические факторы формирования внезапных ливневых паводков на Черноморском побережье Западного Кавказа и Крыма<br><i>Л. В. Куксина, П. А. Белякова, В. Н. Голосов, Е. Ю. Жданова, М. М. Иванов, А. Л. Гуринов</i>                                 | 3   |
| Расчет сезонной эрозии на береговых откосах реки Оки с помощью геодезических методов<br><i>А. Ю. Воробьев, А. С. Кадыров, Д. С. Локтеев, Е. В. Бургов, А. А. Балобина</i>                                                                              | 25  |
| Морфология и история развития долин верхней Камы и Колвы в позднеледниковье и голоцене<br><i>А. В. Чернов, Н. Н. Назаров</i>                                                                                                                           | 44  |
| Социально-экологические аспекты в геоэкологической оценке добычи нерудных строительных материалов в русле р. Оки<br><i>В. П. Бондарев, А. О. Загоревская, М. Б. Мякишева, Л. А. Турыкин</i>                                                            | 57  |
| Сток наносов рек бассейна Алдана и горнодобывающая деятельность<br><i>Д. В. Магрицкий</i>                                                                                                                                                              | 73  |
| Трансформация речных русел в процессе их саморазвития и влияния естественных и антропогенных изменений факторов русловых процессов<br><i>Р. С. Чалов, А. А. Куракова, Г. Б. Голубцов, А. С. Завадский</i>                                              | 88  |
| Малые и средние озера: характеристики их функционирования в настоящее время и методические вопросы оценки их рекреационного потенциала (на примере озер по территории Республики Башкортостан)<br><i>А. М. Гареев, Е. Н. Сайфуллина, Э. М. Галеева</i> | 109 |

---

УДК 556.12;551.579.4

## СТОХАСТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ВНЕЗАПНЫХ ЛИВНЕВЫХ ПАВОДКОВ НА ЧЕРНОМОРСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ ЗАПАДНОГО КАВКАЗА И КРЫМА

© 2023 г. Л. В. Кукулина<sup>а, \*</sup>, П. А. Белякова<sup>б, \*\*</sup>, В. Н. Голосов<sup>а, \*\*\*</sup>,  
Е. Ю. Жданова<sup>а, \*\*\*\*</sup>, М. М. Иванов<sup>а, с, \*\*\*\*\*</sup>, А. Л. Гуринов<sup>с, \*\*\*\*\*</sup>

<sup>а</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (МГУ), Москва, Россия

<sup>б</sup>Институт водных проблем РАН, Москва, Россия

<sup>с</sup>Институт географии РАН, Москва, Россия

\*E-mail: ludmilakuksina@gmail.com

\*\*E-mail: pobel@mail.ru

\*\*\*E-mail: gollossov@gmail.com

\*\*\*\*E-mail: ekaterinzhdanova214@gmail.com

\*\*\*\*\*E-mail: ivanovm@bk.ru

\*\*\*\*\*E-mail: gurinov.artem@gmail.com

Поступила в редакцию 24.02.2023 г.

После доработки 05.04.2023 г.

Принята к публикации 02.06.2023 г.

Внезапные ливневые паводки (ВЛП) являются одними из наиболее опасных гидрометеорологических явлений в мире. В представленной работе рассматриваются основные стохастические параметры формирования ВЛП на примере событий, произошедших в 1990–2021 гг. в малых речных бассейнах Черноморского побережья Кавказа и Крыма. Установлено, что основным фактором формирования ВЛП является выпадение осадков редкой повторяемости, однако в ряде случаев возникновение ВЛП может быть связано с комбинацией нескольких параметров, не достигших критических значений. ВЛП в исследуемом регионе формируются в летне-осенний период с максимумом зафиксированных случаев в августе и характеризуются очень высокими скоростями роста уровней воды (1.2–1.3 м/ч), а сток наносов за одно событие может быть сопоставим со среднегодовыми значениями. Статистический анализ продолжительных рядов наблюдений за осадками в регионе позволил сделать предположение о более частом возникновении ВЛП по сравнению с числом зафиксированных и описанных случаев.

**Ключевые слова:** внезапный ливневый паводок (ВЛП), ливневые осадки, интенсивность, малый речной бассейн, Черноморское побережье, Кавказ, Крым

**DOI:** 10.31857/S0869607123020064, **EDN:** ADZFLS

### ВВЕДЕНИЕ

Внезапные ливневые паводки (ВЛП) являются одними из наиболее опасных стихийных гидрометеорологических явлений в мире [42, 54]. Выполненные исследования показывают, что ВЛП характеризуются наивысшей средней смертностью среди паводков других типов [46, 54]. Тем не менее, в российской гидрологии специальный термин впервые был применен после наводнения в Крымске в 2012 г. [1, 8, 21, 23, 60], и до сих пор отсутствует четкая система критериев, позволяющая отделить ВЛП от се-

лей и других опасных явлений подобного типа [23]. Этот факт, наряду с практически полным отсутствием публикаций, освещающих ВЛП в Восточной Европе, на английском языке, приводит к тому, что многие события такого типа до сих пор не находят отражения в общемировых базах данных [56, 67], хотя ежегодно сообщается о наводнениях на Черноморском побережье Кавказа (ЧПК) [3, 23, 39].

ВЛП обычно определяется как быстроразвивающийся паводок (в течение 3–6 ч) после спровоцировавшего его ливня (или другой причины) и, как правило, происходит в горных районах [23, 54, 69]. ВЛП представляет собой комплексное явление, возникновение, развитие и последствия которого обусловлены взаимодействием гидрометеорологических, литолого-геоморфологических и антропогенных факторов [23].

Наиболее часто ВЛП возникают в северном полушарии в зонах субтропического, тропического и экваториального климатов [23], однако в последние десятилетия их частота и интенсивность возрастает в районах, для которых ранее подобные явления не были характерны [40]. При этом систематические наблюдения за формированием ВЛП по существу не проводятся ввиду труднодоступности горных речных бассейнов, сложности проведения натурных гидрологических измерений в период прохождения ВЛП и частой приуроченности зон их зарождения к малым водосборам (площадью менее 100 км<sup>2</sup> [47]), а также высокой пространственно-временной изменчивости ливней, особенно в горных и предгорных районах. Известные на данный момент обобщения, касающиеся оценки условий возникновения и повторяемости ВЛП, обычно приурочены к отдельным регионам Европы и США [45, 47, 59].

Наиболее изменчивыми факторами формирования и развития ВЛП являются метеорологические параметры, в первую очередь, такие как количество и интенсивность ливневых осадков и их продолжительность [42]. Изменение климатических условий, постепенный рост температуры воздуха, способствующий возрастанию интенсивности таяния льда и снега в горах, а также увеличение слоя, повторяемости осадков высокой интенсивности происходит с середины 1970-х годов [14, 50, 51, 63], что в свою очередь оказывает влияние на проявление внезапных ливневых паводков, селей, оползней, прорывов горных озер [23, 61, 62].

В частности, трансформация атмосферной циркуляции, приводит к увеличению выходов черноморских циклонов на побережье Кавказа, что способствует увеличению повторяемости экстремальных осадков [20]. Согласно последним докладом, посвященным особенностям климата и климатических рисков на территории Российской Федерации, в последние десятилетия отмечается рост неблагоприятных и опасных гидрометеорологических явлений, а экстремальные погодные явления являются наиболее вероятными среди глобальных рисков, с которыми сталкивается человечество [52].

Районирование мировых событий [23, 56] позволяет предположить, что на северном побережье Черного моря и на некотором удалении от него наиболее подверженными возникновению ВЛП являются речные водосборы, расположенные в горах и предгорьях Крыма и Западного Кавказа. Помимо климатических характеристик, формированию ВЛП в регионе способствуют также особенности строения речных водосборов — вытянутая по длине конфигурация большей части бассейнов, способствующая быстрому добеганию склонового стока до основного русла, и значительные уклоны благоприятствуют крайне быстрому формированию стока. Исследования климатических изменений на территории ЧПК [66] и Крымского полуострова [22, 28, 71, 72] указывают на рост температуры воздуха, а для ряда районов отмечается рост индексов экстремальности осадков. Это, несомненно, должно найти свое отражение в характере проявления ВЛП на исследуемой территории. Нередко ВЛП становятся причиной человеческих жертв на севере Черноморского побережья [3, 11, 15, 16], где последние мощные паводки в результате выпадения ливней наблюдались в июне 2022 г. Важным фактором роста социально-экономического ущерба вследствие прохождения ВЛП на север-

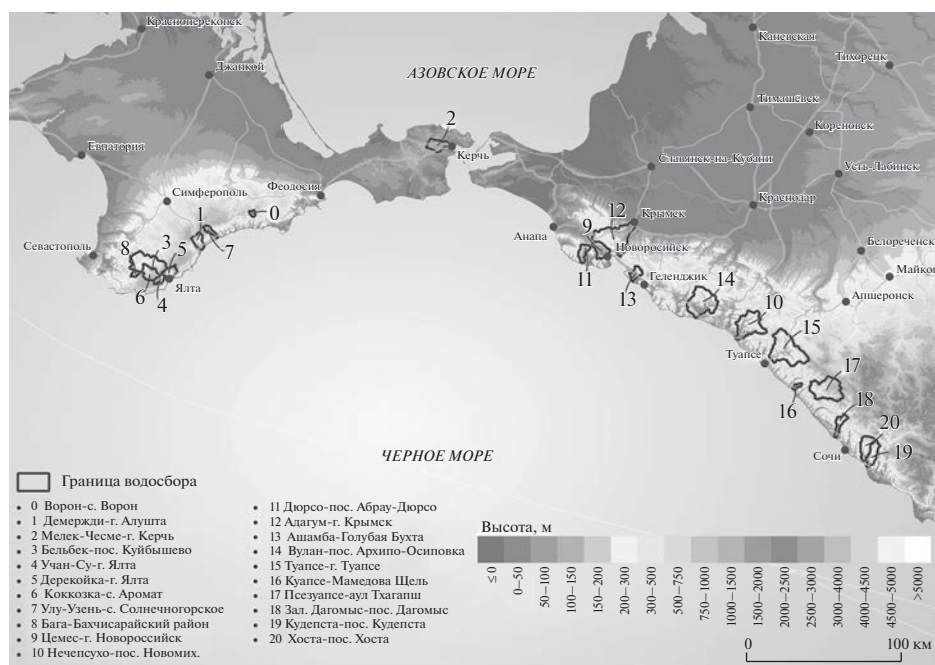


Рис. 1. Изучаемые бассейны рек Западного Кавказа и Крыма.

Fig. 1. The studied area of the Western Caucasus and Crimea.

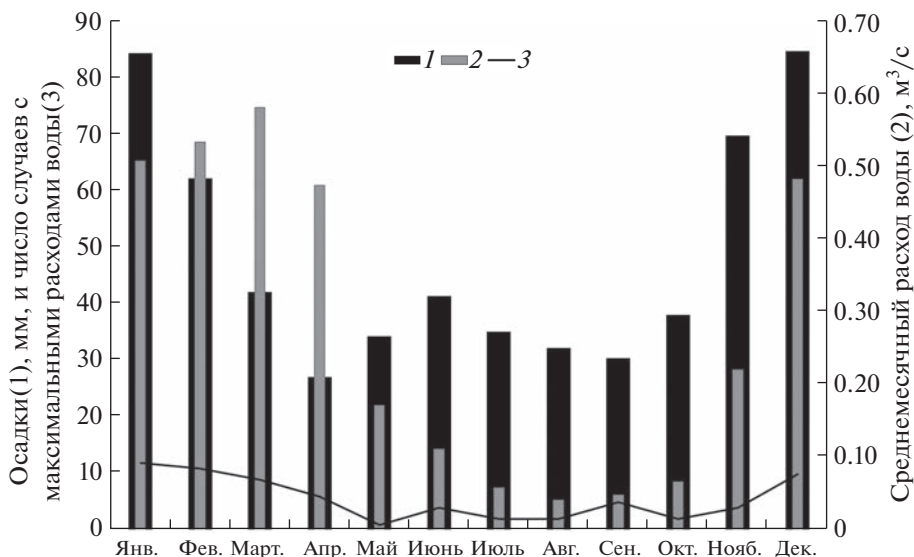
ном побережье Черного моря является неконтролируемая хозяйственная деятельность, что в частности, проявляется в несанкционированном застраивании речных пойм, отсутствии дренажных систем у жилых домов, зарастании и засорении русел [2, 7, 15, 20, 37].

В связи с этим основной задачей данного исследования является анализ стохастических факторов формирования ВЛП, зафиксированных в речных бассейнах Черноморского побережья Западного Кавказа и Крыма, а также изучение их наиболее неблагоприятных сочетаний.

## РЕГИОН ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследуемая территория включает в себя бассейны рек, впадающих в Черное море от р. Кудепста (19 на рис. 1) на востоке до р. Дюрсо (11 на рис. 1) на западе ЧПК (исключение — р. Адагум (12 на рис. 1), относящаяся к бассейну р. Кубань) и реки Керченского полуострова и Южного берега Крыма (ЮБК) (см. рис. 1). Бассейны рек расположены в зонах умеренного и субтропического климатов и могут быть разделены на районы влажных (Туапсе—Сочи) и сухих (р. Ашамба (13 на рис. 1), Алушта—Ялта) субтропиков, что сказывается на условиях формирования ВЛП, в том числе через предшествующее увлажнение почвенного покрова.

Среднегодовое количество осадков на ЮБК меняется от 600 мм (Ялта) до 1000 более мм (Ай-Петри) и составляет порядка 450 мм (Керчь) на территории Керченского полуострова. Максимальное суточное количество осадков, способствующее формированию ВЛП, выпадает в наиболее высокогорных областях Крыма и может превы-



**Рис. 2.** Внутригодовое распределение среднего количества осадков, расходов воды и суммарного числа случаев максимальных внутригодовых расходов воды в р. Учан-Су – Ялта в 1946–2016 г. 1 – количество осадков, мм, 2 – расход воды, м³/с, 3 – число случаев максимальных расходов воды в течение года.

**Fig. 2.** Mean month distribution of precipitation, water discharge and total number of cases with annual maximum water discharge in the Uchan-Su Riv. – Yalta in 1946 – 2016. 1 – precipitation, mm, 2 – water discharge, m³ s⁻¹, 3 – number of cases with maximum water discharge within the year.

шать 200 мм/сут, эта величина снижается до 100–120 мм/сут в предгорьях [22] и достигает 100–160 мм/сут на Керченском полуострове.

Среднегодовое количество осадков на ЧПК увеличивается от 537 мм (Анапа) до 1626 мм (Сочи) в направлении с северо-запада на юго-восток и изменяется с ростом высоты (местоположение метеостанций см. на рис. 1).

Согласно данным стационарных наблюдений на гидрологических постах, внутригодовое распределение стока вполне соответствует распределению количества осадков – повышенные расходы воды наблюдаются в холодный период года (декабрь–апрель), теплый период (с мая по ноябрь) характеризуется низкой меженью (вплоть до полного пересыхания водотоков), прерываемой кратковременными паводками, связанными с выпадением ливневых осадков (рис. 2). Аналогичная тенденция характеризует распределение наблюдаемых максимальных расходов воды в течение года (см. рис. 2).

Однако, несмотря на характерное среднемноголетнее распределение расходов воды в течение года согласно данным стационарных наблюдений, максимальные расходы воды и наиболее разрушительные ВЛП происходят в летне-осенний период, что соответствует увеличению экстремальности дождей осадков в указанный период [3, 20]. Осадки холодного времени года характеризуются меньшей интенсивностью и большей продолжительностью, что существенно снижает вероятность возникновения крупных ВЛП. Следует учитывать, что часть ВЛП не фиксируется ввиду сложности проведения натурных наблюдений непосредственно в период их прохождения. Водные смерчи, иногда выступающие специфическим фактором формирования ВЛП в бассейнах малых рек на ЧПК и в Крыму, также формируются в летне-осенний период

[6]. Максимальные расходы воды ВЛП могут превышать среднегодовые расходы воды в 200–400 раз [26]. Как правило, максимальные расходы наносов также формируются в это время.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Выявление ключевых факторов возникновения ВЛП производилось на основе анализа сведений о ВЛП, прошедших в различных регионах мира.

Статистический анализ данных о ВЛП в мире за 1985–2018 гг. показывает, что основной причиной их формирования (в 95% случаев) являются интенсивные осадки небольшой продолжительности [56]. Данный вывод соответствует результатам, полученным для речных бассейнов на территории Европы [59]. Согласно [47], площадь бассейна не превышает 1000 км<sup>2</sup>, а продолжительность осадков, предшествующих ВЛП, не более 34 ч, однако в ряде случаев допускаются исключения [59].

Климат и рельеф являются основными условиями, определяющими возможность формирования ВЛП. Согласно анализу данных из источника [67], дополнительным критерием определения ВЛП может являться значительный социально-экономический ущерб. Таким образом, оказалось возможным очертить примерный диапазон характеристик события, позволяющий отнести его к ВЛП: 1) малая площадь водосбора, способствующая быстрой концентрации стока в русле; 2) выпадение интенсивных осадков малой продолжительности; 3) расположение речного бассейна в горных или предгорных районах в зонах субтропического или умеренного климатов. Речные бассейны Черноморского побережья РФ соответствуют данным критериям наилучшим образом. Алгоритм отбора данных по этим признакам для анализа характеристик ВЛП на исследуемой территории состоял из следующих шагов с привлечением ряда источников информации:

1. Предварительный отбор речных бассейнов зачастую основан на анализе информации из СМИ, дающей первое представление о возникновении ВЛП, его масштабах, социально-экономическом эффекте и размерах ущерба. Для более глубокого анализа далее рассматривались другие публикации, включая научные. Кроме того, данные СМИ привлекались при анализе длительных рядов осадков, когда экстремальные дожди провоцировали возникновение разрушительных ВЛП, однако данные события лишь упоминались в местных новостных источниках без анализа основных характеристик ВЛП.

2. После первичного анализа информации из СМИ, подбирались научные публикации по теме исследования, в частности, касающиеся описания конкретных событий и обобщения собранных ранее сведений о прошедших в регионе событиях (наводнениях, селях). Как правило, информация, которая относится к наводнениям на территории Краснодарского края, приводится в виде списка зафиксированных событий с краткой обобщенной характеристикой отдельных факторов (например, количества выпавших осадков на разных постах, подъема уровня и генезиса события [10], сведениях о максимальных расходах различной обеспеченности [2]. Для Крымского полуострова имеются довольно ограниченные сведения в формате обобщающих работ, включающих сведения о селях и паводках [18, 19, 26]. Опубликованные данные по отдельным зафиксированным событиям, выполненные по результатам описания прошедших крупных паводков [3, 12, 27, 31, 41, 55].

3. Анализ доступных данных стационарных наблюдений. Анализ суточных данных об осадках, гидрографов стока на постах позволил выявить некоторые случаи интенсивного роста уровней воды в регионе.

4. Самостоятельно собранные данные в результате проведения полевых работ на реках, где фиксировались ВЛП. Подобные работы были проведены в бассейнах рр. Ашамба, Хоста, Мелек-Чесме, Ворон, Демерджи с целью описания характерных и специфических

черт бассейнов, где возникают ВЛП, а также выявления последствий паводков на местности.

Поскольку основным стохастическим фактором формирования ВЛП являются осадки высокой интенсивности, но относительно небольшой продолжительности, а также предшествующая увлажненность в бассейне, выполнялась оценка данных параметров для отдельных известных случаев ВЛП. Для каждого из этих ВЛП оценивалась повторяемость осадков, спровоцировавших паводок, а за предшествующий период (5–10–20–30 сут.) оценивалось предшествующее увлажнение в бассейне. На основе данных о суточных суммах осадков на метеорологических станциях, выявлялись тенденции (или их отсутствие) в изменчивости количества осадков, их максимума, в индексах экстремальности осадков, представленные в работе [50]. Оценка проводилась для метеорологических станций Керчь, Сочи, Туапсе, Анапа, данные по которым доступны на ресурсе [30]. В связи с высокой пространственно-временной изменчивостью характеристик осадков, особенно в горных и предгорных районах, дополнительно привлекались оценки суточных сумм осадков по спутниковым измерениям IMERG с разрешением около 10 км [49] для теплого периода май–октябрь, 2001–2020 гг. Экстремальное количество осадков оценивалось 0.99 квантилем. По спутниковым данным рассчитывались осадки, выпавшие внутри границ водосбора. Если в водосбор попадала больше, чем одна точка, то рассчитывались для каждого дня среднее значение.

Верификация данных дистанционного зондирования IMERG по осадкам для Крымского полуострова представлена в работе [4]. Отмечается повышение ошибки восстановления количества осадков в прибрежных районах, а также сглаживание суточных пиков осадков, вместе с тем отмечается, что качество данных IMERG превосходит качество данных одного из альтернативных источников E-OBS и применимо для анализа осадков в горных районах.

При характеристике прошедших ВЛП на Черноморском побережье важной задачей являлась оценка максимальных расходов на различных замыкающих створах. Максимальные расходы воды экстремальных быстроразвивающихся паводков оценивают косвенными методами по меткам уровней высоких вод [25]. Прямые измерения даже в створах гидрологических постов обычно невозможны, поскольку оборудование гидрологических постов оказывается затоплено или повреждено из-за воздействия потока (пост был частично разрушен в г. Крымск в 2012 г., в г. Туапсе при каждом сильном наводнении сносит оборудование поста (1991, 2010, 2018)) и измерения контактным способом становятся опасными для наблюдателя. Бесконтактные методы измерения уровней начали применяться на водотоках исследуемой территории, однако такие данные часто содержат ошибки и требуют тщательной проверки их надежности. Определение максимальных расходов выполняют по методике [53]. После паводка проводится гидрографическая съемка по определению отметок поперечного сечения, меток наивысших уровней воды, локальных уклонов водной поверхности и оценка характеристик шероховатости потока [58, 64]. Оценки максимальных расходов выполняются по этому методу, как в створах гидрологических постов, так и в неизученных местах. После исторических наводнений дополнительно проводятся подробные полевые гидрографические обследования вдоль течения основных притоков и в верховьях рек. Оценки максимальных расходов воды для разных створов внутри бассейна опубликованы для наводнений на р. Туапсе в 1991, 2010 гг. [27] и на р. Адагум в 2012 г. [12].

Обработка данных, собранных таким образом для событий на территории речных бассейнов исследованной части Черноморского побережья (рис. 1), осуществлялась в следующей последовательности:

1. Подготовлена таблица стохастических характеристик для ВЛП, прошедших в речных бассейнах в 1990–2021 гг. Заполнение всех обозначенных в таблице характеристик для событий осуществлялось: 1) с использованием опубликованной информа-

ции, 2) на основе анализа данных об осадках, сформировавших, а также предшествующих ВЛП, 3) с расчетом максимальных расходов воды в замыкающих створах;

2. Анализ характеристик (в том числе: определение обеспеченности, продолжительности и максимальной интенсивности осадков, спровоцировавших ВЛП; анализ сезонной повторяемости ВЛП; оценка предшествующих ВЛП осадков; анализ интенсивности подъема уровня воды; продолжительности ВЛП; оценка максимальных расходов воды для разных замыкающих створов).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Особенности формирования ВЛП рассмотрены на примере данных, собранных для 22 ВЛП, зафиксированных на севере Черноморского побережья в период 1990–2021 гг., включая сведения о динамических параметрах, описанных с разной степенью подробности. Стохастические факторы и их комбинации (рис. 3) играют ключевую роль в формировании ВЛП на фоне относительно стабильных консервативных параметров, характеризующих речные бассейны. Наиболее частой причиной формирования ВЛП являются дожди редкой повторяемости [56]. В этом случае другие факторы способны оказывать воздействие на мощность ВЛП, причиной возникновения явления они не являются. Иная картина наблюдается при выпадении дождей относительно частой повторяемости, когда формирование ВЛП зависит от предшествующего состояния подстилающей поверхности и особенностей регулирования водотока, когда в зависимости от характеристик почвы играет роль ее предшествующая увлажненность [31], а особенности регулирования (антропогенного или естественного происхождения) оказывают ключевую роль в характере роста уровня воды. Стоит отметить, что относительно небольшие осадки могут потребовать сброса воды из регулирующего водоема во избежание перелива и размыва плотины (например, в Ялте в 2021 г., в Алуште в 2017 г.), а также спровоцировать прорыв (разрушение) временной плотины, переполнение и последующую разгрузку карстовых полостей, являющихся типичным явлением на исследуемой территории, а также размыв временных плотин, образованных в результате засорения русла [9, 17, 48]. К сожалению, объем собранной информации не позволяет выполнить распределение всех зафиксированных событий по различным группам, однако для некоторых из выделенных на схеме случаев формирования ВЛП приведены конкретные примеры (см. табл. 1). На схеме, приведенной ниже (см. рис. 3), все события обозначены как ВЛП, поскольку мы считаем, что на начальном этапе формирования ВЛП и сель трудно разделимы. При этом необходимо помнить, что разделение этих очень похожих событий является крайне актуальной задачей, поскольку они могут трансформироваться одно в другое [3], и до сих пор бывает сложно определить из описаний, какое именно событие имело место. Нередко ВЛП рассматриваются в рамках изучения селевых паводков [32], селей [34] или же рассматриваются как наводнения смешанного типа при типизации наводнений [37].

## ОБСУЖДЕНИЯ

Анализ сезонного распределения ВЛП в 1990–2021 гг. показывает, что события происходят в летне-осенний период с максимум случаев в августе (рис. 4). Данное распределение в общем соответствует общей тенденции для рек Северного полушария [23] и повторяемости наиболее катастрофических наводнений на Северном Кавказе [37]. Распределение случаев возникновения ВЛП не соответствует внутригодовому распределению осадков, однако отражает особенности формирования экстремальных дождей в теплый период года в изучаемом регионе [37].

Количество осадков, выпадавших за период ВЛП для исследуемого региона колеблется в пределах 65.6 (Хоста, 17 августа 2019 г.)–429 (Геленджик 6–7 июля 2012 г.) мм, и практически во всех случаях соответствует очень низкой обеспеченности (менее



**Таблица 1.** Наиболее крупные ВЛП на севере Черноморского побережья и их основные параметры в 1990–2021 гг.  
**Table 1.** The most significant flash floods in the north of the Black Sea Coast and their main factors in 1990–2021

| Дата               | Регион | Осадки, мм    | Река               | Площадь водосбора, км <sup>2</sup> | $Q_{\text{пик}}^{\text{длх}}$ , м <sup>3</sup> /с км <sup>2</sup> | Время подъема уровня, ч | Средняя интенсивность роста уровня воды, м/ч | Другие бассейны с ВЛП                            | Ущерб, млрд. руб. | Число жертв            |
|--------------------|--------|---------------|--------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------|------------------------|
| 1 августа 1991     | Кавказ | 68.6–151.2    | Туапсе             | 351                                | 2300* (6.6*)                                                      | 5                       | 1.3                                          | Пишиш, Макопсе, Аше, Песуапсе, Шахе, Лоо и др.   | 0.24              | 27                     |
| 2 сентября 1991    | Крым   | 167           | Ворон              | 10.3                               | 6 (0.6)                                                           | –                       | –                                            | –                                                | –                 | –                      |
| 11 августа 1997    | Крым   | 93.1          | Демерджи           | 53.0                               | 146** (2.8**)                                                     | –                       | –                                            | –                                                | –                 | –                      |
| 22 августа 1997    | Кавказ | 15.1          | Сочи               | 296                                | 990* (3.4*)                                                       | –                       | –                                            | –                                                | –                 | –                      |
| 9 июня 1998        | Крым   | 80.2          | Зап. Дагомыс       | 49.0                               | 511* (10.4*)                                                      | –                       | –                                            | –                                                | –                 | –                      |
| 7–9 августа 2002   | Кавказ | –             | Ворон              | 10.3                               | –                                                                 | –                       | –                                            | –                                                | –                 | –                      |
| 15–16 октября 2010 | Кавказ | 53–101        | Широкая балка      | 32                                 | 1120** (35**)                                                     | 20 min                  | –                                            | Цемес, Дюрсо                                     | 1.5               | 59                     |
| 6 июля 2012        | Кавказ | 156–311       | Туапсе             | 351                                | 1630* (4.6*)                                                      | –                       | 0.32                                         | Вулан, Джубга, Псебе, Нечепсухо, Макопсе         | 2.5               | 17                     |
| 6–7 июля 2012      | Кавказ | 156–311       | Ашамба             | 44.3                               | 200** (4.6**)                                                     | 4–5                     | –                                            | Цемес, Мезыбь                                    | 20                | 16 (1 проп. без вести) |
| 22 августа 2012    | Кавказ | ??            | Адагул в г. Крымск | 328                                | 1350–1500 (4.1–4.6)                                               | –                       | –                                            | –                                                | 1                 | 4                      |
| 25 июня 2015       | Кавказ | 95.5          | Нечепсухо          | 49.0                               | 366 (7.5)                                                         | 3                       | 1.2                                          | Шапсухо                                          | 0.76              | 1                      |
| 19 августа 2017    | Крым   | 108.6         | Зап. Дагомыс       | 98.5                               | 386 (3.9)                                                         | 3                       | 1.3                                          | Сочи, Херота                                     | –                 | –                      |
| 24–25 октября 2018 | Кавказ | 208.9         | Демерджи           | 53.0                               | –                                                                 | 0.3–2                   | –                                            | –                                                | –                 | –                      |
| 25–27 октября 2018 | Кавказ | 77            | Зап. Дагомыс       | 49.0                               | 325 (6.6)                                                         | 3.5                     | 1.2                                          | Сочи, Кулепста, Мзым-та                          | 3.5               | –                      |
| 17–18 июня 2021    | Крым   | 253–362       | Хоста              | 98.5                               | 400 (4.1)                                                         | 6                       | –                                            | Макопсе                                          | –                 | 3 (1 проп. без вести)  |
| 4 июля 2021        | Крым   | 218–362       | Туапсе             | 351                                | 1400 (4.0)                                                        | >10                     | –                                            | –                                                | –                 | 4                      |
| 5–6 июля 2021      | Кавказ | 133.1         | Пишиш              | 710                                | 1860 (2.6)                                                        | –                       | –                                            | Мелек–Чесме, Бельбек, Дерекойка                  | –                 | 2 (1 проп. без вести)  |
| 22–23 июля 2021    | Кавказ | 84.8–113.5    | Учан–Су            | 16.8                               | 43 (2.6)                                                          | –                       | –                                            | Бельбек                                          | –                 | 1                      |
|                    |        | 91.4–246.6    | Коккозка           | 83.6                               | 219 (2.6)                                                         | –                       | –                                            | Псекупс, Афипс, Вулан, Джубга, Шапсухо, Туапсе   | Сочи 0.01         | 2                      |
|                    |        | 142–319 (559) | –                  | –                                  | –                                                                 | –                       | –                                            | –                                                | –                 | 5                      |
|                    |        | 36–145        | –                  | –                                  | –                                                                 | –                       | –                                            | Дагомыс, Сочи, Маце-ста, Хоста, Кулепста, Херота | –                 | 4                      |

\* максимальный расход и соответствующий ему модуль стока, вероятно, завышены \*\* вероятен недоучет осадков на водосборе, а также завышенные оценки расходов воды по меткам высоких вод.

районах, по всей видимости, не дают объективного представления об их изменчивости в бассейне, а также в верхних звеньях флювиальной сети, являющейся зоной зарождения ВЛП. Наиболее частой причиной формирования экстремальных осадков и, соответственно, ВЛП являются блокирующие антициклоны над ЕТР, способствующие интенсификации циклонической деятельности на периферии, что связано с изменениями циркуляции атмосферы в Северном полушарии [20]. К примеру, по этой причине в регионе выпали рекордные осадки 13–16 августа 2021 г. [70]. 17–18 июня, в результате малоподвижного циклона на востоке Черного моря, в ряде районов Крымского полуострова были превышены (Ай-Петри, выпало 4 месячных нормы, исторический максимум превышен более чем в два раза и составил 295 мм) или приблизились к историческим максимумам (Ялта 133 мм при максимуме 135 мм) выпавшие осадки. В Керчи обильные осадки выпадали дважды, причем за сутки 12–13 августа выпало больше осадков (87 мм), чем в разрушительный паводок 17–18 июня (82 мм), однако ущерб был значительно меньше (расчистка русла).

С учетом сведений об осадках, спровоцировавших возникновение ВЛП в речных бассейнах на севере Черноморского побережья, на основе статистического анализа продолжительных рядов наблюдений на стационарных, метеорологических постах Западного Кавказа и Крыма была выполнена оценка повторяемости осадков, способных спровоцировать крупные события на реках исследуемого региона, в период после 1990 г. (табл. 2). Анализ показал, что осадки редкой повторяемости на исследуемой территории фиксируются значительно чаще, чем ВЛП. Всего за период 1991–2020 гг. на метеостанции Туапсе, к примеру, было зафиксировано 44 случая выпадения осадков редкой повторяемости (см. табл. 2), в то время как в бассейне р. Туапсе за этот же период описано всего 3 ВЛП; в Керчи – 33 случая выпадения осадков редкой повторяемости и ни одного ВЛП на р. Мелек-Чесме за этот же период. Это отчасти указывает на степень изученности данных событий. К примеру, на метеостанции в Керчи 16 сентября 2002 г. были зафиксированы осадки еще более редкой повторяемости, чем 17–18 июня 2021 г., однако спровоцированный ими паводок не упоминается в базах данных и научной литературе. Еще один пример – паводок, прошедший в г. Керчь 25 июня 2015 г., – упоминание о нем содержится только в местных новостных источниках. Аналогичная ситуация относится к бассейну р. Туапсе, где 8 июля 2014 г. были зафиксированы осадки 118 мм (повторяемость 0.1%), однако данное событие также нашло отображение только в местных новостных источниках и социальных сетях. Кроме того, значительно большее число случаев выпадения экстремальных дождей по сравнению с зафиксированными ВЛП свидетельствует о большой пространственной неоднородности осадков, когда зафиксированный на метеостанции (как правило, расположенной в нижних частях речных бассейнов) ливень не всегда предполагает выпадение аналогичного количества осадков схожей интенсивности в других частях речного бассейна. Эти особенности указывают на необходимость применения в регионе учащенной сети гидрометеорологических наблюдений, что позволило бы оценивать слой и интенсивность выпадения осадков и их пространственную неоднородность в пределах бассейнов малых рек и достоверно фиксировать связанные с ними резкие подъемы уровней воды.

На основе применения спутниковых данных IMERG, на текущий момент демонстрирующих наилучшее качество среди аналогичных продуктов [4], была выполнена оценка осадков редкой повторяемости (квантиль 0.99) для исследуемых речных бассейнов (табл. 3). Сравнение с данными наземной сети (Сочи и Анапа) показывает, что коэффициент корреляции суточных сумм осадков не превышает 0.5, поэтому нельзя считать спутниковые данные достаточно надежными для оценки характеристик осадков без проведения дополнительной корректировки данных, что согласуется с выводами работы [4].

**Таблица 2.** Повторяемость экстремальных осадков на севере Черноморского побережья  
**Table 2.** Frequency of extreme precipitation in the north of the Black Sea Coast

| Метеостанция   | Период наблюдений | Число случаев выпадения осадков вероятности менее 1% |           |           |
|----------------|-------------------|------------------------------------------------------|-----------|-----------|
|                |                   | Всего                                                | 1961–1990 | 1991–2020 |
| Туапсе         | 1936–2020         | 100                                                  | 34        | 44        |
| Сочи           | 1874–2020         | 195                                                  | 32        | 36        |
| Красная Поляна | 1936–2020         | 146                                                  | 56        | 48        |
| Керчь          | 1936–2020         | 83                                                   | 26        | 33        |
| Ялта           | 1961–1990         | 25                                                   | 25        | —         |
| Ай-Петри       | 1961–2019         | 85                                                   | 45        | 40        |
| Симферополь    | 1886–2020         | 145                                                  | 43        | 34        |

**Таблица 3.** Оценка экстремальных осадков по спутниковым данным IMERG  
**Table 3.** Estimation of extreme precipitation by IMERG satellite data

| Водосбор                         | Квантиль 0.99, мм | Изменение индекса |
|----------------------------------|-------------------|-------------------|
| р. Ашамба—Голубая бухта          | 36.9              | —                 |
| р. Адагум—г. Крымск              | 33.2              | —                 |
| р. Дюрсо—п. Абрау-Дюрсо          | 33.8              | —                 |
| р. Вулан—п. Архипово-Осиповка    | 36.8              | —                 |
| р. Туапсе—г. Туапсе              | 48.1              | —                 |
| р. Куапсе—Мамедова Шель          | 53.9              | —                 |
| р. Псезуапсе—аул Тхагапш         | 47                | —                 |
| р. Западный Дагомыс—п. Дагомыс   | 49.1              | —                 |
| р. Хоста—п. Хоста                | 51.2              | r5d, уменьшение   |
| р. Кудепста—п. Кудепста          | 55.2              | r1d, уменьшение   |
| р. Мелек-Чесме—г. Керчь          | 27.5              | cdd, уменьшение   |
| р. Ворон—с. Ворон                | 28.6              | —                 |
| р. Улу-Узень—с. Солнечногорское  | 27.3              | epi, увеличение   |
| р. Демерджи—г. Алушта            | 33.4              | —                 |
| р. Цемес—г. Новороссийск         | 29.8              | —                 |
| р. Бельбек—п. Куйбышево          | 28.8              | —                 |
| р. Бага                          | 30                | epi, увеличение   |
| р. Дерекойка—г. Ялта             | 29.7              | —                 |
| р. Коккозка—с. Аромат            | 29.6              | epi, увеличение   |
| р. Учан-Су—г. Ялта               | 32.2              | —                 |
| р. Нечепсухо—п. Новомихайловский | 41.5              | —                 |

Анализ наиболее продолжительных рядов стационарных наблюдений на метеорологических станциях позволил выявить ряд особенностей. Для станций Крыма было выявлено увеличение индекса EPI (среднегодовая интенсивность экстремальных осадков) на метеостанции Феодосия, а также изменение индексов CWD (количество последовательных дней с осадками больше 1 мм) и CDD (продолжительность засухливых периодов) на метеостанции Ай-Петри за период 1961–2019 гг. [22]. В отличие от

Крыма, статистический анализ выявил положительные тренды других индексов: максимального количества осадков за пять дней (индекс  $r5d$ ) для Анапы и максимального количества осадков за одни сутки (индекс  $r1d$ ) для Туапсе за период 1961–2020 гг. Обработка спутниковых данных IMEGR показала, что на севере Черноморского побережья в 21 веке наблюдается статистически значимое увеличение среднегодовой интенсивности экстремальных осадков для некоторых водосборов рек Крымского полуострова и уменьшение абсолютных индексов ( $r1d$  и  $r5d$ ) для ЧПК (см. табл. 3). Однако стоит отметить, что в целом в настоящее время устойчивых трендов в изменчивости экстремальных осадков на Северном Кавказе и Крымском полуострове не выявлено [36, 72, 73].

Анализ синоптической ситуации, предшествующей отобранным событиям показал, что в зависимости от характеристик почвенного покрова, формирование ВЛП также зависит от предварительной увлажненности почвы. Во всех отмеченных случаях ВЛП выпадению экстремальных осадков предшествовали менее интенсивные дожди в условиях влажных субтропиков (рис. 5а), отсутствовали дожди в умеренном климате (рис. 5в) и сухих субтропиках (рис. 5б, 5г).

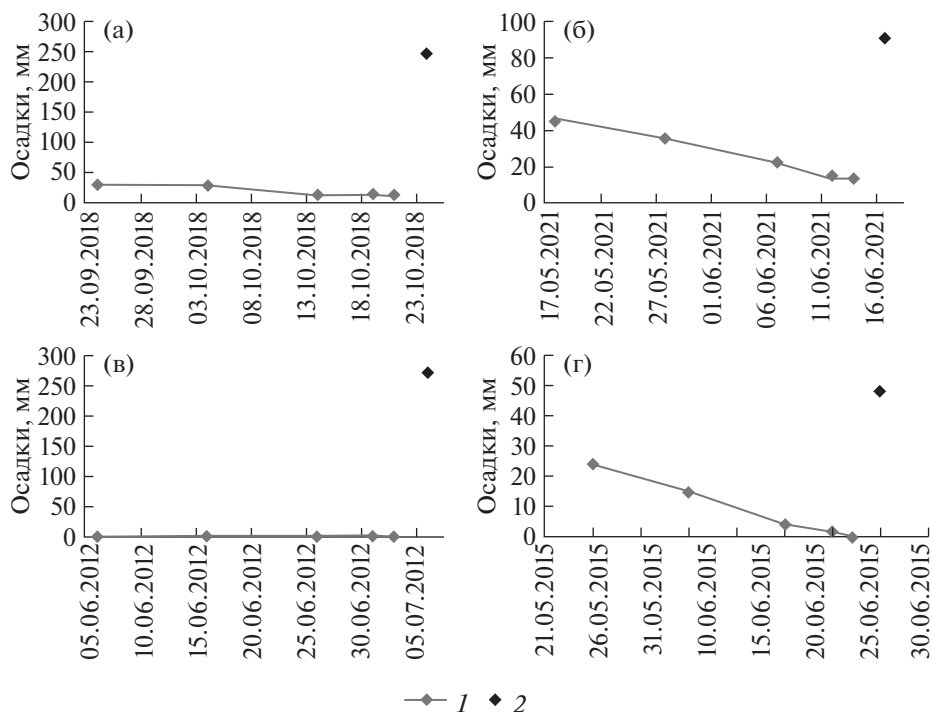
Изменчивость максимальной интенсивности выпадения осадков в период ВЛП характеризуется относительно небольшими пределами, причем для крупнейших событий (р. Адагум, 2012, р. Туапсе, 1991, 2010, 2018) наблюдалась отнюдь не максимальная интенсивность прошедших дождей, однако количество выпавших осадков соответствует очень редкой повторяемости (обеспеченность менее 1%).

Прошедшие события характеризуются очень высокой скоростью подъема уровня воды – порядка 1.2–1.3 м/ч, а максимальная зарегистрированная интенсивность роста составляет 1.7 м в течение 10 мин (р. Западный Дагомыс 24–25 октября 2018 г.) [55]. Подъем уровня воды происходил в течение очень быстрого времени, как правило, менее 5–6 ч [63], в отдельных случаях – порядка 20–40 мин [18, 55]. Наиболее разрушительные ВЛП характеризовались ростом уровня воды в течение 3–5 ч [3, 27], причем для ВЛП на р. Адагум максимальный рост уровня воды составил 7 м [12].

Сведения о стоке наносов при прохождении ВЛП крайне обрывочны и практически отсутствуют, однако есть сведения для рр. Хоста, Мезыбь, а также малой р. Цаньк, что их количество за одно событие (ВЛП) оказывается сопоставимо со среднегодовым стоком наносов [5, 13, 31, 55], что согласуется со сведениями, полученными для рек в других регионах мира [43, 44].

О значительном стоке наносов можно судить и по косвенным признакам, а именно значительным переформированиям руслового рельефа и речных долин в результате прохождения ВЛП. Практически во всех случаях ВЛП на Черноморском побережье становились причиной катастрофических преобразований рельефа за счет активизации эрозионных, обвальных, оползневых и других экзогенных процессов. Области зарождения ВЛП, как правило, приурочены к верхним звеньям речной сети [23], где преимущественно отсутствует активная хозяйственная деятельность, и где она, соответственно, не может оказать значительного воздействия на условия зарождения ВЛП, происходящего в основном под влиянием природных факторов. Однако наибольшей мощности ВЛП достигает в предгорных и низкогорных районах, являющихся областями активного хозяйственного освоения и где соответственно наблюдаются основные последствия ВЛП. Здесь антропогенное воздействие может приводить к существенному увеличению проявления ВЛП и еще большей активизации процесса (увеличение коэффициентов стока на заасфальтированных территориях, искусственная концентрация стока и усиление размыва ниже по течению) [33]. Территория ЮБК и ЧПК в этом отношении не являются исключением.

Антропогенное воздействие может оказывать как прямое, так и косвенное воздействия на условия формирования и прохождения ВЛП. Наибольшее воздействие с точки зрения ВЛП оказывает сведение лесов, уничтожение растительного покрова



**Рис. 5.** Количество осадков за 3–5–10–15–30 дней до ВЛП; а – р. Туапсе – Туапсе, 28.10.2018, б – р. Учан-Су – Ялта, 17.06.2021, в – р. Адагум – Новороссийск, 06.07.2012, г – р. Мелек-Чесме – Керчь, 25.06.2015. 1 – количество осадков за 3–5–10–15–30 дней до ВЛП, мм, 2 – количество осадков, спровоцировавшее возникновение ВЛП, мм.

**Fig. 5.** Precipitation in 3–5–10–15–30 days before flash flood in the Tuapse River – Tuapse gauge on the 28th of October, 2018 (a), the Uchan-Su River – Yalta gauge on the 17th of June, 2021 (б), the Adagum River – Novorossiisk gauge on the 6<sup>th</sup> of July, 2012 (в), and the Melek-Chesme River – Kerch' on the 25<sup>th</sup> of June, 2015 (г). 1 – precipitation in 3–5–10–15–30 days before flash flood, 2 – precipitation initiated flash flood.

(включая пожары), выпас скота, неправильная распашка склонов, гидротехническое строительство, урбанизация. Гидротехническое строительство и водозабор оказывают прямое воздействие на режим водотоков. В случае выпадения экстремальных осадков нередко возникают случаи экстренного сброса воды из водохранилищ во избежание их перелива и последующего разрушения плотины из-за резкого повышения уровней воды и ее перелива через тело плотины. Это приводит к образованию катастрофических паводков ниже по течению от водохранилищ и прудов (подобная ситуация наблюдалась на р. Демерджи в 1997 г., а также 19 августа 2017 г., когда затоплению подверглись многие районы г. Алушты [18, 22]. Аналогичная ситуация также наблюдалась на территории Крымского полуострова в июне 2021 г., когда были размыты пруды на рр. Мелек-Чесме и Булганак в районе г. Керчь, а в Бахчисарайском районе был произведен экстренный спуск водоемов. Серьезные социально-экономические последствия ВЛП также связаны с такими особенностями хозяйственного воздействия, как неконтролируемая застройка территории и засорение русел [2, 20, 37].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследованы основные причины формирования ВЛП в речных бассейнах на Черноморском побережье Западного Кавказа и Крыма. Согласно выбранному алгоритму, разработана схема возможных вариантов формирования ВЛП в изучаемом регионе и собраны сведения о ВЛП в регионе за период 1990–2021 гг. Показано, что “движущим” фактором для начала ВЛП, как правило, выступают осадки высокой интенсивности. Однако нередко возникновение ВЛП и, главное, наиболее катастрофические последствия, возникают при совокупном сочетании различных факторов, характеризующих предшествующее состояние бассейна, достигшего некой “критической” точки и характеризующегося достаточным количеством накопленного на склонах материала, способного вовлекаться в движение. В таком случае спровоцировать начало ВЛП могут и осадки, не достигающие максимальных значений (слой и интенсивность) для данной территории. Антропогенные факторы редко выступают причиной, инициирующей возникновение ВЛП, но часто способствуют усилению их мощности, тем самым провоцируя рост негативных последствий ВЛП и значительный социально-экономический ущерб.

Статистический анализ данных наиболее продолжительных стационарных наблюдений за осадками позволил предположить, что вероятно, ВЛП на северном побережье Черного моря формируются чаще, чем фиксируются. Однако учитывая крайнюю неравномерность выпадения жидких осадков, особенно в горных районах, можно предположить, что данные наблюдений за осадками на стационарных постах не могут распространяться на близлежащие речные бассейны в связи с высокой пространственной вариабельностью ливневых дождей высокой интенсивности. Привлечение спутниковых данных IMERG позволило оценить количество экстремальных суточных сумм осадков (квантиль 0.99) в пределах исследуемых речных бассейнов, однако необходимо учитывать особенности их применения для изучаемой территории. Согласно выполненным оценкам, на севере Черноморского побережья в 21 веке наблюдается статистически значимое увеличение среднегодовой интенсивности экстремальных осадков для некоторых водосборов рек Крымского полуострова и уменьшение абсолютных индексов ( $r1d$  и  $r5d$ ) для ЧПК. В то же время по данным наземной сети, за длительный временной период 1961–2020 гг. наблюдается рост максимального количества осадков за пять дней (индекс  $r5d$ ) для станции Анапы и максимального количества осадков за одни сутки (индекс  $r1d$ ) для станции Туапсе.

Основными причинами возрастающего социально-экономического ущерба является несанкционированная хозяйственная деятельность на периодически затапливаемых участках речных долин, а также отсутствие или снижение работ по расчистке и укреплению речных русел, отсутствие превентивных защитных мер в верхних звеньях речной сети, являющихся основными зонами зарождения ВЛП.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено по планам НИР (ГЗ) научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (№ 121051200166-4 — анализ данных стационарных наблюдений), ГБ “Погодные и климатические процессы различных пространственно-временных масштабов в условиях антропогенного воздействия” (№ 121051400081-7 — анализ спутниковых данных IMERG) и в рамках темы № FMWZ-2023-0003 Государственного задания ИВП РАН (частичный анализ гидрологических данных) при финансовой поддержке РФФИ, проект номер 20-35-70035 (сбор и анализ данных о ВЛП на севере Черноморского побережья).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеевский Н.И., Крыленко И.Н., Беликов В.В., Кочетков В.В., Норин С.В. Численное гидродинамическое моделирование наводнения в г. Крымске 6–7 июля 2012 г. // Гидротехническое строительство. 2014. № 3. С. 29–35.
2. Алексеевский Н.И., Магрицкий Д.В., Колтерман К.П., Торопов П.А., Школьный Д.И., Белякова П.А. Наводнения на Черноморском побережье Краснодарского края // Водные ресурсы. 2016. Т. 43. № 1. С. 1–14.  
<https://doi.org/10.7868/S032105961601003X>
3. Алексеевский Н.И., Магрицкий Д.В., Колтерманн К.П., Крыленко И.Н., Юмина Н.М., Айбулатов Д.Н., Ефремова Н.А. Строение и опасные гидрологические явления в Черноморской природно-экономической зоне побережья // Природные и социальные риски в береговой зоне Черного и Азовского морей: сб. науч. статей по итогам семинара. М., 2012. С. 4–16.
4. Анисимов А.Е., Ефимов В.В., Львова М.В. Верификация данных дистанционного зондирования GPM IMERG и количественные оценки атмосферных осадков в Крымском регионе в теплое время года // Морской гидрофизический журнал. 2021. Т. 37. № 4. С. 490–504.  
<https://doi.org/10.22449/0233-7584-2021-4-490-504>
5. Архипкин В.С., Добролюбов С.А., Мухаметов С.С., Недосапов А.А., Самборский Т.В., Самсонов Т.Е., Серебрянникова Е.А., Суркова Г.А. Экстремальный дождевой паводок в бассейне р. Ашамба и его влияние на рельеф дна и структуру вод моря в районе г. Геленджик // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 2013. Т. 5. № 3. С. 27–34.
6. Баринев А.Ю. Геоморфологический анализ ливневой селеопасности цели Широкая балка (Черноморское побережье Кавказа) // Геоморфология. 2010. № 2. С. 19–26.
7. Битюков Н.А., Ткаченко Ю.Ю., Денисов В.А. Максимальный и минимальный сток на реках Сочинского Причерноморья // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2019. № 4 (204). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/maksimalnyy-i-minimalnyy-stok-na-rekah-sochinskogo-prichernomorya> (дата обращения: 23.10.2021).
8. Болгов М.В., Коробкина Е.А. Реконструкция дождевого паводка на реке Адагум на основе математических моделей формирования стока // Водное хозяйство России. 2013. № 3. С. 87–102.
9. Вахрушев Б.А. Районирование карста Крымского полуострова // Спелеология и карстология. 2009. № 3. С. 39–46.
10. Вишневская И.А., Денисов Л.В., Долгов С.В., Коронкевич Н.И., Шапоренко С.И., Киреева М.Б., Фролова Н.Л., Рец Е.П., Голубчиков С.Н. Географо-гидрологическая оценка наводнений в российском Причерноморье // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2016. № 1. С. 131–146.  
<https://doi.org/10.15356/0373-2444-2016-1-131-146>
11. Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Катастрофические наводнения начала XXI века: уроки и выводы. М.: ООО “ДЭКС-ПРЕСС”. 2003. 352 с.
12. Георгиевский В.Ю., Ткаченко Ю.Ю. Катастрофический паводок в бассейне р. Адагум 6–7 июля 2012 г. и его причины наводнение в бассейне р. Адагум. 2012. 42 с. <http://meteoweb.ru/biblio/27.pdf>.
13. Джаошвили Ш. Реки Черного моря. Технический отчет № 71. Европейское агентство по охране окружающей среды. 2002. 58 с.
14. Доклад о климатических рисках на территории РФ. Санкт-Петербург, 2017. 106 с.
15. Ермакова Г.С., Горелиц О.В., Жбаков К.К., Землянов И.В., Милютин И.Ю. Экстремальные паводки на реках Крыма в 2021 году // Водные ресурсы. 2022. Т. 49. № 4. С. 460–473.  
<https://doi.org/10.31857/S0321059622040046>
16. Известия. URL: <https://iz.ru/1180696/2021-06-18/odin-chelovek-pogib-v-rezultate-podtoplenii-v-ialte> (дата обращения: 09.10.2021).
17. Климчук А.Б., Тимохина Е.И., Амеличев Г.Н. и др. Гипогенный карст Предгорного Крыма и его геоморфологическая роль. 2013. 204 с.
18. Ключин А.А. Экзогеодинамика Крыма. 2007. 320 с.
19. Ключин А.А. Экстремальные проявления неблагоприятных и опасных экзогенных процессов в XX веке в Крыму // Геополитика и экзогеодинамика регионов. 2005. С. 27–38.
20. Кононова Н.К. Циркуляция атмосферы как фактор стихийных бедствий на Северном Кавказе в XXI веке // Геополитика и экзогеодинамика регионов. 2012. Т. 8. № 1–2. С. 72–103.
21. Котляков В.М., Десинов Л.В., Долгов С.В., Коронкевич Н.И., Лихачёва Э.А., Маккавеев А.Н., Медведев А.А., Рудаков В.А. Наводнение 6–7 июля 2012 года в городе Крымске // Известия РАН. Серия географическая. 2012. № 6. С. 80–88.
22. Куксина Л.В., Голосов В.Н., Жданова Е.Ю., Цыпенков А.С. Гидролого-климатические факторы формирования экстремальных эрозийных событий в горном Крыму // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2021. № 5. С. 36–50.
23. Куксина Л.В., Голосов В.Н., Кузнецова Ю.С. Ливневые паводки в горах: изученность, распространение, факторы формирования // География и природные ресурсы, 2017. С. № 1.

- С. 25–35.  
[https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2017-1\(25-35\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2017-1(25-35))
24. Матишов Г.Г., Клеценков А.В. Кубанский паводковый кризис. Климат, геоморфология, прогноз. Крымск, июль 2012 г. Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН. 2012. 128 с.
  25. Методические указания республиканского и территориального управления по гидрометеорологии и контролю природной среды № 92. Определение максимальных расходов воды по меткам уровня высоких вод / Сост.: Б.М. Доброумов, Г.А. Любимов. Л.: Гидрометеиздат, 1979. с. 61.
  26. Овчарук В.А., Тодорова Е.И. Статистические параметры максимальных расходов воды и слоев паводочного стока для рек Горного Крыма // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2014. 10(1). С. 766–770.
  27. Панов Д.В., Базелюк А.А., Лурье П.М. Реки Черноморского побережья Кавказа: гидрография и режим стока. Ростов-на-Дону, 2012. 605 с.
  28. Семенов В.А., Алёшина М.А. Сценарные прогнозы изменений температурного и гидрологического режима Крыма в XXI веке по данным моделей климата CMIP6 // Водные ресурсы. 2022. Т. 49. № 4. С. 506–516.  
<https://doi.org/10.31857/S0321059622040174>
  29. Ткаченко Ю.Ю. Опасные гидрометеорологические явления на Черноморском побережье, связанные с выпадением сильных осадков // Природные и социальные риски в береговой зоне Черного и Азовского морей: сб. науч. статей по итогам семинара. М., 2012. С. 42–45.
  30. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды URL: [www.meteo.ru](http://www.meteo.ru) (дата обращения: 14.11.2020).
  31. Цыпленков А.С., Иванова Н.Н., Ботавин Д.В., Кузнецова Ю.С., Голосов В.Н. Гидрометеорологические предпосылки и геоморфологические последствия экстремального паводка в бассейне малой реки в зоне влажных субтропиков (на примере р. Цаных, район Сочи) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2021. 66(1). С. 144–166.  
<https://doi.org/10.21638/spbu07.2021.109>
  32. Чернявский А.С. Селевой морфолитогенез на Черноморском побережье Кавказа (в пределах Краснодарского края). Автореферат на соискание ученой степени кандидата географических наук. Краснодар: Центр Универсисервис, 2010. 23 с.
  33. Шварев С.В., Харченко С.В., Голосов В.Н. Причины и последствия техногенной активизации селей в 2006–2019 гг. на водосборе притока руч. Сулимовский (район пос. Красная Поляна, Западный Кавказ) // Геориск. 2020. Т. 14. № 2. С. 66–76.
  34. Шныпарков А.Л., Селиверстов Ю.Г., Сократов С.А., Перов В.Ф. Селевой риск на Черноморском побережье Кавказа // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2013. № 3. С. 42–48.
  35. Эксперт Юг. URL: <https://expertsouth.ru/news/navodneniya-na-kubani-zabytye-uroki-krymskogo-pavodka/> (дата обращения: 11.10.2021).
  36. Alreshina M.A., Toropov P.A., Semenov V.A. Temperature and humidity regime changes on the Black Sea coast in 1982–2014 // Rus. Meteor. Hydrol. 2018. № 4. С. 41–53.  
<https://doi.org/10.3103/S1068373918040040>
  37. Alexeevsky N., Magritsky D.V., Koltermann K.P., Krylenko I., Toropov P. Causes and systematic of inundations of the Krasnodar territory on the Russian Black Sea coast // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2016. № 16. P. 1289–1308.  
<https://doi.org/10.5194/nhess-16-1289-2016>
  38. Archer D., Fowler H. Characterising flash flood response to intense rainfall and impacts using historical information and gauged data in Britain // Journal of Flood Risk Management. 2015.  
<https://doi.org/10.1111/jfr3.12187>
  39. Baburin V.L., Gavrilova S.A., Koltermann P., Seliverstov Y.G., Sokratov S.A., Shnyparkov A.L. Quantification of economic and social risks of debris flows for the Black Sea coastal region of the North Caucasus // Geography, environment, sustainability. 2014. № 7. P. 108–122.
  40. Baran-Zgłobicka B., Godziszewska D., Zgłobicki W. The Flash Floods Risk in the Local Spatial Planning (Case Study: Lublin Upland, E Poland) // Resources. 2021. V. 10. № 14.  
<https://doi.org/10.3390/resources10020014>
  41. Belyakova P., Shikhov A., Perminov S., Moreydo V. Accuracy assessment of heavy rainfall forecasting in the Western Caucasus with ICON-Eu regional atmospheric model for short-term flood forecasting // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. V. 611. DOI: 012049.  
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/611/1/012049>
  42. Borga M., Stoffel M., Marchi L., Marra F., Jakob M. Hydrogeomorphic Response to Extreme Rainfall in Headwater Systems: Flash Floods and Debris Flows // Journal of Hydrology. 2014. V. 518. P. 194–205.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.05.022>
  43. Cohen H., Laronne J.B. High rates of sediment transport by flashfloods in the Southern Judean Desert, Israel // Hydrological Processes. 2005. V. 19. P. 1687–1702.

44. Cohen H., Laronne J.B., Reid I. Simplicity and complexity of bed load response during flash floods in a gravel bed ephemeral river: A 10 year field study // *Water Resources Research*. 2010. V. 46. <https://doi.org/10.1029/2010WR009160>
45. Costa J.E., Jarrett R.D. An evaluation of selected extraordinary floods in the United States reported by the US geological survey and implications for future Advancement of Flood Science // *US Geological Survey, Scientific Investigations Report*. 2008. № 5164. 52 p.
46. Doocy S., Daniels A., Murray S., Kirsch T.D. The Human Impact of Floods: A Historical Review of Events 1980-2009 and Systematic Literature Review // *PLoS Curr*. 2013. V. 5. <https://doi.org/10.1371/currents.dis.f4deb457904936b07c09daa98ee8171a>
47. Gaume E., Bain V., Bernardara P., Newinger O., Barbuc M., Bateman A., Blaškovičová L., Blöschl G., Borga M., Dumitrescu A. et al. A Compilation of Data on European Flash Floods // *Journal of Hydrology*. 2009. V. 367. P. 70–78. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.12.028>
48. Gergedava B.A. Types of clastokarst caves of the Caucasus // *Soviet Geography*. 1988. V. 29(5). P. 514–528. <https://doi.org/10.1080/00385417.1988.10640723>
49. Global Precipitation Measurement. Available online: <https://gpm.nasa.gov/data/IMERG> (accessed on 23 September 2021).
50. Groisman P.Y., Knight R.W., Easterling D.R., Karl T.R., Hegerl G.C., Razuvaev V.N. Trends in Intense Precipitation in the Climate Record // *Journal of Climate*. 2005. V. 18. P. 1326–1350. <https://doi.org/10.1175/JCLI13339.1>
51. Groisman P.Y., Knight R.W., Karl T.R., Easterling D.R., Sun B., Lawrimore J.H. Contemporary Changes of the Hydrological Cycle over the Contiguous United States: Trends Derived from In Situ Observations // *Journal of Hydrometeorology*. 2004. V. 5. P. 64–85. [https://doi.org/10.1175/1525-7541\(2004\)005<0064:CCOTHC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1525-7541(2004)005<0064:CCOTHC>2.0.CO;2)
52. IPCC SIX Assessment Report. Available online: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/> (accessed on 9 September 2021).
53. Jarrett R. Errors in slope-area computations of peak discharges in mountain streams // *J. Hydrol*. 1987. V. 96 (1–4). P. 53–67. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(87\)90143-0](https://doi.org/10.1016/0022-1694(87)90143-0)
54. Jonkman S.N. Global Perspectives on Loss of Human Life Caused by Floods // *Nat Hazards*. 2005. V. 34. P. 151–175. <https://doi.org/10.1007/s11069-004-8891-3>
55. Korshenko E., Zhurbas V., Osadchiv A., Belyakova P. Fate of river-borne floating litter during the flooding event in the northeastern part of the Black Sea in October 2018 // *Marine Pollution Bulletin*. 2020. V. 160. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111678>
56. Kuksina L., Golosov V. Flash Floods: Formation, Study and Distribution // *E3S Web Conf*. 2020. V. 163. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016302005>
57. Li X., Hu Q. Spatiotemporal Changes in Extreme Precipitation and Its Dependence on Topography over the Poyang Lake Basin, China // *Advances in Meteorology*. 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/1253932>
58. Lumbroso D., Gaume E. Reducing the uncertainty in indirect estimates of extreme flash flood discharges // *J. Hydrol*. 2012. V. 414–415. P. 16–30. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.08.048>
59. Marchi L., Borga M., Preciso E., Gaume E. Characterisation of selected extreme flash floods in Europe and implications for flood risk management // *J. Hydrol*. 2010. V. 394(1–2). P. 118–133.
60. Meredith E.P., Semenov V.A., Maraun D., Park W., Chernokulsky A.V. Crucial Role of Black Sea Warming in Amplifying the 2012 Krymsk Precipitation Extreme // *Nature Geosci*. 2015. V. 8. P. 615–619. <https://doi.org/10.1038/ngeo2483>
61. Mueller E.N., Pfister A. Increasing Occurrence of High-Intensity Rainstorm Events Relevant for the Generation of Soil Erosion in a Temperate Lowland Region in Central Europe // *Journal of Hydrology*. 2011. V. 411. P. 266–278. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.10.005>
62. Poesen J.W.A., Hooke J.M. Erosion, Flooding and Channel Management in Mediterranean Environments of Southern Europe // *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*. 1997. V. 21. P. 157–199. <https://doi.org/10.1177/030913339702100201>

63. *Rajah K., O'Leary T., Turner A., Petrakis G., Leonard M., Westra S.* Changes to the Temporal Distribution of Daily Precipitation // *Geophysical Research Letters*. 2014. V. 41. P. 8887–8894. <https://doi.org/10.1002/2014GL062156>
64. *Soto A.U., Madrid-Aris M.* Roughness coefficient in mountain rivers // *American Society of Civil Engineering. Hydraulics Engineering*. 1994. P. 652–656.
65. *Sungmin O., Ulrich F.* Assessment of spatial uncertainty of heavy rainfall at catchment scale using a dense gauge network // *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2019. V. 23. P. 2863–2875. <https://doi.org/10.5194/hess-23-2863-2019>
66. *Tashilova A., Ashabokov B., Kesheva L., Teunova N.V.* Analysis of climate change in the Caucasus region: and of the 20<sup>th</sup>—beginning of the 21<sup>st</sup> century // *Climate*. 2019. V. 7(11). <https://doi.org/cli7010011>
67. The Flood Observatory Available online: <http://floodobservatory.colorado.edu/> (accessed on 18 January 2022).
68. *Tripoli G.J., Medaglia C.M., Dietrich S., Mugnai A., Panegrossi G., Pinori S., Smith E.A.* The 9–10 November 2001 Algerian Flood A Numerical Study // *American meteorological society*. 2005. P. 1229–1236.
69. US Department of Commerce, N. Flash Flooding Definition Available online: <https://www.weather.gov/phi/FlashFloodingDefinition> (accessed on 18 January 2022).
70. V Kontakte. Available online: [https://vk.com/wall-42886009\\_1149515](https://vk.com/wall-42886009_1149515) (accessed on 17 August 2021).
71. *Voskresenskaya E., Vyshkvarkova E.* Extreme precipitation over the Crimean peninsula // *Quaternary International*. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.09.097>
72. *Vyshkareva E.* Changes in extreme precipitation over the North Caucasus and the Crimean Peninsula during 1961–2018 // *Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*. 2021. V. 125(2). P. 321–336. <https://doi.org/10.28974/idojaras.2021.2.8>
73. *Zolina O., Simmer C., Belyaev K., Kapala A., Gulev S.* Improving estimates of heavy and extreme precipitation using daily records from European rain gauges // *J. Hydrometeorol.* 2009. V. 10. P. 701–716. <https://doi.org/10.1175/2008JHM1055.1>

### Stochastic Parameters of Flash Floods Formation in the North of the Black Sea Coast

L. V. Kuksina<sup>1, \*</sup>, P. A. Beljakova<sup>2, \*\*</sup>, V. N. Golosov<sup>1, \*\*\*</sup>, E. Ju. Zhdanova<sup>1, \*\*\*\*</sup>,  
M. M. Ivanov<sup>1, \*\*\*\*\*</sup>, and A. L. Gurinov<sup>3, \*\*\*\*\*</sup>

<sup>1</sup>*Lomonosov Moscow State University (MSU), Moscow, Russia*

<sup>2</sup>*Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences (WPI RAS), Moscow, Russia*

<sup>3</sup>*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences (IGRAS), Moscow, Russia*

\*E-mail: [ludmilakuksina@gmail.com](mailto:ludmilakuksina@gmail.com)

\*\*E-mail: [pobel@mail.ru](mailto:pobel@mail.ru)

\*\*\*E-mail: [gollossov@gmail.com](mailto:gollossov@gmail.com)

\*\*\*\*E-mail: [ekaterinzhdanova214@gmail.com](mailto:ekaterinzhdanova214@gmail.com)

\*\*\*\*\*E-mail: [ivanovm@bk.ru](mailto:ivanovm@bk.ru)

\*\*\*\*\*E-mail: [gurinov.artem@gmail.com](mailto:gurinov.artem@gmail.com)

**Abstract**—Flash floods are one of the most dangerous hydrometeorological events all over the World. In the current paper stochastic parameters of flash floods formation are studied on the basis of data on flash floods in 1990–2021 in the small river basins of the Caucasus and Crimea Black Sea Coast. The main factor of flash floods formation is heavy rain, but in some cases its occurrence could depend on critical combination of various factors. Flash floods are usually formed in summer-autumn period in the studied region with the maximum of observed events in August. They are characterised by very rapid water level rise of about 1.2–1.3 m/h. Sediment yield during one flash flood could be compared with mean annual values. Statistical analysis of precipitation long ranges demonstrates probability of more often flash floods occurrence in the region in comparison with observed events.

**Keywords:** flash flood, heavy rain, intensity, precipitation, small river basin, the Black Sea Coast, Caucasus, Crimea

## REFERENCES

1. Alekseyevskiy N.I., Krylenko I.N., Belikov V.V., Kochetkov V.V., Norin S.V. Chislennoye gidrodinamicheskoye modelirovaniye navodneniya v g. Krymske 6–7 iyulya 2012 g. // *Gidrotekhnicheskoye stroitel'stvo*. 2014. № 3. S. 29–35.
2. Alekseyevskiy N.I., Magritskiy D.V., Kolterman K.P., Toropov P.A., Shkol'nyy D.I., Belyakova P.A. Navodneniya na Chernomorskom poberezh'ye Krasnodarskogo kraya // *Vodnyye resursy*. 2016. T. 43. № 1. S. 1–14.
3. Alekseyevskiy N.I., Magritskiy D.V., Koltermann K.P., Krylenko I.N., Yumina N.M., Aybulatov D.N., Yefremova N.A. Stroyeniye i opasnyye gidrologicheskiye yavleniya v Chernomorskoj prirodno-ekonomicheskoy zone poberezh'ya // *Prirodnyye i sotsial'nyye riski v beregovoy zone Chernogo i Azovskogo morey*. 2012. S. 4–16.
4. Anisimov A.Ye., Yefimov V.V., L'vova M.V. Verifikatsiya dannykh distantsionnogo zondirovaniya GPM IMERG i kolichestvennyye otsenki atmosferykh osadkov v Krymskom regione v teploye vremya goda // *Morskoy gidrofizicheskyy zhurnal*. 2021. T. 37. № 4. S. 490–504. <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2021-4-490-504>
5. Arkhipkin V.S., Dobrolyubov S.A., Mukhametov S.S., Nedosapov A.A., Samborskiy T.V., Samsonov T.Ye., Serebryannikova Ye.A., Surkova G.A. Ekstremal'nyy dozhdeyov pavodok v bassejne r. Ashamba i yego vliyaniye na rel'yef dna i strukturu vod morya v rayone g. Gelendzhik // *Vestnik MGU. Seriya 5. Geografiya*. 2013. T. 5. № 3. S. 27–34.
6. Barinov A.Yu. Geomorfologicheskyy analiz livnevoy seleopasnosti tseli Shirokaya balka (Chernomorskoye poberezh'ye Kavkaza) // *Geomorfologiya*. 2010. № 2. S. 19–26.
7. Bitukov N.A., Tkachenko Yu.Yu., Denisov V.A. Maksimal'nyy i minimal'nyy stok na rekakh Sochinskogo Prichernomor'ya // *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Yestestvennyye nauki*. 2019. № 4(204). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/maksimalnyy-i-minimalnyy-stok-na-rekah-sochinskogo-prichernomor'ya> (data obrashcheniya: 23.10.2021).
8. Bolgov M.V., Korobkina Ye.A. Rekonstruktsiya dozhdeyogo pavodka na reke Adagum na osnove matematicheskikh modeley formirovaniya stoka // *Vodnoye khozyaystvo Rossii*. 2013. № 3. S. 87–102.
9. Vakhrushev B.A. Rayonirovaniye karsta Krymskogo poluoostrova // *Speleologiya i karstologiya*. 2009. № 3. S. 39–46.
10. Vishnevskaya I.A., Denisov L.V., Dolgov S.V., Koronkevich N.I., Shaporenko S.I., Kireyeva M.B., Frolova N.L., Rets Ye.P., Golubchikov S.N. Geografo-gidrologicheskaya otsenka navodneniy v rossiyskom Prichernomor'ye // *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya geograficheskaya*. 2016. (1). 131–146.
11. Vorob'yev Yu.L., Akimov V.A., Sokolov Yu.I. Katastroficheskiye navodneniya nachala XXI veka: uroki i vyvody. M.: OOO “DEKS-PRESS”, 2003. 352 s.
12. Georgiyevskiy V.Yu., Tkachenko Yu.Yu. Katastroficheskiy pavodok v bassejne r. Adagum 6–7 iyulya 2012 g. i yego prichiny navodneniya v bassejne r. Adagum. 2012. 42 s. <http://meteoweb.ru/biblio/27.pdf>.
13. Dzhaoshvili S.H. Reki Chernogo morya. Tekhnicheskyy otchet № 71. Yevropeyskoye agentstvo po okhrane okruzhayushchey sredy. 2002. 58 s.
14. Doklad o klimaticheskikh riskakh na territorii RF. Sankt-Peterburg, 2017. 106 s.
15. Yermakova G.S., Gorelits O.V., Zhbakov K.K., Zemlyanov I.V., Milyutina I.Yu. Ekstremal'nyye pavodki na rekakh Kryma v 2021 godu // *Vodnyye resursy*. 2022. T. 49. № 4. S. 460–473. <https://doi.org/10.31857/S0321059622040046>
16. Izvestiya. URL: <https://iz.ru/1180696/2021-06-18/odin-chelovek-pogib-v-rezultate-podtoplenii-v-ialte> (data obrashcheniya: 09.10.2021).
17. Klimchuk A.B., Timokhina Ye.I., Amelichev G.N. i dr. Ggipogenyy karst Predgornogo Kryma i yego geomorfologicheskaya rol'. 2013. 204 s.
18. Klyukin A.A. Ekzogeodinamika Kryma. 2007. 320 s.
19. Klyukin A.A. Ekstremal'nyye proyavleniya neblagopriyatnykh i opasnykh ekzogennykh protsessov v KHKH veke v Krymu // *Geopolitika i ekogeodinamika regionov*. 2005. S. 27–38.
20. Kononova N.K. Tsirkulyatsiya atmosfery kak faktor stikhiynykh bedstviy na Severnom Kavkaze v XXI veke // *Geopolitika i ekogeodinamika regionov*. 2012. T. 8. № 1–2. S. 72–103.
21. Kotlyakov V.M., Desinov L.V., Dolgov S.V., Koronkevich N.I., Likhachova E.A., Makkaveyev A.N., Medvedev A.A., Rudakov V.A. Navodneniya 6–7 iyulya 2012 goda v gorode Krymske // *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*. 2012. № 6. S. 80–88.
22. Kuksina L.V., Golosov V.N., Zhdanova Ye.Yu., Tsyplenkov A.S. Gidrologo-klimaticheskiye faktory formirovaniya ekstremal'nykh erozionnykh sobytiy v gornom Krymu // *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. 2021. № 5. C. 36–50.
23. Kuksina L.V., Golosov V.N., Kuznetsova Yu.S. Livnevyye pavodki v gorakh: izuchennost', rasprostraneniye, faktory formirovaniya // *Geografiya i prirodnyye resursy*, 2017. S. № 1. S. 25–35. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2017-1\(25-35\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2017-1(25-35))
24. Matishov G.G., Kleshchenkov A.V. Kubanskiy pavodkovyy krizis. Klimat, geomorfologiya, prognoz. Krymsk, iyul' 2012 g. Rostov-na-Donu: YUNTS RAN. 2012. 128 s.

25. Metodicheskiye ukazaniya respublikanskogo i territorial'nogo upravleniya po gidrometeorologii i kontrolyu prirodnoy sredy № 92. Opredeleniye maksimal'nykh raskhodov vody po metkam urovnya vysokikh vod / Sost. B.M. Dobroumov, G.A. Lyubimov. L.: Gidrometeoizdat, 1979. s. 61.
26. Ovcharuk V.A., Todorova Ye.I. Statisticheskiye parametry maksimal'nykh raskhodov vody i sloyev pavodchnogo stoka dlya rek Gornogo Kryma // Geopolitika i ekogeodinamika regionov. 2014. 10(1). S. 766–770.
27. Panov D.V., Bazelyuk A.A., Lur'ye P.M. Reki Chernomorskogo poberezh'ya Kavkaza: gidrografiya i rezhim stoka. Rostov-na-Donu, 2012. 605 s.
28. Semenov V.A., Aloshina M.A. Stsenarnyye prognozy izmeneniy temperaturnogo i gidrologicheskogo rezhima Kryma v XXI veke po dannym modeley klimata CMIP6 // Vodnyye resursy. 2022. T. 49. № 4. S. 506–516.  
<https://doi.org/10.31857/S0321059622040174>
29. Tkachenko Yu.Yu. Opasnyye gidrometeorologicheskiye yavleniya na Chernomorskom poberezh'ye, svyazannyye s vypadeniyem sil'nykh osadkov // Prirodnyye i sotsial'nyye riski v beregovoy zone Chernogo i Azovskogo morey. 2012. S. 42–45.
30. Federal'naya sluzhba po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchey sredy URL: [www.meteo.ru](http://www.meteo.ru) (data obrashcheniya: 14.11.2020).
31. Tsyplov A.S., Ivanova N.N., Botavin D.V., Kuznetsova Yu.S., Golosov V.N. Gidrometeorologicheskiye predposylki i geomorfologicheskiye posledstviya ekstremal'nogo pavodka v bassejne maloy reki v zone vlazhnykh subtropikov (na primere r. Tsanyk, rayon Sochi) // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Nauki o Zemle. 2021. 66(1). S. 144–166.  
<https://doi.org/10.21638/spbu07.2021.109>
32. Chernyavskiy A.S. Selevoy morfolitogenez na Chernomorskom poberezh'ye Kavkaza (v predelakh Krasnodarskogo kraya). Avtoreferat na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata geograficheskikh nauk. Krasnodar: Tsentr Universervis, 2010. 23 s.
33. Shvarev S.V., Kharchenko S.V., Golosov V.N. Prichiny i posledstviya tekhnogennoy aktivizatsii seley v 2006–2019 gg. na vodosbore pritoka ruch. Sulimovskiy (rayon pos. Krasnaya Polyana, Zapadnyy Kavkaz) // Georisk. 2020. T. 14. № 2. S. 66–76.
34. Shnyparkov A.L., Seliverstov Yu.G., Sokratov S.A., Perov V.F. Selevoy risk na Chernomorskom poberezh'ye Kavkaza // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya. 2013. № 3. S. 42–48.
35. Ekspert Yug. URL: <https://expertsouth.ru/news/navodneniya-na-kubani-zabytye-uroki-krymskogo-pavodka/> (data obrashcheniya: 11.10.2021).
36. Aleshina M.A., Toropov P.A., Semenov V.A. Temperature and humidity regime changes on the Black Sea coast in 1982–2014. *Rus. Meteor. Hydrol.*, 2018. 4. 41–53.  
<https://doi.org/10.3103/S1068373918040040>
37. Alexeevsky N., Magritsky D.V., Koltermann K.P., Krylenko I., Toropov P. Causes and systematic of inundations of the Krasnodar territory on the Russian Black Sea coast. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 2016. 16. 1289–1308.
38. Archer D., Fowler H. Characterising flash flood response to intense rainfall and impacts using historical information and gauged data in Britain. *Journal of Flood Risk Management*, 2015.  
<https://doi.org/10.1111/jfr3.12187>
39. Baburin V.L., Gavrilo S.A., Koltermann P., Seliverstov Y.G., Sokratov S.A., Shnyparkov A.L. Quantification of economic and social risks of debris flows for the Black Sea coastal region of the North Caucasus // *Geography, environment, sustainability*. 2014. 7. P. 108–122.
40. Baran-Zgłobicka B., Godziszewska D., Zgłobicki W. The Flash Floods Risk in the Local Spatial Planning (Case Study: Lublin Upland, E Poland). *Resources* 2021. 10. 14.  
<https://doi.org/10.3390/resources10020014>
41. Belyakova P., Shikhov A., Perminov S., Moreydo V. Accuracy assessment of heavy rainfall forecasting in the Western Caucasus with ICON-Eu regional atmospheric model for short-term flood forecasting // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. V. 611.  
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/611/1/012049>
42. Borga M., Stoffel M., Marchi L., Marra F., Jakob M. Hydrogeomorphic Response to Extreme Rainfall in Headwater Systems: Flash Floods and Debris Flows. *Journal of Hydrology* 2014. 518. 194–205.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.05.022>
43. Cohen H., Laronne J.B. High rates of sediment transport by flashfloods in the Southern Judean Desert, Israel. *Hydrological Processes*, 2005. 19. 1687–1702.
44. Cohen H., Laronne J.B., Reid I. Simplicity and complexity of bed load response during flash floods in a gravel bed ephemeral river: A 10 year field study, *Water Resources Research*, 2010. 46. W11542.
45. Costa J.E., Jarrett R.D. An evaluation of selected extraordinary floods in the United States reported by the US geological survey and implications for future Advancement of Flood Science. *US Geological Survey, Scientific Investigations Report*, 2008. № 5164 52 p.

46. Doocy S., Daniels A., Murray S., Kirsch T.D. The Human Impact of Floods: A Historical Review of Events 1980-2009 and Systematic Literature Review. *PLoS Curr* 2013. 5. <https://doi.org/10.1371/currents.dis.f4deb457904936b07c09daa98ee8171a>.
47. Gaume E., Bain V., Bernardara P., Newinger O., Barbuc M., Bateman A., Blaškovičová L., Blöschl G., Borga M., Dumitrescu A. et al. A Compilation of Data on European Flash Floods. *Journal of Hydrology* 2009. 367. 70–78. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.12.028>
48. Gergedava B.A. Types of clastokarst caves of the Caucasus. *Soviet Geography*, 1988. 29(5). 514–528. <https://doi.org/10.1080/00385417.1988.10640723>
49. Global Precipitation Measurement. Available online: <https://gpm.nasa.gov/data/IMERG> (accessed on 23 September 2021).
50. Groisman P.Y., Knight R.W., Easterling D.R., Karl T.R., Hegerl G.C., Razuvaev V.N. Trends in Intense Precipitation in the Climate Record. *Journal of Climate* 2005. 18. 1326–1350. <https://doi.org/10.1175/JCLI3339.1>
51. Groisman P.Y., Knight R.W., Karl T.R., Easterling D.R., Sun B., Lawrimore J.H. Contemporary Changes of the Hydrological Cycle over the Contiguous United States: Trends Derived from In Situ Observations. *Journal of Hydrometeorology* 2004. 5. 64–85. [https://doi.org/10.1175/1525-7541\(2004\)005<0064:CCOTHC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1525-7541(2004)005<0064:CCOTHC>2.0.CO;2)
52. IPCC SIX Assessment Report. Available online: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/> (accessed on 9 September 2021).
53. Jarett R. Errors in slope-area computations of peak discharges in mountain streams. *J. Hydrol.*, 1987. 96 (1–4). 53–67. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(87\)90143-0](https://doi.org/10.1016/0022-1694(87)90143-0)
54. Jonkman S.N. Global Perspectives on Loss of Human Life Caused by Floods. *Nat Hazards* 2005. 34. 151–175. <https://doi.org/10.1007/s11069-004-8891-3>
55. Korshenko E., Zhurbas V., Osadchiv A., Belyakova P. Fate of river-borne floating litter during the flooding event in the northeastern part of the Black Sea in October 2018. *Marine Pollution Bulletin*, 2020. 160. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111678>
56. Kuksina L., Golosov V. Flash Floods: Formation, Study and Distribution // *E3S Web Conf.* 2020. V. 163. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016302005>
57. Li X., Hu Q. Spatiotemporal Changes in Extreme Precipitation and Its Dependence on Topography over the Poyang Lake Basin, China. *Advances in Meteorology*, 2019. e1253932. <https://doi.org/10.1155/2019/1253932>
58. Lumbroso D., Gaume E. Reducing the uncertainty in indirect estimates of extreme flash flood discharges. *J. Hydrol.*, 2012. 414–415. 16–30. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.08.048>
59. Marchi L., Borga M., Preciso E., Gaume E. Characterisation of selected extreme flash floods in Europe and implications for flood risk management. *J. Hydrol.* 2010. 394(1–2). 118–133.
60. Meredith E.P., Semenov V.A., Maraun D., Park W., Chernokulsky A.V. Crucial Role of Black Sea Warming in Amplifying the 2012 Krymsk Precipitation Extreme. *Nature Geosci* 2015. 8. 615–619. <https://doi.org/10.1038/ngeo2483>
61. Mueller E.N., Pfister A. Increasing Occurrence of High-Intensity Rainstorm Events Relevant for the Generation of Soil Erosion in a Temperate Lowland Region in Central Europe. *Journal of Hydrology* 2011. 411. 266–278. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.10.005>
62. Poesen J.W.A., Hooke J.M. Erosion, Flooding and Channel Management in Mediterranean Environments of Southern Europe. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment* 1997. 21. 157–199. <https://doi.org/10.1177/030913339702100201>
63. Rajah K., O’Leary T., Turner A., Petrakis G., Leonard M., Westra S. Changes to the Temporal Distribution of Daily Precipitation. *Geophysical Research Letters* 2014. 41. 8887–8894. <https://doi.org/10.1002/2014GL062156>
64. Soto A.U., Madrid-Aris M. Roughness coefficient in mountain rivers. *American Society of Civil Engineering. Hydraulics Engineering*, 1994. 652–656.
65. Sungmin O., Ulrich F. Assessment of spatial uncertainty of heavy rainfall at catchment scale using a dense gauge network. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 2019. 23. 2863–2875, <https://doi.org/10.5194/hess-23-2863-2019>

66. Tashilova A., Ashabokov B., Kesheva L., Teunova N.V. Analysis of climate change in the Caucasus region: and of the 20th–beginning of the 21th century. *Climate*, 2019. 7(11). <https://doi.org/cli7010011>
67. The Flood Observatory Available online: <http://floodobservatory.colorado.edu/> (accessed on 18 January 2022).
68. Tripoli G.J., Medaglia C.M., Dietrich S., Mugnai A., Panegrossi G., Pinori S., Smith E.A. The 9–10 November 2001 Algerian Flood A Numerical Study. *American meteorological society*, 2005. 1229–1236.
69. US Department of Commerce, N. Flash Flooding Definition Available online: <https://www.weather.gov/phi/FlashFloodingDefinition> (accessed on 18 January 2022).
70. Vkontakte. Available online: [https://vk.com/wall-42886009\\_1149515](https://vk.com/wall-42886009_1149515) (accessed on 17 August 2021).
71. Voskresenskaya E., Vyshkvarkova E. Extreme precipitation over the Crimean peninsula. *Quaternary International*, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.09.097>
72. Vyshkareva E. Changes in extreme precipitation over the North Caucasus and the Crimean Peninsula during 1961–2018. *Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, 2021. 125. 2. 321–336.
73. Zolina O., Simmer C., Belyaev K., Kapala A., Gulev S. Improving estimates of heavy and extreme precipitation using daily records from European rain gauges. *J. Hydrometeorol.* 2009. 10. 701–716. <https://doi.org/10.1175/2008JHM1055.1>

УДК

## РАСЧЕТ СЕЗОННОЙ ЭРОЗИИ НА БЕРЕГОВЫХ ОТКОСАХ РЕКИ ОКИ С ПОМОЩЬЮ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

© 2023 г. А. Ю. Воробьев<sup>а, \*</sup>, А. С. Кадыров<sup>а, \*\*</sup>, Д. С. Локтеев<sup>б, \*\*\*</sup>,  
Е. В. Бургов<sup>с, d, \*\*\*\*</sup>, А. А. Балобина<sup>а, \*\*\*\*\*</sup>

<sup>а</sup>Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина, Рязань, Россия

<sup>б</sup>Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия

<sup>с</sup>Институт проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова Российской академии наук,  
Москва, Россия

<sup>d</sup>НИИЦ “Курчатовский институт”, Москва, Россия

\*E-mail: a.vorobyov90@mail.ru

\*\*E-mail: alieksandr.kadyrov.93@mail.ru

\*\*\*E-mail: lokteev@gmail.com

\*\*\*\*E-mail: burgov.ev@yandex.ru

\*\*\*\*\*E-mail: balobina-anna@rambler.ru

Поступила в редакцию 07.02.2023 г.

После доработки 09.03.2023 г.

Принята к публикации 02.06.2023 г.

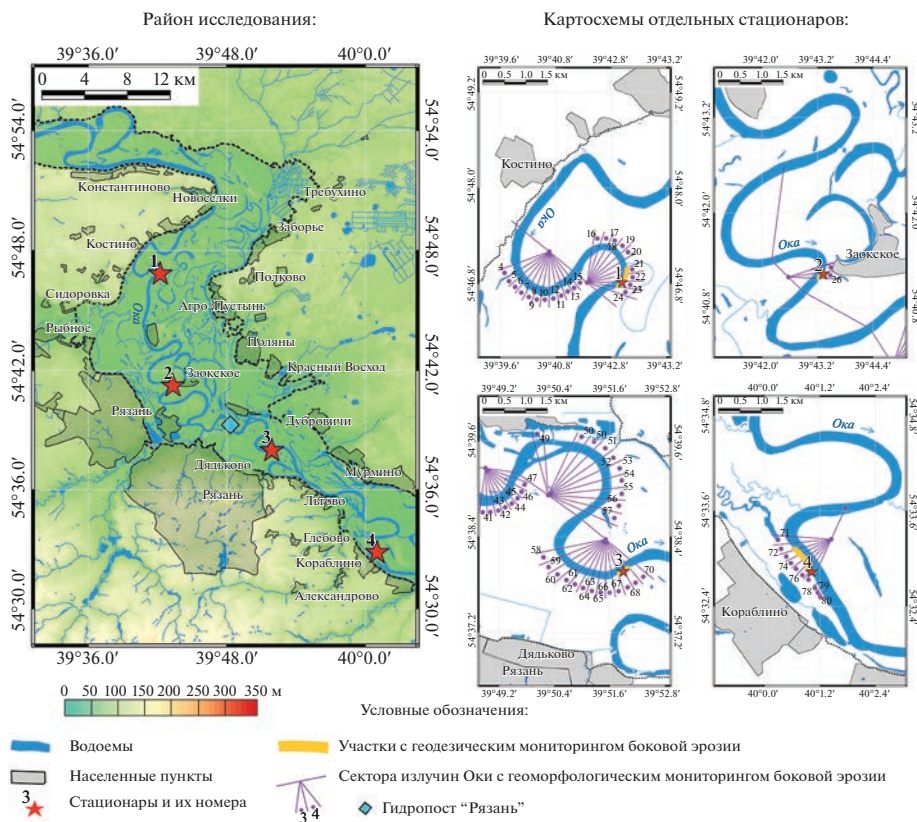
Среди опасных геоморфологических процессов на крупных равнинных реках выделяется направленный размыв их берегов. В среднем течении реки Оки — этого крупного притока реки Волги, горизонтальные русловые деформации вносят существенный вклад в региональную литодинамику и сокращение площади пойменных земель. Предпринятые нами полевые геолого-геоморфологические исследования долины выявили сложную фациальную архитектуру поймы. В совокупности с неустойчивостью водного режима Оки в последнее десятилетие, это способствует снижению качества прогнозов боковой эрозии ее русла, в том числе в окрестностях г. Рязани. Для детальной оценки последствий дестабилизации береговых откосов нами была осуществлена съемка их поверхности с помощью тахеометра и съемки с БПЛА-аэрофотосъемкой. Регулярный контроль эрозии по сезонам гидрологического года обеспечил получение фактических данных о перераспределении почвогрунтов по высоте откоса. Установлено, что эрозия в летнюю межень втрое слабее, чем во время половодья, выявлено также преобладание обрушений самой верхней (0.0–2.0 м от дневной поверхности) части фронтов размыва. В статье также обсуждается неодинаковая роль факторов рельефообразования в мобилизации отложений на высотных уровнях берегов стационаров, происходящая из локальных различий плейстоцен-голоценовой эволюции морфолитосистемы поймы реки Оки и записи в ней геологической информации.

**Ключевые слова:** русло реки Оки, боковая эрозия, погребенные почвы, аллювий, половодье, аэрофотосъемка, AutoCAD

**DOI:** 10.31857/S0869607123020088, **EDN:** HDGYZZ

## ВВЕДЕНИЕ

Динамика рельефа на всех уровнях флювиальной системы реки Оки, входящей в волжский бассейн, по праву может считаться одной из центральных проблем устойчи-



**Рис. 1.** Район исследования и ключевые участки стационарных наблюдений боковой эрозии русла реки Оки.

**Fig. 1.** Research region and key fragments for stationary observations of lateral erosion in the Oka riverbed.

ности ландшафтов в густонаселенном центре Русской равнины. В рамках морфолито-системы днища долины [28, с. 16] наиболее активное рельефообразование наблюдается в русловом ложе и на границе русла и поймы, в то время как большие площади пойменных массивов, удаленные от русла, представляют собой участки с медленной аккумуляцией аллювия. Управление природными ресурсами основывается на их оценке и прогнозе, при этом в средней части (748–340 км от устья Оки) окского бассейна (рис. 1) морфология поймы и русла подвергается [6, с. 14; 7, с. 35; 15, с. 149] существенным изменениям в последние десятилетия. Очевидные изменения береговой линии обусловлены боковой эрозией русла и направленной аккумуляцией аллювия на отмелях берегах. Наблюдения за процессами моделирования прируслового рельефа могут предоставить ценную информацию о доступности геологических, почвенных и биологических ресурсов окской поймы. Этим они отличны от мониторинга рельефообразования на центральной и притеррасной пойме, где мощность естественных геоморфологических процессов диффузно распределена [15, с. 145; 38, с. 294], а точечные изменения связаны с антропогенным вмешательством в геолого-геоморфологические компоненты ландшафта.

К числу необходимых элементов методологии исследований в разработке вопроса периодичности и масштабов регионального рельефообразования принадлежит [10,

с. 304; 11, с. 225; 14, с. 160; 39, с. 1355; 41, с. 420] мониторинг эрозионно-аккумулятивных процессов на геоморфологических стационарах. Многие комплексные стационары в нашей стране имеют ряды наблюдений в несколько десятилетий, ценность контроля короткопериодной динамики природных процессов в ходе их работы является общеизвестной. Приуроченность стока воды и наносов на реках окского бассейна к сезонам гидрологического года определяет значительный потенциал организации геоморфологических исследований с периодом наблюдения до года и более. Ранее (в 2014–2022 гг.) нами были предприняты [7, с. 31] полевые измерения скорости боковой эрозии на ряде учетных площадок размываемых пойменных берегов. Осуществленные с помощью традиционного [10, с. 195; 30, с. 480; 38, с. 155; 43, с. 794] для геоморфологии метода реперов, эти исследования предоставили количественную информацию о скорости боковой эрозии. На основе актуальной информации была оценена стабильность откосов в период неустойчивого [9, с. 19] весеннего стока в бассейне Верхней Волги.

Между тем, в настоящее время фиксируется стабильный рост интереса к геодезическим методам и расчетам во флювиальной геоморфологии. Расширение методологии наблюдений динамики рельефа за счет упомянутых подходов началось [43, с. 801], по меньшей мере, 30–35 лет назад. Благодаря доступности самих БПЛА и специализированного программного обеспечения за последние годы увидели свет сотни публикаций, в которых посредством автоматизированных методов рассматриваются [4, с. 18; 20, с. 40; 27, с. 46; 33, с. 1220; 39, с. 1360; 44, с. 385] последствия сезонной активности откосов вообще, не только речных уступов. В настоящем исследовании мы представляем первичные результаты геодезической съемки береговых откосов реки Оки – элементов пойменно-руслового рельефа, подверженных воздействию целого комплекса геоморфологических агентов. Модели функционирования речных подсистем эрозионно-русловых систем крупных рек предполагают [10, с. 241; 32, с. 482; 37, с. 591; 46, с. 4670] преимущественный размыв берегов в процессе горизонтальных русловых деформаций, отводя оползневый, суффозионный и антропогенным рельефообразующим процессам второстепенную роль. Частичная консервация фронтов размыва нередко фиксировалась нами в 2014–2020 гг., но в 2021–2022 гг. объем весеннего стока Оки вырос и половодья на реке в это время года снова стали достигать [1] уровня руслонаполнения.

Пойменная фация аллювия на средней Оке отличается повышенной мощностью, поскольку в течение всего голоцена такие расширения днища долины, как Рязанское, представляли [2, с. 11; 31, с. 158] крупные локальные депо наносов. Определение [2, с. 9; 3, с. 665; 16, с. 62] радиоуглеродного возраста погребенных почв и старичных линз доказало циклический (прерывисто-динамический [24, с. 18]) характер эволюции окской поймы. В составе пойменных суглинков местами встречаются педолитокомплексы из 3–6 погребенных плейстоцен-голоценовых почв. Ввиду этого, вклад литологического фактора в изменчивость эрозии откосов должен быть высок, причем как в латеральном, так и в вертикальном направлении.

Стационарные исследования не являются единственной формой добычи новой информации о факторах горизонтальных русловых деформаций – ценные результаты были получены [18, с. 55; 22, с. 201; 29, с. 80; 38, с. 173; 46, с. 4773] в ходе камеральных и натурных экспериментов. Однако быстрое совершенствование качества съемки беспилотных летательных аппаратов в 2010-е годы на несколько порядков увеличивает объемы информации, поступающей исследователю, нежели при использовании традиционных подходов. На стационаре “Дядьково”, в отношении которого мы располагаем наиболее представительными геоморфологическими данными, аэрофотосъемка поверхности окского берега позволила получить информацию о морфолитодинاميце как всего фронта размыва, так и отдельных его стратиграфических горизонтов. Основывающиеся на ней выводы о причинно-следственных связях морфолитодинاميки

берегов могут быть развиты в самостоятельное направление исследований на границе геоморфологии, гидрологии, почвоведения и палеогеографии.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Четыре учетных площадки на фронтах размыва берегов реки Оки имели протяженность 100–500 м каждая и были заложены в Рязанском расширении днища окской долины (рис. 1). Стационары в пойменной морфолитосистеме были организованы на эрозионных берегах излучин разной формы и степени развития. На тех участках русла, где оно относительно спрямлено, наблюдения не велись ввиду медленного рельефообразования и риска добычи данных, неудовлетворительных по объему и качеству информации. Основные фактически результаты исследования приводятся для учетной площадки “Дядьково” и отражают изменения морфологии откоса с летней межени 2020 года по осень 2022 года. Еще для трех стационаров рассматриваются главные черты микрорельефа на откосах по состоянию на 2022 год. Описания актуального состояния морфологии береговых уступов опираются на известную [8, с. 92] типизацию фронтов размыва, принятую в первичном визуальном определении преобладающей формы переноса обломочных отложений на откосе.

Следует отметить, что поймы крупных рек часто представляют совокупность элементарных единиц [17, с. 180; 30, с. 375; 35, с. 151] геоморфологического районирования – морфологических комплексов рельефа. В отношении рязанского участка днища окской долины это более чем справедливо, поскольку ранее нами были выделены [15, с. 149] типы таких комплексов локального уровня (ЛМК). Четыре стационара, на которых нами осуществляется мониторинг боковой эрозии окского русла, в этом контексте соответствуют эрозионно опасным участкам сегментно-гравистых ЛМК разных генераций и ЛМК выровненной (наложенной) поймы. Комплексы рельефа выровненной поймы имеют неординарное для днищ речных долин геологическое строение, поскольку пойменная фация аллювия подстилается суглинистой мореной, по всей видимости, днепровского возраста. Фациальная архитектура сегментно-гравистых ЛМК подходит под классическую схему [31, с. 189] аллювиальных отложений Е.В. Шанцера “русловые пески – пойменные суглинки”, разработанную, в том числе, и на основе исследований в долине реки Оки.

Преимущества аэрофотосканирования связывают не только с возможностью формирования точных (до первых сантиметров) цифровых моделей рельефа (ЦМР), но и с реализацией маркшейдерских операций по расчету объема земляных работ. Под “земляными работами” в нашем случае понимается эрозионная активность русла реки Оки во время половодья и сложный комплекс геоморфологических процессов, имеющих место [6, с. 10; 10, с. 290; 37, с. 591] сразу после него и во время летней межени на крутых речных берегах. Известным недостатком традиционных геоморфологических методов является [11, с. 240; 27, с. 50; 41, с. 425] дискретность выходных данных, аэрофотосканирование его лишено, поскольку растр ЦМР имеет значение для каждого пиксела [36, с. 219]. Однако при использовании автоматизированных методов аэрофотосъемки с помощью БПЛА на первый план выходят административные, погодные, обзорные и прочие ограничения. Все они вносят коррективы в выбор места для стационара и сроки полетов.

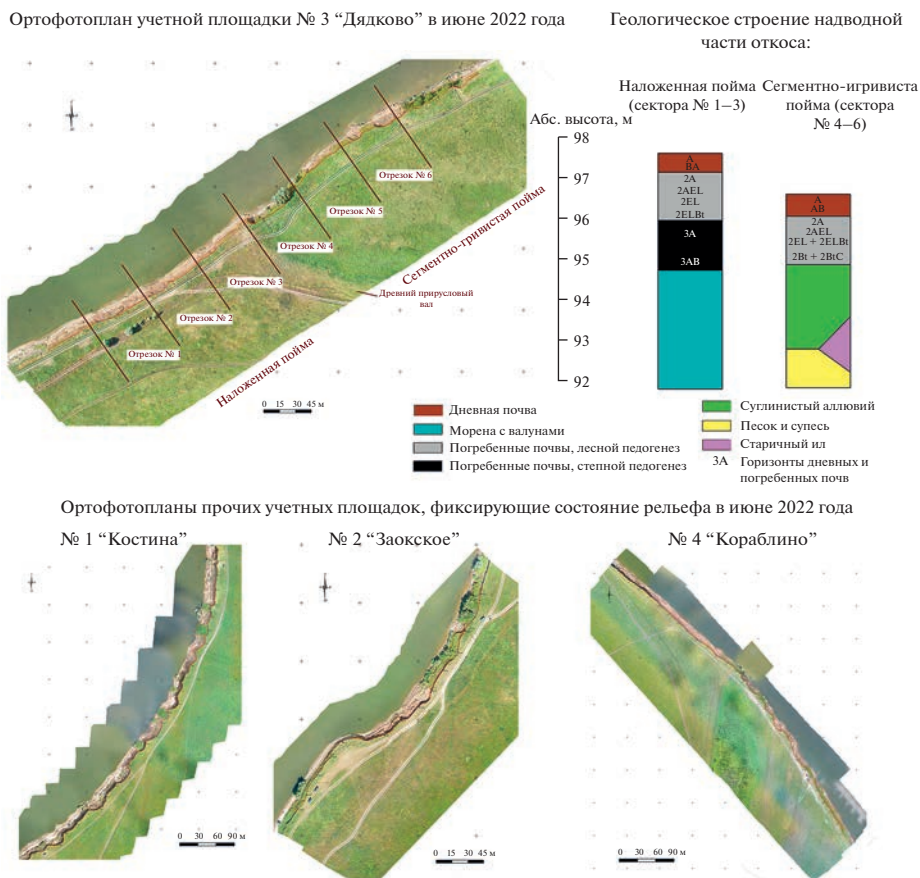
Геодезическая съемка 2020–2021 гг. основана на использовании квадрокоптера DJI Mavic Air 2, для получения координат точек на модели местности мы использовали опорные знаки на откосе, позиционирование которых определялось при помощи GNSS-приемника EFT M4 GNSS. В рамках оптимизации полевых работ сезонов 2022 года начата эксплуатация “дрона” DJI Mavic 2, оборудованного собственным GNSS-приемником. Один GNSS-приемник интегрирован в архитектуру дрона, является ровером и автоматически считывает фотособытие, записывая его координаты. Второй

GNSS-приемник располагается на земле и является базой с известными координатами. Оба квадрокоптера оснащены камерами на трехосевом подвесе-стабилизаторе с CMOS-матрицей 4/3. Для получения данных использовали одинаковое разрешение фотосъемки —  $4000 \times 2500$  пикселей. Во время постобработки в программе Agisoft Metashape получали плотные облака точек, координаты которых высчитывались на основании координат опорных знаков (данные 2020–2021 гг.) или координат фотографий (2022 г). Позиционированное таким образом облако точек формирует модель в AutoCAD (модуль Civil 3D), среднее число точек в модели на стандартную площадь ключевого участка (6–7 га) — 27–29 млн. Разрешение полученных ЦМР достигает 1.3 см по горизонтали и вертикали, что позволяет осуществлять расчеты эрозии с высокой точностью — такой же, как при измерениях рулеткой [7, с. 35] единичных расстояний.

Из недостатков всех аэрометодов получения геоморфологически полезной информации, существенным является качественное содержание выходных данных — получение не ЦМР, а ЦММ (цифровых моделей местности). Кустарниковая и древесная растительность может создать [44, с. 384] ложную поверхность, которая, к тому же, не идентифицируется как высота лесного полога на высоте 1–2 яруса. Обработка ортофотопланов производилась в программе Agisoft Metashape. Некорректные точки на модели выбраковываются автоматически, но параметры процесса задаются вручную и требуют контроля оператора. Особое значение имеет соотношение участков открытого грунта и редкой травы, где рельеф снят достоверно, и выделов, где присутствует густая растительность (от травы до деревьев). Отметим, что стационары, задействованные в нашей работе, практически лишены кустарников и деревьев, встречаются лишь единичные виргинильные и молодые генеративные экземпляры *Salix alba*, *Populus tremula* и *Betula pendula*. Отсутствие старовозрастных деревьев — свидетельство более мощных [9, с. 20] окских половодий в XX веке—начале XXI века, приводивших [21, с. 30] к активной эрозионной динамике откосов.

Тем не менее, методика нашего исследования учитывала сезонность годового хода уровней и расходов Оки — съемка откосов осуществлялась после спада половодья и в конце летне-осенней межени. Каждая из учетных площадок разделена на отрезки меньшей протяженности, не является исключением в данном контексте и ключевой участок “Дядьково”. Шесть отрезков на ортофотопланах протяженностью по 50 м длины фронта размыва, здесь обособлены (рис. 2). Отрезки № 1–3 соответствуют приподнятой наложенной пойме, а сегментно-гривистая генерация пойменного рельефа фрагментирована на отрезки № 4–6. Для данной учетной площадки выполнены расчеты смещения плоскости откоса на различных интервалах абсолютной высоты, от 97.5 м до 90.0 м. Информация о скоростях эрозии послужила основой для 3D-графиков, выполненных в виде проективного покрытия в STATISTICA 10.0 (рис. 3). Также представляются ортофотопланы, фиксирующие состояние береговых откосов на прочих учетных площадках в 2022 г. (рис. 2).

Одной из задач более масштабных работ по установлению причинно-следственных связей динамики берегов был прогноз их деформаций в будущем. С этой целью съемка надводной части откосов дополнялась гидрографическими изысканиями, поскольку прогнозирование боковой эрозии речных берегов включает [26, с. 146] определение ассиметрии поперечного сечения русла и распределения в нем глубины (рис. 4). Для каждого ключевого участка строились три поперечных профиля русла Оки (на входе и выходе в участок, а также по центру) с помощью эхолота и геодезического оборудования. Среди профилей в настоящей работе для анализа полученных результатов привлечены съемки руслового ложа на стационаре “Дядьково” в 2022 году.

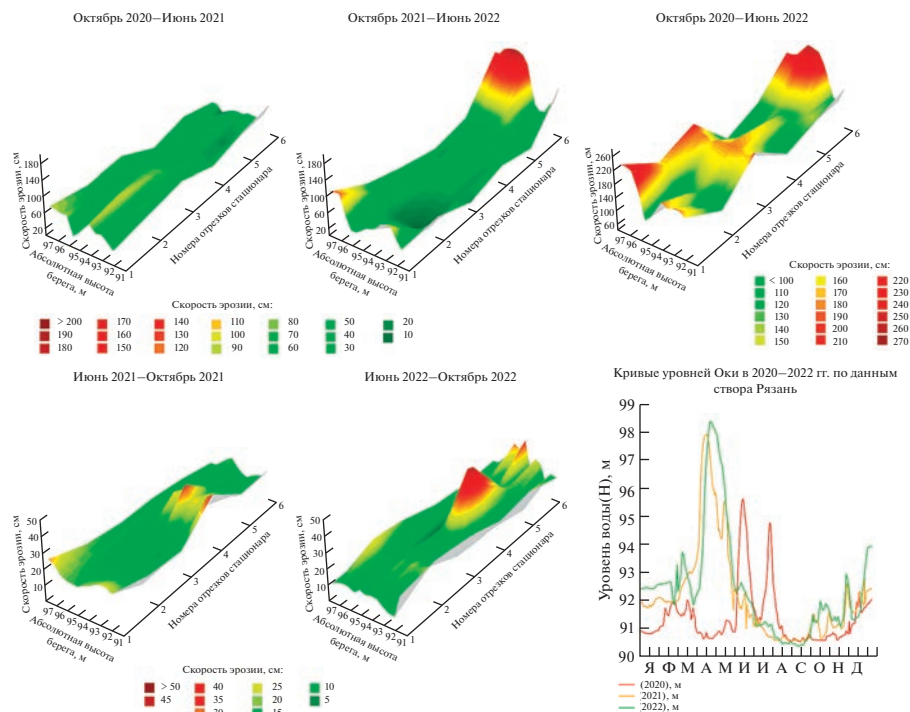


**Рис. 2.** Ортофотопланы с изогипсами (ЦМР) учетных площадок и геологическое строение площадки Дядково.

**Fig. 2.** Orthophotomaps with isohypses (DEM) of accounting stations and the geological structure of the Dyadkovo station.

## ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Значимым фактором морфолитодинамики на эрозионных берегах является [6, с. 5; 8, с. 91; 12, с. 162] высота берега (расстояние от уреза воды до пойменной бровки). В нашем случае, даже на относительно небольших по площади стационарах, высота берега заметно изменяется, что, так или иначе, обусловлено неодинаковым возрастом поймы. По гипсометрическому положению точки поверхности рельефа в пределах учетной площадки “Дядково” четко делятся на две группы: высотой 97.0–97.6 и 96.5–97.3 м. Первая из них соответствует наложённой пойме, выполненной суглинистыми и глинистыми грунтами, а вторая – сегментно-гравистому ЛМК, сложенному суглинками и песками. Можно было бы полагать, что высокий берег размывается медленнее, чем низкий, но это предположение лишь отчасти справедливо только для отрезка № 1 (рис. 3). В прибровочной части поймы скорость эрозии на отрезке достигает 1.1 м/год, но в среднем колеблется в пределах 0.7–0.9 м/год. За период с осени 2020 г. по осень 2022 г. морфологически наиболее четко боковая эрозия проявилась на другом конце



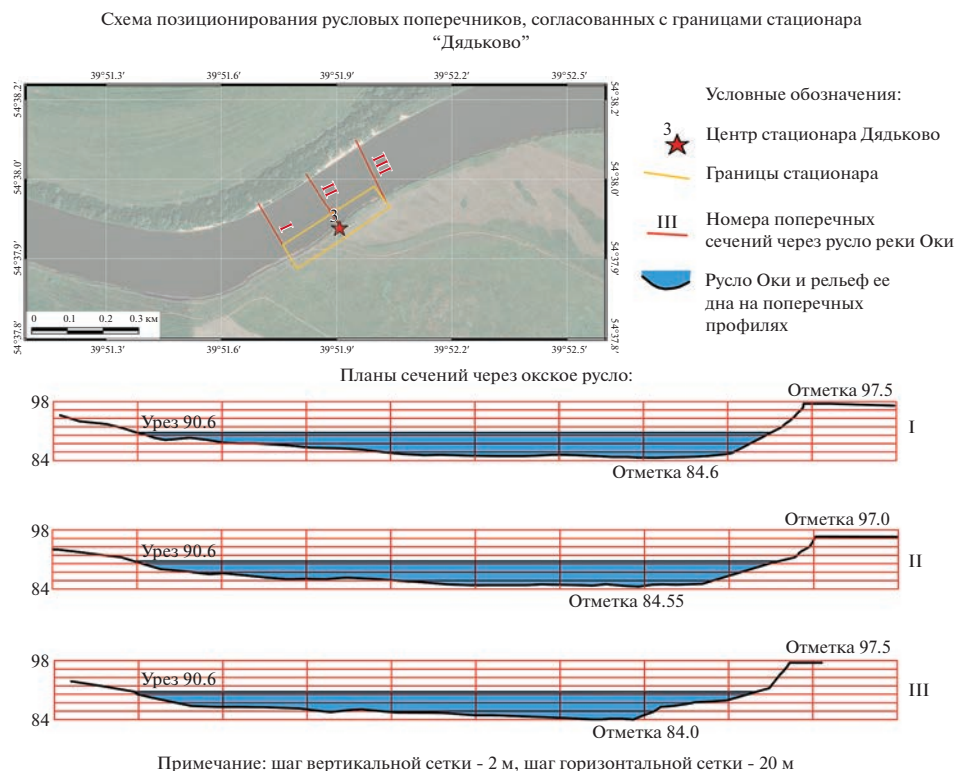
**Рис. 3.** Трехмерные проекции скоростей отступления откоса на площадке Дядьково по сезонам мониторинга и ежегодные уровни Оки.

**Fig. 3.** Three-dimensional projections of slope retreat rates at Dyadkovo station based on seasonal observations and annual levels of the Oka river.

площадки – отрезке № 6. Каждый год фиксируется устойчивое углубление половодным потоком выемки в откосе, на сегодняшний день объем ее достигает 280–300 м<sup>3</sup>. За год берег здесь смещается в сторону поймы на 1.3–1.5 м.

Относительно стабильные участки откоса приурочены к отрезкам № 4 и № 5. Берег откоса здесь ровный, представлен одним элементарным уклоном или осложнен нишами на уровне 92.0–94.5 м, что характерно для отрезка № 5. Берма – низкая площадка на уровне ниш, существует с 2016 года, за прошедшие сезоны она развивалась с неодинаковой скоростью. Мониторинг с помощью БПЛА не выявил резких проявлений рельефообразования в этой позиции в 2020–2022 гг. На ортофотоплане заметно, что берег на отрезке № 4 частично покрыт кустарниковой и древесной растительностью, ему соответствуют наименьшие скорости эрозии, обычно 0.3–0.4 м/год. Однако в средней части берега наблюдается незначительный, но устойчивый экспорт почвогрунтов в период летне-осенней межени. Интенсивность его достигает порядка 0.08–0.12 м<sup>3</sup>/мес. Скорость смещения плоскости откоса при этом колеблется в интервале 0.05–0.12 м/мес. Показательно, что остальные фрагменты берега в маловодный период года относительно стабильны – скорость боковой эрозии находится в пределах точности измерений для традиционных геоморфологических методов и не превышает 0.5 метра за сезон.

В границах уступа наложенной поймы активнее всего берег отступает в прибрежной части, на отметках абсолютной высоты 96.0–97.6 м. Скорость эрозии в интервале



**Рис. 4.** Поперечные профили через русло Оки на стационаре “Дядьково”.

**Fig. 4.** Transverse profiles across the Oka riverbed at the Dyadkovo station.

первых 0–1.5 м от дневной поверхности поймы здесь достигает 0.7–1.0 м/год. На 3D-графиках можно легко видеть, что для плоскости откоса на отрезке № 3 характерно проявление разрушения берега, весьма равномерно распределенное по высоте. Практически во всех пачках отложений поддерживается скорость эрозии около 0.9 м/год. Пространственная организация рельефообразования на отрезке № 1 более сложная — помимо верхней части откоса активная эрозия отмечается и для его основания. Ниша, похожая по форме на аналогичное образование в отрезке № 5 уступа сегментно-грядистой поймы, хорошо различима на ортофотоплане. Объем обеих ниш также примерно одинаков (около 120–140 м<sup>3</sup>), но выемка на отрезке № 1 является более молодой. Начало ее формированию положило половодье 2022 года, на фоне которого плоскость откоса отступила на 0.9–1.0 м в данной позиции. В летне-осеннюю межень эрозия продолжила активную обработку поверхности, углубив нишу еще на 0.2–0.3 м.

Помимо неоднородности мощности геоморфологического процесса по координатам геопространства, значимого [28, с. 21; 35, с. 148] для понимания внутренних закономерностей массопереноса в нем, площадные и объемные характеристики рельефообразования также используются для описания изменчивости неровностей земной поверхности. При всей разнице морфологии отрезков откосов, расчет объемов перемещенных почвогрунтов в Civil 3D однозначно свидетельствует об устойчивости мощности рельефообразования на протяжении всего стационара. Средние значения экспорта почвогрунтов на наложенной пойме достигают 26.2 м<sup>3</sup>/50 м весной и 8.6 м<sup>3</sup>/50 м

летом. Уступ сегментно-гривистой поймы разрушается несколько быстрее — для него получены значения  $27.6 \text{ м}^3/50 \text{ м}$  и  $10.2 \text{ м}^3/50 \text{ м}$  соответственно. Всего на стационаре объем эродированных пород за 2020–2022 гг. составил  $2670 \text{ м}^3$ , при этом экспорт обломочного материала на 1 м откоса достигает  $4.44 \text{ м}^3/\text{год}$ . До 52% от общего объема почвогрунтов было экспортировано из уступа сегментно-гривистой поймы, а 48% — древнего выровненного участка на морене. В целом, вклад летней эрозии был меньшим именно на наложенной пойме (23.2%), чем на отрезках № 4–6 (25.4%). Площадь дневной поверхности поймы на последних уменьшилась на  $279.6 \text{ м}^2$ , в то время как на отрезках № 1–3 — на  $208.4 \text{ м}^2$ . Безвозвратная потеря земель отмечалась, преимущественно, после прохождения половодья (весенняя эрозия обеспечивает 80.5% вклада в потери), и лишь пятая часть от уничтоженных пойменных угодий теряется в ходе летне-осеннего рельефообразования.

Съемка руслового дна на учетной площадке “Дядьково” свидетельствует о довольно неоднородном его рельефе (рис. 4) по длине водотока. Первый створ на входе в площадку представляет резко ассиметричное русло. При ширине потока 180 м, линия максимальных глубин ( $H_{\max} = 5.5 \text{ м}$ ) отдалена от размываемого берега всего на 30 м. Выявлено наличие крупной русловой макроформы в середине ложа, относительная высота которой достигает 1.5–2.0 м. Началу отрезка № 4 соответствует русло аналогичной ширины, сходное по симметрии ложа. Измерения через каждые 3–5 м длины профиля свидетельствуют о развитом грядовом рельефе дна. Построение третьего профиля на выходе из стационара показало наличие мелководья у подводного основания наблюдаемого откоса. Ширина отмелого (глубины 1.5–3.0 м) слабонаклонного участка составляет около 25 м, он резко обрывается уступом высотой до 3.5–4.0 м к тальвегу. Мелкомасштабная визуализация общего профиля берега свидетельствует о четырех–пяти его элементарных уклонах на третьем створе, трех уклонах на втором и одном–двух уклонах на первом.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведенные геоморфологические исследования свидетельствуют о преобладающей роли собственно русловых процессов в преобразовании морфологии эрозионных берегов Оки. Разрушение берегов в мае–июне происходит не только при непосредственном удалении обломочного материала течением. В зарубежной и отечественной литературе неоднократно описывался [11, с. 230; 23, с. 90; 34, с. 90; 46, с. 4673] механизм и приводятся примеры оползания и отседания блоков аллювия, насыщенных влагой после спада половодья. Наша методика, к сожалению, не позволяет разделить два, по сути, разных процесса, поскольку мобилизация подтопленных склонов под действием силы тяжести является стохастическим процессом, предсказание которого обычно затруднено. Для этого либо классифицируют [40, с. 130] откосы по степени уязвимости к оползанию, либо используют [42, с. 1510] непрерывные записи видеокамер. В любом случае, в начальной фазе половодья поток осуществляет насыщение влагой надводной части откоса, как за счет боковой фильтрации, так и посредством повышения уровня грунтовых вод и активизации капиллярного подъема влаги. Поэтому склоновые процессы, наблюдающиеся в короткий промежуток времени (до 1–2 нед.) после спада паводковой волны, можно считать инспирированными русловой динамикой в “активное время” пойменной морфолитосистемы, не обособляя их в рамках единого процесса размыва берега.

Среди прочих агентов рельефообразования выделяется антропогенный морфолитогенез, четко проявляющийся на отрезке откоса № 4. Ложбина, которой заканчивается ЛМК сегментно-гривистой поймы около наложенного прируслового вала (рис. 2), обрывается здесь в русло. К этому месту приурочен спуск к воде, часто посещаемый ры-

баками и отдыхающими. В летне-осеннюю межень это приводило к смещению положения берега на 0.3–0.6 м за сезон, преимущественно на высоте 2.5–3.5 м над урезом, поскольку здесь постоянно обновлялись ступеньки на спуске. Если принять, что в естественных условиях летом на отрезке № 4 должны были бы наблюдаться скорости эрозии 0.0–0.1 м/сезон, то положительные отклонения на проекции целиком обеспечены антропогенной эрозией. Она привела к экспорту, по меньшей мере, 46–50 м<sup>3</sup> почвогрунтов в 2021 г. и втрое большего объема в последнем году мониторинга. Рекреационная нагрузка на рельеф в пределах учетной площадки пространственно сжата и проявляется точечно. На других отрезках откоса спуски к воде отсутствуют, лишь на урезе реки возможно удаление пород при посещении его отдыхающими.

Признав за флювиальным рельефообразованием главенствующую роль, что и ожидалось для подмываемого берега крупной реки, обратимся к двум группам факторов, определяющих динамику русловых процессов – динамическим и статическим. Под первыми понимают [6, с. 7; 32, с. 117] сток наносов и воды, а в рамках второй группы основное значение имеет литология деформируемой формы рельефа. Водный режим реки Оки регулируется синоптическими процессами в пределах ее бассейна, определяющих форму кривой гидрографа. Традиционно [7, с. 32; 9, с. 8] выделяются фазы повышенной водности: весеннее половодье (март–май) и осенние паводки (октябрь–ноябрь). Наименьшие расходы и уровни наблюдаются в летнюю (июнь–сентябрь) и зимнюю межень. Последние 20–30 лет отмечены существенными изменениями как в роли источников питания Оки, так и в распределении стока по сезонам. По некоторым оценкам [9, с. 8], существенно увеличилась зимняя и летняя водность, в отдельные годы весной через створы в нижнем течении Оки проходит менее 50% объема годового стока. Перераспределение стока и неустойчивость уровенного режима не замедлили сказаться на эрозионном потенциале берегов – продолжительность руслонаполнения в период нашего мониторинга колебалась от нуля дней в 2020 г. до 18–25 дней в 2022 г. Промежуточное положение занимает половодье 2021 года с повышением уровня Оки до пойменной бровки и выше в течение 10–15 дней.

Сложный ход половодья 2021 года выражен в двух пиках уровней и расходов, отмечавшихся у стационара “Дядьково” в течение апреля и в мае. Второй максимум расходов, который традиционно связывают с отдачей поймой воды и с верховодным подземным питанием, был обеспечен еще и выпадением жидких атмосферных осадков в бассейне Оки. Руслонаполнение достигалось только в апреле, в середине же следующего месяца уровень реки поднялся до отметок 95.0–95.5 м, на 3.0–3.5 выше меженного уреза. Именно к этому интервалу высоты откоса приурочена наиболее заметная эрозия, которую можно объяснить вторичным механическим воздействием потока на уже насыщенные влагой почвогрунты берега. Неоднородный его гранулометрический состав, наличие в нем как частиц коллоидной размерности, так и валунов, щебня и песка, негативным образом отражается здесь на устойчивости уступа. Во многих моделях разнородный механический состав откоса считается [22, с. 190; 34, с. 191; 38, с. 371; 40, с. 130] фактором риска его мобилизации. Проводя контроль эрозии, за последние годы мы неоднократно отмечали выпадение крупных валунов в основании наложенной поймы, даже после низких половодий. Крупный кластический материал при этом увлекал за собой окружающие его массы грунта. Это привело к повышенной интенсивности эрозии на высоте до 3 м над урезом Оки, соответствующей уровню руслонаполнения на втором пике половодья.

Эрозионная работа волны паводка 2022 года оставляла следы иного рода в морфологии откосов – закладывались или разрабатывались уже существующие отрицательные формы, осуществлялась фрагментация поверхности склона. Фиксировалось образование, тем не менее, выемок, а не классических фестонов. Последние настолько часто встречаются на эрозионных окских берегах, как это видно на ортофотопланах ключевых участков “Костино”, “Заокское” и “Кораблино” (рис. 2), что их наличие на

фронтах размыва являются скорее правилом, чем исключением. Однако, в основном, фестоны встречаются в пределах ЛМК относительно молодой сегментно-гривистой поймы, на уступах же выровненных пойменных массивов, чаще фиксируются стенки обрушения, образующие прямоугольные в плане выемки. Об этом свидетельствует приведенное выше несоответствие потери земельных угодий на отрезках № 4–6 и № 1–3. На последней группе отрезков убыль площади земель меньше на 25%, чем на первой, надводная часть откоса наложенной поймы при этом не выполаживается, а сохраняет постоянную крутизну в интервале  $45^{\circ}$ – $60^{\circ}$ .

Пойменные массивы являются [36, с. 150] объемными телами, и считается [20, с. 40; 33, с. 1220; 44, с. 385], что ЦМР могут предоставить достоверную информацию об их эрозии, а расчеты по топографическим картам осуществляются с неизбежными искажениями. При неустойчивом водном режиме Оки в последние десятилетия опора на топографическую основу, казалось бы, целесообразна только в контексте оценочных расчетов среднесрочной динамики рельефообразования. Однако подобные расчеты, воспроизведенные [6, с. 66] ранее для фронтов размыва ряда излучин Оки, в том числе, Дубровичской, опровергают это предположение. Установлено, что средние скорости отступления пойменной бровки в 1920–1970-х гг. на меандрах со степенью развитости около 2 (такой же, как у Дубровичской излучины) составляли около 1.0–3.0 м/год. На устойчивость динамики рельефообразования не оказывает влияние даже снижение мощности половодий. Данные о максимальных уровнях Оки на створе “Рязань” составляют [9, с. 15] ряд продолжительностью более 80 лет инструментальных наблюдений. Основываясь на них, мы установили, что половодья 2020–2022 гг. имеют обеспеченность по уровням всего 64–95%. Тем не менее, рельефообразование осуществляется со скоростью, которую можно было бы ожидать еще в начале 2000-х годов, что объясняется высокой резистентностью геологического наполнения откоса к эрозии, отражающейся в П-образной форме Дубровичской излучины. Используя классификацию [32, с. 340] русел по степени устойчивости Р.С. Чалова, откос на всей учетной площадке следует признать устойчивым, со слабой интенсивностью русловых деформаций.

Высота берега, как отмечается в работе [6, с. 12], может двояко влиять на его предрасположенность к обрушению: при слишком большой высоте склон вероятнее мобилизуется под действием силы тяжести, но и низкие берега часто размываются [18, с. 53; 26, с. 114] – катастрофически. Отметим также, что в прибровочной части откоса сдвигающая сила достигает [38, с. 262] наибольших значений, поэтому верхние части уступа на учетной площадке должны разрушаться особенно быстро. Данная закономерность четко проявлена на 3D-графиках обобщенной эрозии откоса наложенной поймы, обладающего большой крутизной. По-видимому, здесь имеется превышение критической высоты берега и при намокании слагающих его грунтов и увеличении их удельного веса происходит мобилизация берегового наполнения. Отметим, что полевые измерения влажности и прочих геотехнических свойств грунтов могут быть основой для самостоятельного направления исследований в области реологии откосов окских берегов.

Подводная часть берегового склона на первом створе, расположенном выше всего по руслу, по крутизне приближается к углу естественного откоса [22, с. 79] для мокрых суглинков (около  $30^{\circ}$ ). По всей видимости, русло, по крайней мере, в своей глубокой части, врезано в морену, причем динамическая ось потока в межень здесь приближается довольно близко к берегу. При руслонаполнении не происходит существенного расширения смоченного периметра, скорее всего, стрежень смещается к выпуклому берегу Дубровичской излучины, в центр русла. На плане это русловые сегменты слева от крупной формы донного рельефа. Наши аэрологические исследования [21, с. 57] непосредственно во время половодий позволяют утверждать, что переливания воды на правый берег Оки здесь не наблюдается, следовательно, на наложенной пойме ста-

ционара нет и взаимодействия пойменного и руслового потоков. Ложбина на секторе № 4, наоборот, служит каналом, по которому осуществляется такое взаимодействие. Тем не менее, по причине задернованности поверхности возникающий пойменный поток не производит в ложбине существенной эродирующей работы. Второй створ, начинающийся в ней, обнаруживает плавный переход меженного смоченного периметра в береговой уступ. Здесь развит бечевник шириной до 3–4 м. В основании пойменного уступа залегают илисто-алевритовые осадки старичного типа, ниже уреза Оки они переходят в русловые пески, формирующие пологий подводный откос.

Генезис мелководного участка у правого берега Оки на третьем, расположенном на выходе из стационара, русловом поперечнике неясен. Фактически, это затопленный бечевник, морфологически четко выраженный в виде отдельной ступени руслового рельефа на отметках абсолютной высоты около 88.0 м. Ввиду отсутствия на настоящий момент массовых данных о механическом составе местного мелководья, предполагается сложение данного участка консолидированным тонкодисперсным материалом. Резкие геометрические контуры несвойственны [17, с. 91; 22, с. 96; 42, с. 1510] песчаным грунтам, тем более в разжиженном состоянии, поэтому можно предположить наличие крупной линзы старичных илов в основании берега. Несмотря на то, что по классификации М. Гендельмана [8, с. 91] откос на отрезках № 5–6 можно отнести к типу откосов обрушения (тип 3), рассмотрение морфологии всего руслового склона предполагает выделение здесь прикрытого размыва (тип 5). Прикрывает откос от эрозии не оползень, что встречается достаточно часто в рамках данного таксона классификации, а структура дна. Она может иметь и русловое происхождение, являясь остановившейся песчаной грядой, типа причленившегося к берегу побочня. Более вероятно, однако, вариант сохранившегося от позднейшего размыва реликта голоценового рельефообразования.

Прерывисто-динамическая эволюция пойменной части окской долины отражается в интенсивности осадконакопления в основные фазы плейстоцена и голоцена. За последние 20 тыс. лет повышенная активность эрозионно-аккумулятивных процессов в пойменных частях речных долин на Русской равнине соответствовала [25, с. 524] периодам 18.0–12.5, 6.0–4.5, 3.0–2.0 тыс. лет назад. Выветривание кровли аккумуляровавшегося аллювия днищ долин осуществлялось на фоне почвообразования, которое интенсивнее всего шло в интервалы 9.5–6.0, 4.5–3.0, 1.5–1.0 тыс. лет назад. Кроме того, на изменчивость границ природных зон и связанных с ними доминантных ландшафтов накладывалось местное своеобразие рельефа, в частности, высота его форм и их элементов, определяющая поемность и аллювиальность участков поймы. Во время эпох пойменного почвообразования аккумуляция наилка и поемность были сильно редуцированными либо вовсе прекращались. Большинство датировок голоценовых погребенных почв в долине Оки и в московской пойме соответствуют [2, с. 6; 3, с. 664; 16, с. 63] атлантической фазе голоцена и периоду 2.6–1.0 тыс. лет назад. Встречаются и погребенные почвы, поверхность которых была перекрыта аллювием в суббореальную фазу голоцена.

На Дядьковском стационаре самая нижняя темноцветная почва педолитокомплекса наложенной поймы по морфологическим признакам соответствует лугово-черноземной почве голоценового оптимума. Гумусовые горизонты морфологически сходных почв из разрезов средней Оки имеют [2, с. 6; 3, с. 664; 16, с. 63] радиоуглеродный возраст, соответствующий атлантической фазе голоцена. Мощность прокрашенной гумусом толщи (горизонт 3А) достигает 1.2–1.5 м (рис. 4), причем верхняя погребенная почва серогумусового типа с развитым элювиальным горизонтом 2ЕL залегает на темноцветной почве без разрыва. Учитывая нечеткую границу между горизонтами 2ЕLbт и 3А, можно предположить развитие серой лесной почвы в верхней части лугово-черноземной по механизму стирающей эволюции. На более молодой сегментно-гравистой пойме стационара представлена только одна погребенная почва — серая

лесная. Представляется, что время формирования ее на всех отрезках стационара совпадает, но на отрезках № 4–6 профиль данной почвы — полноразвитый (представлены горизонты 2A, 2AEL, 2EL, 2ELBt, 2Bt, 2BtC).

Возраст поймы непосредственно влияет на динамику боковой эрозии руслового уступа стационара, что можно видеть на графиках (рис. 3). Наименьшие скорости разрушения откоса наложенной поймы приурочены к уровню залегания темноцветной погребенной почвы. Прохождение половодий и рельефообразование в летнее время обеспечивает отступление плоскости откоса на этом уровне всего на 0.2–0.6 м за сезон. Почвенно-литологическими факторами подавления мобилизации откоса, вероятно, выступают высокая степень оструктуренности материала в педах, его уплотнение под весом вышележащих грунтов и тяжелый гранулометрический состав материнской породы. Современные черноземовидные почвы вне днищ долин также демонстрируют [19, с. 185] низкую смываемость осадками по причине наличия водопрочной структуры. Между тем, неизвестно, насколько выявленная нами закономерность достоверна. Нельзя исключить также вариант недостаточной продолжительности наших наблюдений, возможно, что при многолетнем мониторинге с большим пространственным охватом будет установлена второстепенная роль почвообразования в древних лесостепных условиях для сохранения берегов реки Оки от разрушения.

Наличие мощного профиля погребенной серой лесной почвы на отрезках № 4–6 наоборот, проявляется в усиленной эрозии и формировании выемки, особенно на уровне горизонтов 2AEL–2BtC. Разделение горизонта 2Bt на текстурные отдельности способствует проявлению процесса их отседания по магистральным трещинам, а выветрелый материал осветленного горизонта легко осыпается. Примечательно, что эрозия, инспирированная наличием реликтов древнего лесного педогенеза, проявляется во все фазы водного режима Оки, обеспечивая устойчивый приток твердофазного материала на бечевник и в русло водотока. Неустойчивой к размыву и склоновым процессам оказывается и аналогичная палеопочва на отрезке № 1. По всей видимости, резистентность к размыву пойменного суглинка, переработанного элювиально-иллювиальным процессом, снижается, хотя в сухом и неизменном состоянии она довольно высока, как показали [22, с. 175; 29, с. 81] результаты экспериментов. Для доказательства данного предположения применения одного лишь почвенно-морфологического метода недостаточно. Осуществленные геодезические наблюдения показали необходимость массового определения ряда физических свойств почвогрунтов на стационаре, отслеживании динамики некоторых из них (в первую очередь, влажности) в течение гидрологического года для выделения эволюционных предпосылок боковой эрозии надводной части откоса.

Несмотря на малое содержание органического вещества в голоценовых палеопочвах днища долины средней Оки ( $C_{\text{общ}}$  обычно не более 2% [2, с. 9]), при чрезмерном экспорте материала гумусово-аккумулятивных горизонтов в поток могут существенно возрастать геоэкологические риски для пойменных биотопов. Органическое вещество погребенных почв состоит, преимущественно, из гуминовых кислот и угля, обладающих, по М.М. Кононовой [13, с. 219], высокой поглощательной способностью — до 500 мг-экв/100 г. Повышенным значением данного параметра отличаются и специфичные для степного педогенеза вторичные глинистые минералы. Поступление дополнительных порций органики и глин в поток, их депонирование в застойных зонах русла и низкой поймы при паводках способно обеспечить [45, с. 101] активную местную адсорбцию поллютантов (радионуклидов, тяжелых металлов).

Мощность горизонта А современных аллювиальных почв в пойме Оки достигает [5, с. 120; 23, с. 88] 0.5–0.6 м. Объем гумусированного древнего аллювия, залегающего ниже по разрезу, часто сопоставим с дневными почвами по запасам твердофазного вещества. Возраст эродлируемых пойменных массивов в этом контексте играет значимую роль в прикладных прогнозах загрязнения поймы и русла Оки. Как показано на при-

мере отрезков № 4–6 Дядьковского стационара, аллювий молодых ЛМК включает, как правило, 1–2 палеопочвы, обладающих маломощными гумусовыми горизонтами. Аналогичные горизонты лугово-черноземных почв среднего голоцена, в несколько раз более мощные, при потере их наполнения на всем фронте размыва могут, на наш взгляд, инспирировать значительные геоэкологические риски. Оценки подобных неочевидных следствий русловой морфолитодинамики в настоящее время далеки от реализации, но можно отметить, что потенциал их и прочих перечисленных тематических направлений определяется производительностью современных геодезических методов. Вне зависимости от исходных задач, интегрированная в полевые геоморфологические наблюдения на стационарах, автоматизированная съемка поверхности позволяет перейти к организации комплексных исследований для понимания особенностей целого ряда ландшафтных процессов, а не только морфолитодинамики рельефа.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение рельефообразования на стационаре “Дядьково” с применением геодезических методов показало высокую эффективность контроля даже самых незначительных проявлений эрозии (в наномасштабе). При высоком разрешении выходных растров ЦМР и адекватном современном уровне их коррекции удалось подтвердить известные представления о преобладании эрозии в верхних частях русловых откосов. Установлено, что основание надводной части берега разрушается медленнее, причем на его устойчивость не оказывает существенного влияния наличие толщи моренных суглинков на трех из шести секторов откоса. Ежегодный объем экспорта почвогрунтов на стационаре составлял около 1200 м<sup>3</sup> в интервале абсолютных высот 92.0–97.5 м. Консервации рельефа стационара в летне-осенний маловодный период года не происходит, берег часто посещается рекреантами и их деятельность способна обеспечить появление новых отрицательных микроформ на плоскости берега. Общий же вклад летне-осенней эрозии в разрушение откоса составляет 25%.

Расстояние смещения пойменной бровки за любой год мониторинга укладывается в ранее полученные значения для излучин в окрестностях стационара, рассчитанные картометрическим методом по топографическим материалам. Берег стационара устойчив, скорости боковой эрозии не превышают 1.5 м/год. Анализ внешних проявлений эрозионно-аккумулятивных процессов еще на трех стационарах свидетельствует о более сложных кривых, описывающих форму микрорельефа пойменной бровки и изогипс плоскости откоса. Рассмотрение их морфологии может быть темой отдельного исследования, в то время как резкие локальные проявления рельефообразования в пределах стационара “Дядьково” сводятся к появлению выемок средних размеров неправильной или прямоугольной формы.

Прогноз эрозионной активности по имеющейся геоморфологической информации затруднен, поскольку остаются неясными изменчивость подводной части откоса, ее механический состав и устойчивость положения линии наибольших глубин в потоке. По актуальным данным можно заключить, что русло ассиметрично, особенно на участке стационара с наложенной поймой, и это может служить дополнительным фактором мобилизации геологического наполнения берега. Механический состав его в границах исследованной территории различен и согласуется с пространственной организацией русловых процессов на плейстоцен-голоценовом этапе развития днища долины Оки.

Не обладая радиометрическими данными о возрасте двух пойменных массивов, слагающих геологическое тело стационара, по аналогии с ближайшими полноголоценовыми разрезами, обеспеченными <sup>14</sup>C-датами почвогрунтов, мы установили значимую роль эволюции поймы в ее современной морфолитодинамике. Достоверно можно утверждать, что площадь более древнего морфологического комплекса (возраст –

десять тысяч лет) уменьшается на 25% медленнее, чем значительно более молодого комплекса сегментно-гравистой поймы (возраст — первые тысячи лет). При этом объем перемещенных почвогрунтов на обеих частях стационара практически одинаков. Влияние погребенных почв, интегрированных в состав почвогрунтов стационара, неоднозначно — их наличие может как замедлять экспорт наносов, так и увеличивать его, для достоверных оценок требуется продолжение мониторинга. Возможно, более точные зависимости скорости эрозии от морфологии речных берегов и их литологии будут получены при обработке геодезических данных на прочих учетных площадках в рамках региональных геоморфологических исследований.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-77-00050, <https://rscf.ru/project/22-77-00050/>.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. АИС ГМВО : информ. интернет-портал. [2023]. URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения: 10.01.2023).
2. Александровский А.Л., Гласко М.П. Взаимодействие аллювиальных и почвообразовательных процессов на разных этапах формирования пойм равнинных рек в голоцене (на примере рек центральной части Восточно-европейской равнины) // Геоморфология. 2014. № 4. С. 3–17.
3. Александровский А.Л., Ершова Е.Г., Пономаренко Е.В., Кренке Н.А., Скрипкин В.В. Природно-антропогенные изменения почв и среды в пойме Москвы-реки в голоцене: педогенные, пылецевые и антракологические маркеры // Почвоведение. 2018. № 6. С. 659–673.
4. Баборыкин М.Ю., Жидиляева Е.В. Мониторинг оползней с использованием лазерного сканирования и геодезических наблюдений // Инженерные изыскания. № 3. 2014. С. 16–24.
5. Балабо П.Н., Снег А.А., Локалина Т.В., Щедрин В.Н. Почвы мелиорированной поймы верхнего течения реки Оки, используемые в интенсивном земледелии // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2016. № 3 (23). С. 116–137.
6. Беркович К.М., Злотина Л.В., Турыкин Л.А. Размыв речных берегов: факторы, механизм, деятельность человека // Геоморфология. 2019. № 2. С. 3–17.
7. Воробьев А.Ю., Кадыров А.С. Полевые исследования отступания берегов русла р. Оки в 2014–2018 гг. с помощью метода простых реперов // Географический вестник. 2020. № 3 (54). С. 30–45.
8. Гендельман М.М. К вопросу о механизме переработки берегов речных русел // Метеорология и гидрология. 1975. № 12. С. 89–94.
9. 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.
10. Егоров И.Е. Экзогенные геоморфологические процессы и методы их изучения. Ижевск, Изд-во Удмуртского университета, 2017. 383 с.
11. Завадский А.С., Лобанов Г.В., Петухова Л.Н., Серебrenникова И.А., Смирнова Е.А., Чернов А.В. Результаты стационарных исследований русловых процессов на реках ЕТР // Эрозионные и русловые процессы / под ред. Р.С. Чалова. М. изд-во МГУ, 2010. С. 220–251.
12. Кондратьев Н.Е., Попов И.В., Сущенко Б.Ф. Основы гидроморфологической теории руслового процесса. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 272 с.
13. Кононова М.М. Органическое вещество почвы. М.: изд. АН СССР, 1963. 314 с.
14. Королева 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.
15. Кривцов В.А., Воробьев А.Ю. Особенности пространственной организации и формирования локальных морфологических комплексов в пределах поймы реки Оки на ее рязанском участке // Вестник Рязанского государственного университета имени С.А. Есенина. 2014. № 1 (42). С. 142–155.
16. Кривцов В.А., Воробьев А.Ю., Водорезов А.В., Зазовская Э.П. Особенности формирования поймы реки Оки в ее среднем течении (на примере Спасского расширения) // Геоморфология. 2020. № 3. С. 56–71.
17. Лазаренко А.А. Литология аллювия равнинных рек гумидной зоны (на примере Днепра, Десны, Оки) // Труды ГИН, вып. 120. М.: Наука. 1964. 236 с.
18. Ларионов Г.А., Литвин Л.Ф., Краснов С.Ф., Кирюхина З.П., Добровольская Н.Г. Экспериментальные исследования размыва береговых обрывов и откосов // Геоморфология. 2016. № 2. С. 51–58.

19. Литвин Л.Ф. География эрозии почв сельскохозяйственных земель России. М.: Академкнига, 2002. 256 с.
20. 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.
21. Маврин Л.Б., Воробьев А.Ю., Водорезов А.В., Чернов А.В., Рубцова Л.Ю., Бутко А.А. Ока: прошлое, настоящее и будущее. Рязань: Ряз. гос. ун-т имени С.А. Есенина, 2019. 86 с.
22. Мирихулава Ц.Е. Основы физики и механики эрозии русел. Ленинград. Гидрометеиздат, 1988. 303 с.
23. Муромцев Н.А., Мажайский Ю.А., Семенов Н.А., Лыткин И.И., Шуравилин А.В., Томин Ю.А. Почвы долин рек Оки и Угры и их продуктивность. Рязань: РГТУ им. Профессора П.А. Костычева, 2011. 203 с.
24. Назаров Н.Н., Копытов С.В., Чернов А.В. К вопросу о возрасте пойм прерывисто-динамического развития (на примере верхней Камы) // Географический вестник. 2016. № 3 (38). С. 15–27.
25. Панин А.В., Матлахова Е.Ю., Аляутдинов А.Р., Семин В.Н. База данных по абсолютному возрасту аллювия речных долин Европейской России и Сибири и ее палеогидрологическая интерпретация // Пути эволюционной географии. Матер. всеросс. науч. конф., посв. пам. проф. А.А. Величко. 2016. С. 521–526.
26. Рекомендации по оценке и прогнозу размыва берегов равнинных рек и водохранилищ для строительства. ПНИИИС Госстроя СССР. М.: Стройиздат, 1987. 200 с.
27. Рысин И.И., Осипов Д.Н. Геоэкологическая напряженность пойменно-русловых комплексов на реках Удмуртии // Наука Удмуртии. 2021. № 1 (93). С. 43–63.
28. Симонов Ю.Г., Симонова Т.Ю., Кичигин А.Н. Элементарная морфолитосистема “днище долины” // Прогнозно-географический анализ территории административного района. М.: Наука, 1984. Т. 2. С. 14–31.
29. Смирнова Е.А., Лобанов Г.В., Бастраков Г.В. Влияние прочностных характеристик грунтов на интенсивность русловых деформаций в среднем течении р. Десны // Геоморфология. 2009. № 2. С. 75–84.
30. Чернов А.В. География и геоэкологическое состояние русел и пойм рек северной Евразии. М.: ООО “Крона”, 2009. 684 с.
31. Шанцер Е.В. Аллювий равнинных рек умеренного пояса и его значение для познания закономерностей строения и формирования аллювиальных свит // Труды Института геолог. Наук. Геологическая серия, вып. 135. М.: Наука. 1951. 271 с.
32. Эрозионно-русловые системы / под ред. Р.С. Чалова, В.Н. Голосова, А.Ю. Сидорчука. М.: ИНФРА-М, 2017. 702 с.
33. Barker R., Dixon L., Hooke J. Use of terrestrial photogrammetry for monitoring and measuring bank erosion // Earth Surface Processes and Landforms. V. 22. 1997. P. 1217–1227.
34. Barman K., Roy S., Das V.K., Debnath K. Effect of clay fraction on turbulence characteristics of flow near an eroded bank // Journal of Hydrology. V. 571. 2019. P. 87–102.
35. Belletti B., Rinaldi M., Bussetini M., Comiti F., Gurnell A.M., Mao L., Nardi L., Vezza P. Characterising physical habitats and fluvial hydromorphology: A new system for the survey and classification of river geomorphic units // Geomorphology. V. 283. 2017. P. 143–157.
36. Core Curriculum in GIS / Ed. by Goodchild M.F., Kemp K.K. Published by: National for Geographical Information and Analysis (NCGIA) University of California, Santa Barbara, USA. 1991. V. 1–3. P. 181–250.
37. Das V.K., Roy S., Barman K., Chaudhuri S., Debnath K. Study of clay–sand network structures and its effect on river bank erosion: an experimental approach // Environmental Earth Sciences. 2019. V. 78. Article number: 591.
38. Experimental fluvial geomorphology / ed. by S.A. Schumm, M.P. Mosley, W.E. Weaver. Wiley-Interscience, New York, 1987. 413 p.
39. 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. V. 33. Iss. 8. P. 1354–1367.
40. Janes K., Holman I., Birkinshaw S., O’Donnell G., Kilsby C. Improving bank erosion modelling at catchment scale by incorporating temporal and spatial variability // Earth Surface Processes and Landforms. 2018. V. 43. P. 124–133.
41. 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. V. 563. P. 418–434.
42. Klösch M., Blamauer B., Habersack H. Intra-event scale bar–bank interactions and their role in channel widening // Earth Surface Processes and Landforms. V. 40. 2015. P. 1506–1523.
43. Lawler D.M. The measurement of river bank erosion and lateral channel change: A review // Earth Surface Processes and Landforms. V. 18. Iss. 9. 1993. P. 777–821.

44. 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. V. 558. P. 380–391.
45. Schnitzer M., Kerndolf H. // *Water, Air and Soil Pollutants*. 1981. V. 15. P. 97–108.
46. 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. V. 31. Iss. 26. P. 4669–4681.

### Calculation of Seasonal Erosion on the Oka River Riverbanks Using Geodetic Modeling

A. Ju. Vorob'ev<sup>1, \*</sup>, A. S. Kadyrov<sup>1, \*\*</sup>, D. S. Lokteev<sup>2, \*\*\*</sup>,  
E. V. Burgov<sup>3, 4, \*\*\*\*</sup>, and A. A. Balobina<sup>1, \*\*\*\*\*</sup>

<sup>1</sup>Ryazan State University named for S. Yesenin, Rjazan, Russia

<sup>2</sup>Moscow State University of Geodesy and Cartography (MII GAIK), Moscow, Russia

<sup>3</sup>Institute of Ecology and evolution A.N. Severtsov of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>4</sup>National Research Center "Kurchatov Institute", Moscow, Russia

\*E-mail: a.vorobyov90@mail.ru

\*\*E-mail: alieksandr.kadyrov.93@mail.ru

\*\*\*E-mail: lokteev@gmail.com

\*\*\*\*E-mail: burgov.ev@yandex.ru

\*\*\*\*\*E-mail: balobina-anna@rambler.ru

**Abstract**—Directed erosion of riverbanks stands out among the dangerous geomorphological processes on large lowland rivers. In the middle reaches of the Oka river, horizontal channel deformations make a significant contribution to regional lithodynamics and the reduction in the area of floodplain lands. We carried out field geological and geomorphological studies in the valley of this large tributary of the Volga, which revealed the complex facies architecture of the floodplain. The forecast for riverbank erosion near the city of Ryazan has recently declined due to the unstable water regime of the Oka river. For a detailed assessment of the consequences of destabilization of the coastal slopes, their surface was surveyed using a total station and aerial photography from a UAV. Regular observations of erosion by the seasons of the hydrological year allowed us to obtain actual data on the redistribution of soils along the height of the slope. We have found that erosion in summer low water is three times weaker than during high water. The predominance of collapses of the uppermost (0.0–2.0 m from the day surface) part of the erosion fronts was also revealed. The article also discusses possible reasons for the mobilization of the geological filling of the river bank, arising from local differences in the Pleistocene-Holocene evolution of the morpholithic system of the Oka river floodplain and the fixation of geological information in it.

**Keywords:** Oka riverbed, lateral erosion, buried soils, alluvium, high water on rivers, aerial photography, AutoCAD

### REFERENCES

1. AIS GMVO: inform. internet-portal. [2023]. URL: <https://gmvo.sknivh.ru/> (data obrashheniya: 10.01.2023).
2. Aleksandrovskij A.L., Glasko M.P. Vzaimodejstvie alljuvial'nyh i pochvoobrazovatel'nyh processov na raznyh etapah formirovaniya pojm ravninnyh rek v golocene (na primere rek central'noj chasti Vostochno-evropejskoj ravniny) // *Geomorfologija*. 2014. № 4. S. 3–17.
3. Aleksandrovskij A.L., Ershova E.G., Ponomarenko E.V., Krenke N.A., Skripkin V.V. Prirodno-antropogennye izmeneniya pochv i sredy v pojme Moskvy-reki v golocene: pedogennyye, pyl'cevye i antrakologicheskie markery // *Pochvovedenie*. 2018. № 6. S. 659–673.
4. Baborykin M.Ju., Zhidiljaeva E.V. Monitoring opolznejs s ispol'zovaniem lazernogo skanirovaniya i geodezicheskikh nabljudenij // *Inzhenernye izyskanija*. № 3. 2014. S. 16–24.
5. Balabko P.N., Sneg A.A., Lokalina T.V., Shhedrin V.N. Pochvy meliorirovannoj pojmy verhnego techeniya reki Oki, ispol'zuemye v intensivnom zemledelii // *Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem melioracii*. 2016. № 3 (23). S. 116–137.
6. Berkovich K.M., Zlotina L.V., Turykin L.A. Razmyv rechnykh beregov: faktory, mehanizm, dejatel'nost' cheloveka // *Geomorfologija*. 2019. № 2. S. 3–17.

7. Vorob'ev A.Ju., Kadyrov A.S. Polevye issledovanija otstupanija beregov rusla r. Oki v 2014–2018 gg. s pomoshh'ju metoda prostyh reperov // *Geograficheskij vestnik*. 2020. № 3 (54). S. 30–45.
8. Gendel'man M.M. K voprosu o mehanizme pererabotki beregov rechnyh rusel // *Meteorologija i gidrologija*. 1975. № 12. S. 89–94.
9. Gorbarenko A.V., Varenцова N.A., Kireeva M.B. Transformacija stoka vesennego polovod'ja i pavadkov v bassejne verhnej Volgi pod vlijaniem klimaticeskikh izmenenij // *Vodnoe hozjajstvo Rossii: problemy, tehnologii, upravlenie*. 2021. № 4. S. 6–28.
10. Egorov I.E. Jezzogennnye geomorfologicheskie processy i metody ih izuchenija. Izhevsk, Izd-vo Udmurtskogo universiteta, 2017. 383 s.
11. Zavadskij A.S., Lobanov G.V., Petuhova L.N., Serebrennikova I.A., Smirnova E.A., Chernov A.V. Rezul'taty stacionarnyh issledovanij ruslovych processov na rekah ETR // *Jerozionnye i ruslovye processy* / pod red. R.S. Chalova. M. izd-vo MGU, 2010. S. 220–251.
12. Kondrat'ev N.E., Popov I.V., Snishhenko B.F. Osnovy gidromorfologicheskoj teorii ruslovogo processa. L.: Gidrometeoizdat, 1982. 272 s.
13. Kononova M.M. Organicheskoe veshhestvo pochvy. M.: izd. AN SSSR, 1963. 314 s.
14. Korableva O.V., Chernov A.V. Opyt monitoringa ruslovych deformacij na shirokopoljnomykh rekah (na primere r. Kerzhenec) // *Geografija i prirodnye resursy*. 2008. № 2. S. 158–165.
15. Krivcov V.A., Vorob'jov A.Ju. Osobennosti prostranstvennoj organizacii i formirovanija lokal'nyh morfologicheskikh kompleksov v predelakh pojmy reki Oki na ee rjazanskom uchastke // *Vestnik Rjazanskogo gosudarstvennogo universiteta imeni S.A. Esenina*. 2014. № 1 (42). S. 142–155.
16. Krivcov V.A., Vorob'ev A.Ju., Vodorezov A.V., Zazovskaja Je.P. Osobennosti formirovanija pojmy reki Oki v ee srednem techenii (na primere Spasskogo rasshirenija) // *Geomorfologija*. 2020. № 3. S. 56–71.
17. Lazarenko A.A. Litologija alljuvija ravninnyh rek gumidnoj zony (na primere Dnepra, Desny, Oki) // *Trudy GIN*, vyp. 120. M.: Nauka. 1964. 236 s.
18. Larionov G.A., Litvin L.F., Krasnov S.F., Kirjuhina Z.P., Dobrovol'skaja N.G. Jeksperimental'nye issledovanija razmyva beregovyh obryvov i otkosov // *Geomorfologija*. 2016. № 2. S. 51–58.
19. Litvin L.F. Geografija jerozii pochv sel'skohozjajstvennyh zemel' Rossii. M.: Akademkniga, 2002. 256 s.
20. Luchnikov A.I., Ljahin Ju.S., Lepihin A.P. Opyt primeneniya bespilotnyh letatel'nyh apparatov dlja ocenki sostojanija beregov poverhnostnyh vodnyh ob'ektov // *Vodnoe hozjajstvo Rossii: problemy, tehnologii, upravlenie*. 2018. № 1. S. 37–46.
21. Mavrin L.B., Vorob'ev A.Ju., Vodorezov A.V., Chernov A.V., Rubcova L.Ju., Butko A.A. Oka: proshloe, nastojashhee i budushhee. Rjazan': Rjaz. gos. un-t imeni S.A. Esenina, 2019. 86 s.
22. Mirchulava C.E. Osnovy fiziki i mehaniki jerozii rusel. Leningrad. Gidrometeoizdat, 1988. 303 s.
23. Muromcev N.A., Mazhaskij Ju.A., Semenov N.A., Lytkin I.I., Shuravilin A.V., Tomin Ju.A. Pochvy dolin rek Oki i Ugry i ih produktivnost'. Rjazan': RGATU im. Professora P.A. Kostycheva, 2011. 203 s.
24. Nazarov N.N., Kopytov S.V., Chernov A.V. K voprosu o vozraste pojm preryvisto-dinamicheskogo razvitiya (na primere verhnej Kamy) // *Geograficheskij vestnik*. 2016. № 3 (38). S. 15–27.
25. Panin A.V., Matlahova E.Ju., Aljautdinov A.R., Semin V.N. Baza dannyh po absoljutnomu vozrastu alljuvija rechnyh dolin Evropejskoj Rossii i Sibiri i ee paleogidrologicheskaja interpretacija V sb.: *Puti jevoljucionnoj geografii. Materialy Vserossijskoj nauchnoj konferencii posvjashhennoj pamjati professora A.A. Velichko*. 2016. S. 521–526.
26. Rekomendacii po ocenke i prognozu razmyva beregov ravninnyh rek i vodohranilishh dlja stroitel'stva. PNIIS Gosstroja SSSR. M.: Strojizdat, 1987. 200 s.
27. Rysin I.I., Osipov D.N. Geojekologicheskaja naprjazhennost' pojmenno-ruslovych kompleksov na rekah Udmurtii // *Nauka Udmurtii*. 2021. № 1 (93). S. 43–63.
28. Simonov Ju.G., Simonova T.Ju., Kichigin A.N. Jelementarnaja morfolisistema "dnishhe doliny" // *Prognoznno-geograficheskij analiz territorii administrativnogo rajona*. M.: Nauka, 1984. T. 2. S. 14–31.
29. Smirnova E.A., Lobanov G.V., Bastrakov G.V. Vlijanie prochnostnyh harakteristik gruntov na intensivnost' ruslovych deformacij v srednem techenii r. Desny // *Geomorfologija*. 2009. № 2. S. 75–84.
30. Chernov A.V. Geografija i geojekologicheskoe sostojanie rusel i pojm rek severnoj Evrazii. M.: OOO "Krona", 2009. 684 s.
31. Shancer E.V. Alljuvij ravninnyh rek umerennogo pojasa i ego znachenie dlja poznaniya zakonomenostej stroenija i formirovanija alljuvial'nyh svit // *Trudy Instituta geolog. Nauk. Geologicheskaja serija*, vyp. 135. M.: Nauka. 1951. 271 s.
32. Jerozionno-ruslovye sistemy / pod red. R.S. Chalova, V.N. Golosova, A.Ju. Sidorchuka. M.: INFRA-M, 2017. 702 s.
33. Barker R., Dixon L., Hooke J. Use of terrestrial photogrammetry for monitoring and measuring bank erosion // *Earth Surface Processes and Landforms*. Vol. 22. 1997. P. 1217–1227.
34. Barman K., Roy S., Das V.K., Debnath K. Effect of clay fraction on turbulence characteristics of flow near an eroded bank // *Journal of Hydrology*. Vol. 571. 2019. P. 87–102.

35. Belletti B., Rinaldi M., Bussetini M., Comiti F., Gurnell A.M., Mao L., Nardi L., Vezza P. Characterising physical habitats and fluvial hydromorphology: A new system for the survey and classification of river geomorphic units // *Geomorphology*. V. 283. 2017. P. 143–157.
36. Core Curriculum in GIS / Ed. by Goodchild M.F., Kemp K.K. Published by: National for Geographical Information and Analysis (NCGIA) University of California, Santa Barbara, USA. 1991. Vol. 1–3. P. 181–250.
37. Das V.K., Roy S., Barman K., Chaudhuri S., Debnath K. Study of clay–sand network structures and its effect on river bank erosion: an experimental approach // *Environmental Earth Sciences*. 2019. Vol. 78. Article number: 591.
38. Experimental fluvial geomorphology / ed. by S.A. Schumm, M.P. Mosley, W.E. Weaver. Wiley-Interscience, New York, 1987. 413 p.
39. 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.
40. Janes K., Holman I., Birkinshaw S., O’Donnell G., Kilsby C. Improving bank erosion modelling at catchment scale by incorporating temporal and spatial variability // *Earth Surface Processes and Landforms*. 2018. Vol. 43. P. 124–133.
41. 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.
42. Klösch M., Blamauer B., Habersack H. Intra-event scale bar–bank interactions and their role in channel widening // *Earth Surface Processes and Landforms*. Vol. 40. 2015. P. 1506–1523.
43. Lawler D.M. The measurement of river bank erosion and lateral channel change: A review // *Earth Surface Processes and Landforms*. Vol. 18. Iss. 9. 1993. P. 777–821.
44. 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.
45. Schnitzer M., Kerndolf H. // *Water, Air and Soil Pollutants*. 1981. Vol. 15. P. 97–108.
46. 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.

УДК 551.89

## МОРФОЛОГИЯ И ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ДОЛИН ВЕРХНЕЙ КАМЫ И КОЛВЫ В ПОЗДНЕЛЕДНИКОВЬЕ И ГОЛОЦЕНЕ

© 2023 г. А. В. Чернов<sup>а</sup>, \*, Н. Н. Назаров<sup>б</sup>, \*\*

<sup>а</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (МГУ), Москва, Россия

<sup>б</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

\*E-mail: Alexey.chernov@inbox.ru

\*\*E-mail: nikolainazarovpsu@gmail.com

Поступила в редакцию 01.02.2023 г.

После доработки 18.04.2023 г.

Принята к публикации 02.06.2023 г.

В статье рассматриваются вопросы эволюции речной сети северного Прикамья – региона, испытавшего на себе влияние позднечетвертичного ледника. Этот ледник располагался севернее, в бассейнах верхней Вычегды и Печоры, но влияние его талых вод отразилось на перестройках речной сети равнинного Камско-Вычегодского междуречья. С целью выяснения масштабов этого влияния в условиях постледникового потепления, в статье сравниваются пойменно-русловые комплексы верхней Камы и Колвы, формирующиеся в голоцене. Считается, что в верхнюю Каму в позднечетвертичное время осуществлялся переток вод из р. Вычегды по рекам Северной и Южной Келтьмам; в реку Колву, расположенную в 30 км восточнее, никаких дополнительных перетоков воды не было. Выяснилось, что параметры пойменно-русловых комплексов обеих рек идентичны. Следовательно, переток Вычегодских вод в Каму осуществлялся не в позднечетвертичное-голоценовое время, а ранее, и на руслах и поймах Камы и Колвы уже не отражался. Вместе с тем, на Камско-Вычегодском междуречье сохранились следы других, исчезнувших ныне водотоков, образовавшихся при таянии ледника. Происхождение и время образования этих “слепых” водотоков еще предстоит выяснить.

**Ключевые слова:** речная сеть, пойменно-русловые комплексы, Кама, Колва, Вычегда, перестройки, позднеледниковье, голоцен

**DOI:** 10.31857/S0869607123020040, **EDN:** HHGWIG

### ВВЕДЕНИЕ

Позднеледниковая и голоценовая история речной сети Предуралья тесно связана с ее вероятными перестройками, вызванными осцилляциями поздневалдайского ледника на Северо-востоке Европейской России. В этом регионе, а точнее – на границе Республики Коми и Пермского края относительно близко друг к другу подходят верхние течения рек Печоры, Вычегды и Колвы, а также их притоков. Немногим южнее расположены бассейны Камы и Вятки, северные притоки которых также имеют общие и слабо выраженные в рельефе водоразделы с притоками Вычегды. В условиях равнинного рельефа, высокой заболоченности территории и осцилляциями южной границы ледника, то отсекающего верхние течения этих рек, то, наоборот, открывающие по ним сток, вполне возможными были межбассейновые перестройки речной сети.

Вопросы, связанные с перенаправлением стока из одного бассейна в другой по неустойчивым во времени и пространстве верховьям рек этих бассейнов, в последнее

время освещаются в научной литературе. Подробный анализ многих возможных плейстоценовых перестроек сети, наиболее заметных в рельефе междуречий, содержится в работах Н.Н. Назарова с соавторами [9, 14, 21]. В них затрагивается и переток вод верхней Камы в Вятку по Кирсинской долине, и реверсивный сток камских вод на север — в Вычегду через долины нынешних рек Южной и Северной Келтмы. Однако следы большинства плейстоценовых перестроек сейчас слабо выражены в рельефе междуречья и определяются, скорее, по косвенным признакам — болотам на месте спущенных озер, ориентированных по направлению возможного стока. Исключение составляет сквозная долина, соединяющая реки с одним и тем же названием — Северную Келтму, текущую на север и впадающую в Вычегду, и Южную Келтму, несущую свои воды на юг — в Каму.

Ее хорошая сохранность, небольшие уклоны направленных в противоположные стороны рек (0.4 и 0.2 м/км) не вызывали сомнений во флювиальном происхождении этой сквозной долины. В начале XIX века (в 1822 г.) по этой долине был построен сухоходный канал, соединивший таким образом, бассейны Вычегды и Камы, однако эта попытка не удалась из-за малой водности существующих сейчас здесь рек [1].

Келтмской сквозной долине, получившей затем название Келтмского спиллвея, было посвящено большое количество научных работ [13, 19]. Флювиальное происхождение спиллвея в них не оспаривалось — подобные сквозные эрозионные формы в тектонически спокойных областях могли образовываться только какими-то древними водотоками, существовавшими здесь в предшествующие этапы развития речных систем и впоследствии по тем или иным причинам прекратившими свое существование. Реки исчезли или потекли иным путем, а их долины сохранились в рельефе в виде линейных реликтовых понижений. Келтминская сквозная долина относится именно к таким реликтовым формам.

Однако вопрос о времени функционирования Келтминской ложбины в виде полноценной речной долины остается открытым. Одни исследователи [4, 12, 26] считают, что подобный переток Вычегодских вод в бассейн Камы осуществлялся вплоть до ставивания оштакковского ледника (LGM), т.е. 13–15 тыс. лет назад. На относительную молодость этого перетока указывают, в том числе и хорошо сохранившиеся в рельефе и ландшафтах “свежие” следы еще не до конца спущенных озер в смежных бассейнах, когда-то соединявшихся спилвеем — озера Донты в бассейне Вычегды, окруженного низинными переувлажненными болотами, и озера Кумикош в бассейне Камы, окруженного аналогичными ландшафтами. Именно между этими озерами и происходил переток воды по Келтминской ложбине.

Другие ученые считают, что если такой переток и был, то не в позднем плейстоцене, а значительно раньше, ссылаясь при этом на то, что в позднем валдае подпрудного водоема, достигающего своим уровнем келтминского порога (131 м абс.), не существовало, т.к. в разрезах вычегодской террасы типичных озерных отложений не найдено [2, 27].

Но, как бы то ни было, сквозная долина между Вычегдой и Камой по рекам Северная и Южная Келтма существует, и если принять соображение, что по ней осуществлялся переток воды из бассейна Вычегды в бассейн Камы, то река Кама выше устьев Южной Келтмы и соседней Пильвы, и Кама и ее притоки, лежащие к востоку от этого места, имеют различную историю своего развития. Эти возможные различия могли бы отразиться в морфологии долин этих рек.

С целью обнаружения возможных различий в рельефе долины Камы выше устья Южной Келтмы и лежащей ниже близкой с ней по условиям питания и водосбора реки Колвы, относящейся к бассейну р. Вишеры, был проведен палеорусловой анализ рельефа днищ долин обеих рек. Анализу подверглись поймы и 1-е надпойменные террасы обеих рек.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Метод палеорусловедения заключается в восстановлении положений древних русел рек по рисунку и взаиморасположению форм первичного пойменного рельефа — грив и стариц (следов бывших излучин), и ложбин, и гряд бывших островов. Первичный пойменный рельеф образуется в процессе образования поймы при зарастании побочной перекатов, осередков, отмелей в русле; после образования он консервируется на поверхности поймы и говорит о характере русловых деформаций того периода, когда тот или иной пойменный массив формировался. Остается только разделить всю совокупность массивов или сегментов на группы, сформированные в близкий период времени, т.е. примерно одновозрастные. Такие группы называются пойменными генерациями. Иногда самая древняя генерация затапливается во время высоких половодий только по ложбинам, оставляя возвышенные участки грив и гряд в это время над водой. Тем самым, она получает название поймо-террасы, хотя вместе с поймой составляет единую лестницу генераций, слагающих днище речной долины. На поверхности поймо-террасы первичный пойменный рельеф сохраняется почти в полном объеме, хотя здесь он уже видоизменен болотными и эоловыми процессами [23].

Восстановленные параметры русел содержат информацию о физико-географических условиях того периода, когда этот рельеф формировался, а именно — об осадках и внутригодовом распределении стока, а подкрепленный набором палеоботанических данных — о температурах. Так как сохранность форм флювиального рельефа неуклонно снижается от молодых пойменных массивов к зрелым и от поймы к террасе, использовать метод восстановления физико-географических условий по первичному флювиальному рельефу можно только для пойм и низких надпойменных террас в широкопойменных долинах. Но и здесь достоверность таких реконструкций снижается по мере удревления изучаемых поверхностей. Первичный флювиальный рельеф на более древних террасах — II-й и т.д., как правило, не сохраняется.

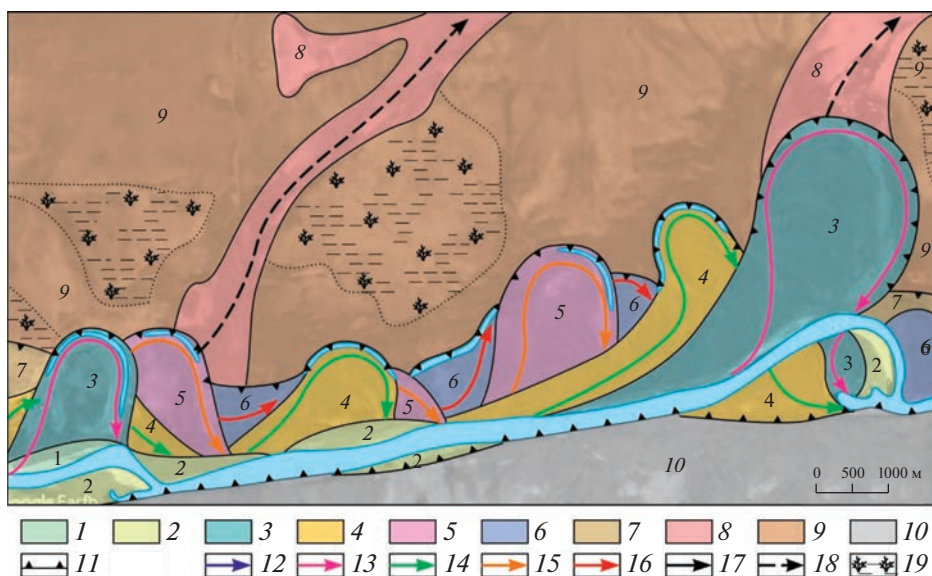
Исходя из сохранности рельефа и положения в долинах Камы и Колвы поверхностей поймы и I-й надпойменной террасы, оказалось методически целесообразно сначала восстановить историю развития долины Камы и Колвы в более близкий к современности период формирования поймы, относящийся к голоцену, и только затем рассмотреть период истории обеих долин, предшествующий голоцену.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Современная долина р. Камы на участке между устьями рек Весляны и Южной Келтмы наследует древний и глубокий тектонический разлом с явно приподнятым правым (южным) бортом и опущенным левым [5]. Высота правого коренного борта долины над меженным урезом реки равна 30–35 м, левый борт долины низкий, террасированный. Ширина днища долины составляет 6–8 км. В плане долина, опирающаяся на разлом, образует типичную для планетарных разломов изогнутую (кулисообразную) форму с изгибом на юг [24]. Современное русло здесь повторяет очертания разлома и располагается под правым берегом.

Однако, судя по флювиальному рельефу днища Камской долины, подобное положение река заняла только в позднем голоцене — около 1.3 тыс. л. н. [7]. До этого времени на протяжении всего голоцена Кама активно осваивала свою долину по всей ее ширине, о чем свидетельствует множество изогнутых старичных озер и староречий, разбросанных по широкой левобережной пойме и на I-й надпойменной террасе. Под правым коренным берегом сохраняются только небольшие фрагменты поймы в динамической тени потока за неровностями коренного берега (рис. 1).

На днище долины удалось выделить 6 разновозрастных генераций, точно относящихся к пойме, и еще одну более древнюю 7-ю генерацию, затапливающуюся только по ложбинам в высокие половодья, но хорошо сохранившую первичный пойменный



**Рис. 1.** Строение дна долины р. Камы. Пойменные генерации – периоды образования: 1 – современный; 2 – субатлантик; 3 – суббореал; 4 – поздний атлантик; 5 – средний атлантик; 6 – ранний атлантик; 7 – бореал. Низкая терраса: 8 – ложбины (предбореал); 9 – возвышения (поздний дриас); 10 – коренной берег; 11 – граница между поймой и террасой. Восстановленные обобщенные положения русла реки при формировании генераций: 12 – 2-й, 13 – 3-й, 14 – 4-й, 15 – 5-й, 16 – 6-й, 17 – 7-й, 18 – в ложбинах низкой террасы. 19 – болота на террасе.

**Fig. 1.** Structure of the bottom of the valley of the Kama River. Floodplain generation – periods of formation: 1 – modern; 2 – Subatlantic; 3 – Subboreal; 4 – late Atlantic; 5 – mid Atlantic; 6 – early Atlantic; 7 – Boreal. Low terrace: 8 – hollows (Preboreal); 9 – elevations (Younger Dryas). 10 – the root coast. 11 – the border between the floodplain and the terrace. The restored generalized positions of the riverbed during the formation of generations: 12 – 2nd, 13 – 3rd, 14 – 4th, 15 – 5th, 16 – 6th; 17 – 7th; 18 – in the hollows of the lower terrace. 19 – marshes on the terrace.

рельеф. На отсутствие затопления указывает ее высокая заболоченность, невозможная при промывном режиме поймы; тем самым, эту поверхность можно назвать поймо-террасой. Все генерации последовательно сменяли друг друга; при образовании каждой последующей генерации предыдущая частично уничтожалась в процессе размыва берегов. Общим почти для всех генераций, исключая образовавшиеся в современном относительно прямолинейном русле, является преобладание сегментно-гривистого рельефа на пойме, что говорит о преобладании в течение всего изучаемого периода меандрирования реки [8].

Используя арсенал методов палеорусловедения, включая радиоуглеродное датирование для определения времени образования и развития каждой генерации, была сделана попытка восстановления конкретных положений древнего русла Камы в каждый период формирования разновозрастных генераций – от времени образования поймо-террасы до наших дней [3, 11]. В силу асимметрии долины и сосредоточения пойменных грив и стариц – индикаторов положений русла только на левом берегу, сплошное обнаружение положений русла на протяжении всего участка оказалось невозможным. Поэтому восстановленными оказались только отдельные фрагменты древних русел, по конфигурации которых оказалось возможным воссоздать и основные параметры древних излучин. Все генерации и достоверные положения древнего русла Камы удалось показать на геоморфологической карте, фрагмент которой приведен на рис. 1.

Визуальный анализ восстановленной конфигурации русел пра-Камы на разных этапах своего развития, показал, что размеры (кривизна и шаг) грив, ложбин и стариц на различных пойменных генерациях существенно различаются (табл. 1). Следовательно, столь же заметно изменялись и климатические условия в части выпадения осадков или резкости половодий.

Наиболее древней в пределах днища долины Камы является первая надпойменная терраса. Ее поверхность образовывалась 14–11 тыс. лет назад, т.е. еще в позднем неоплейстоцене. Ледниковый покров уже отступил далеко на север, но речная сеть региона еще продолжала активно перестраиваться, в этот период времени уже в пределах своих собственных долин (подобно тому, как продолжают перестраиваться сейчас долины рек южной Карелии, еще недавно занятые осташковским ледником [25]). В конце этого этапа, приходящегося скорее всего на пребореал, водный поток Камы уже сконцентрировался в единое русло, которое, однако, перед слиянием с реками Тимшером и Южной Кельмой располагалось не под правым высоким берегом, как сейчас, а под левым, огибая слева обширные болота Окницкое, Дикое и Яблонька, бывшие в то время единым озером.

По мере снижения влияния ледника Кама очень быстро переместилась ближе к правому берегу и уже во время образования 7-й пойменной генерации (9.3–8.4 тыс. лет назад) ось долины реки находилась уже справа от этих болот, в 3-х км к северу от крутого ведущего коренного берега. Русло реки, несмотря на его наличие, свободно меандрировало в широкой пойме, то приближаясь к нему, то отходя глубоко в пределы поймы (рис. 1). Подобное интенсивное меандрирование было характерным типом русла верхней Камы на протяжении почти всего голоцена; изменялись только размеры излучин. Средний радиус кривизны стариц на поверхности этой генерации составил 960 м, их шаг (расстояние между точками перегиба) – 1.9 км.

Во время формирования 6-й пойменной генерации (7.6–7.4 тыс. л.н.) параметры излучин ненамного возросли, что может трактоваться, как увеличение в раннем атлантическом периоде, в начале климатического оптимума, водности речного потока.

В середине атлантического периода, 6.6 – 5.9 тыс. л. н., в период термического максимума коэффициент стока понизился из-за увеличения испарения и подземного стока в оттаявшую от мерзлоты толщу [22]. Это отразилось на параметрах русла – излучины, которые образовывались в то время, были заметно меньшего размера, чем формировавшиеся до и после них. Следы от этого этапа сохранились на 5-й пойменной генерации; на рис. 1 видно, что ширина пояса меандрирования в это время была относительно небольшой.

Похолодание конца атлантического периода вызвало рост количества осадков, отразившееся в увеличении водности реки во все фазы режима. Именно этим обстоятельством можно объяснить резкую активизацию русловых деформаций во время формирования четвертой пойменной генерации, отложения которой датируются в интервале 5.0–4.5 тыс. л. н. Русло при формировании 4-й генерации оставило свои следы в виде гривистых сегментов и стариц почти по всей ширине поймы, глубоко вдаваясь в ее поверхность вплоть до левобережной границы, где оно контактировало с уступом первой и более высоких террас. Это был период, когда блуждающая река быстро размывала свои берега.

Третья пойменная генерация формировалась в течение всего суббореального времени – 3.4–2.7 тыс. л.н. Многоводье предыдущего периода завершилось, руслоформирующие расходы воды снизились, и излучины Камы вновь стали меньше по размерам. Тем не менее, русло в этот период по-прежнему активно перерабатывало пойменные берега, отходя от правого берега вглубь левобережной поймы – так же далеко, как и в предыдущий этап формирования поймы; ширина пояса меандрирования на этом этапе не уменьшилась.

Но в первой половине субатлантического периода на описываемом участке произошли существенные изменения: практически все излучины предшествовавшего периода были спрямлены, и русло Камы заняло устойчивое положение вдоль коренного ведущего правого берега. Одновременно более устойчивыми стали пойменные берега предшествующих генераций. На крутом правом берегу стали возникать поселения, некоторые из которых сохранились до наших дней.

Н.Н. Назаров на основании определения средней скорости накопления торфа в заболачивающихся старичных озерах, рассчитал период, когда на верхней Каме произошло массовое спрямление излучин и перемещение русла к коренному берегу — раннеатлантическое и позднезуббореальное время. Этот вывод подтверждается и при определении абсолютного возраста 3-й пойменной генерации, сформировавшейся до спрямления русла — 3.4–2.7 тыс. л. н., и возраста пойменных массивов второй генерации, которые лежат вблизи современного русла, повторяя его прямолинейную конфигурацию — 1.4–1.1 тыс. л. н. Подобное развитие событий может быть объяснено изменением водности, сказавшимся, прежде всего, на обеспеченности руслоформирующих расходов верхнего интервала [20]. Высокие половодья при затопленной пойме, случавшиеся, по-видимому, на всем протяжении средних веков вплоть до XIX в. содействовали спрямлению камских излучин через шпору [7]. Вместе с тем, нельзя исключать также активизацию системы дугообразных разломов, которая способствовала закреплению русла в зоне повышенной трещиноватости возле линии разлома.

За прошедшую с тех пор тысячу лет положение русла Камы практически не изменилось — горизонтальные русловые деформации по всей ее длине прекратились кроме отдельных мест, где русло отходит от коренного берега из-за его неровностей, но быстро подходит к нему вновь. Исключение составляет участок Камы при впадении в нее справа реки Косы — там уступ коренного берега отклоняется в долину Косы, ограничение блуждания русла Камы исчезает, и она расширяет свою долину с 3 до 7 км за счет образования поймы правого берега.

Рассматривая долину реки Колвы на участке от пос. Ныроб до устья следует отметить, что так же, как и долина Камы, она асимметрична — русло тяготеет к правому берегу, а большие площади поймы и террас расположены слева от русла. Здесь, в отличие от долины Камы, эта асимметрия обусловлена не активным разломом, а ускорением Кориолиса. Поэтому на правом берегу также периодически встречаются пойменные массивы.

Так же, как и на Каме, следы активного блуждания реки прослеживаются на поверхности 1-й надпойменной террасы и на всех генерациях пойменно-руслового комплекса реки. Все они обладают сегментно-гравистым рельефом, что говорит о преобладании процессов меандрирования, практически, на протяжении всего позднего неоплейстоцена и голоцена. Даже в местах распространения современного прямолинейного русла (в районе с. Вильгорт и г. Чердынь) на левом низком берегу прослеживаются старицы со следами недавнего спрямления, почти на всем протяжении еще заполненные водой.

В пойменно-русловом комплексе р.Колвы выделяется 7 разновозрастных пойменных генераций; входящая также в состав днища долины 1-я надпойменная терраса затопливается в настоящее время частично, по ложбинам. Вместе с тем, возраст формирования террасы и древних пойменных генераций (7-й и 6-й) оказался моложе аналогичных поверхностей на соседней Каме, и лишь начиная с атлантического периода он становится синхронным возрасту генераций Камы (табл. 1). Это говорит о разном режиме осадков и водности территорий, лежащих дальше от Уральского хребта (Кама) и ближе к нему (Колва) в первой половине голоцена — Предуралье было в то время влажнее и русловые деформации — как горизонтальные, так и вертикальные, проходили в то время на Колве интенсивнее, чем на Каме. Однако начиная со второй половины голоцена условия увлажнения и русловой режим обеих рек выравнился.

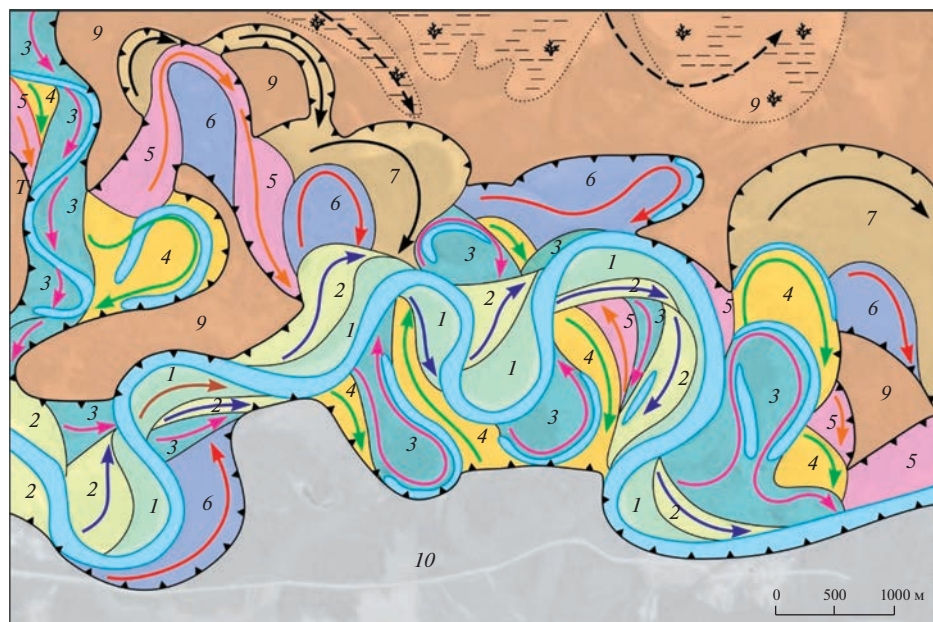


Рис. 2. Строение дна долины р. Колвы. Условные обозначения см. на рис. 1.

Fig. 2. Structure of the bottom of the valley of the Kolva river. See the symbols in Fig. 1.

В морфологическом отношении генерации поймы Колвы сходны с генерациями поймы Камы. Это хорошо видно на геоморфологической карте дна долины Колвы, фрагмент которой представлен на рис. 2, и по данным сводной табл. 1 — в ней приведены параметры стариц (бывших излучин), кривизна которых соответствует водности речного потока (среднегодовой или руслоформирующей) во время их формирования.

Размеры излучин Колвы закономерно меньше излучин Камы, так как среднегодовая водность Камы на исследованном участке в четыре раза превышает среднегодовую водность Колвы (920 против 200 м<sup>3</sup>/с). Однако обращает на себя внимание, что соотношение параметров стариц (особенно радиусов их кривизны) между различными генерациями на Колве сохраняется таким же, как и на пойме Камы: старицы 6-й и 4-й генераций отличаются более значительными размерами, чем старицы 5-й и 3-й генерации. Лишь параметры излучин современных русел Камы и Колвы соотносятся с размерами стариц на генерациях своей поймы по-разному: на Каме средний радиус кривизны современных излучин меньше, чем радиусы кривизны 7-й, 6-й и 4-й генераций, тогда как на Колве средний радиус кривизны современных излучин незначительно, но больше радиусов кривизны стариц на пойме. В данном случае это расхождение можно объяснить тем, что горизонтальные русловые деформации в русле современной Камы ограничены его расположением вдоль коренного берега, препятствующего развитию излучин, тогда как на Колве такого ограничивающего фактора нет.

Не отмечено на Колве и массового спрямления излучин русла на рубеже формирования 3-й и 2-й пойменных генераций. Действительно, на ряде участков долины Колвы (дер. Бигичи—с. Вильгорт и с. Покча—г. Чердынь) русло тяготеет к правому высокому коренному берегу, тогда как большая часть сегментно-гвивистых генераций сосредоточена на левом — низменном берегу, но вполне вероятно, что в данном случае

спрямление ряда излучин произошло в субатлантическое время при общем для рек всего региона увеличении в этот период руслоформирующих расходов воды [6, 10].

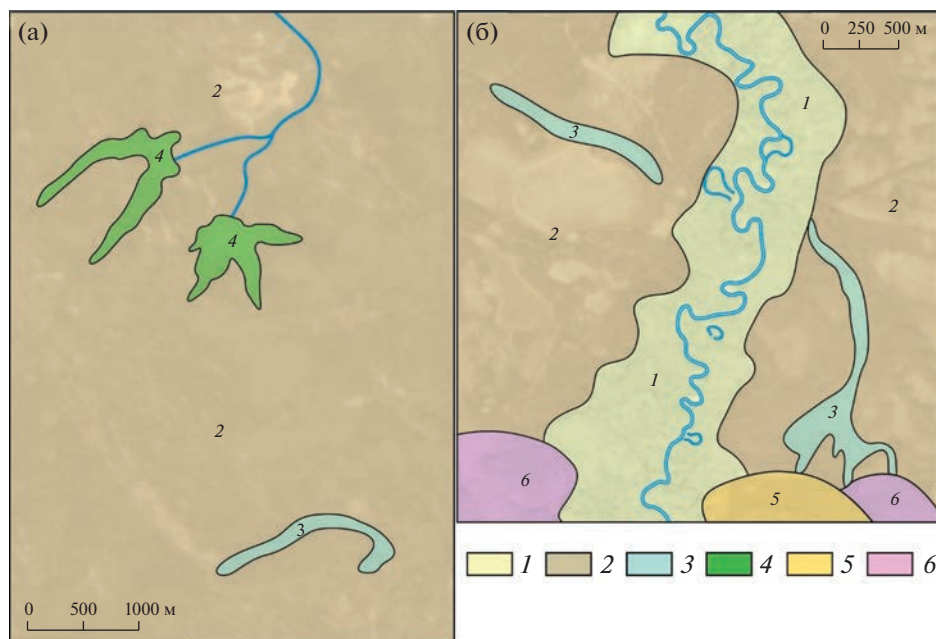
### ВЫВОДЫ

Анализируя отмеченную закономерность о сохранении соотношения размеров стариц на разных генерациях пойм Камы и Колвы, можно сделать вывод, что изменения в половодном стоке обеих рек на протяжении голоцена были синхронными: снижение руслоформирующих расходов во время формирования 5-й и 3-й генераций происходило и на Каме, и на Колве, равно как и возрастание их на следующих этапах — при образовании 6-й и 4-й пойменных генераций. О причинах меньшего размера редких излучин современного русла Камы в сравнении со старицами на ее 4-й генерации было ранее объяснено положением современного русла вдоль коренного берега, сложенного трудно размываемыми песчаниками, ограничивающими его деформации. Уступ правого коренного берега Колвы в местах контакта с ее руслом имеет высоту всего 10–12 м; примерно через каждые 400–500 м он пересекается открывающимися к руслу реки балками, обеспечивающими пологий спуск с коренного берега к реке. Эти обстоятельства могут облегчить на Колве развитие горизонтальных русловых деформаций, т.е. образование излучин.

Подобная идентичность русловых деформаций и Камы и Колвы говорит о схожести условий их формирования за весь период образования поймы, т.е. за последние 8 тысяч лет — и Кама и Колва развивались в этот период только под влиянием водных потоков, формирующихся в пределах их собственных водосборов, лежащих в одном климатическом поясе, т.е. без поступления воды извне, из бассейнов с другими условиями формирования стока. При этом отмечено, что водонасыщенность (модуль стока) бассейна Колвы в раннем голоцене была выше, чем водонасыщенность бассейна верхней Камы, что выше было объяснено большей климатической ролью Уральского хребта.

Однако рассматривая рельеф южных склонов водораздела между Печорой и Вычегдой с одной стороны и Камой с другой, за пределами нынешних пойменно-русловых комплексов, можно увидеть в нем заметные различия. И эти различия относятся к более ранней, доголоценовой истории развития Камско-Вычегодского междуречья. В западной части водораздела, относящейся к бассейну Камы, но расположенной на удалении от современной долины, можно обнаружить фрагменты древних русел, некогда образывавших густую речную сеть, но затем покинутые иссякшими водными потоками, потерявшими связь с приемной рекой и друг с другом и сохранившихся в виде обособленных линейно вытянутых болот.

В первую очередь, это получившая широкую известность Большая террасовая ложбина (БТЛ), открывающаяся в долину Камы ниже устья современной реки Южная Келтьма. Исследования ее морфологии, строения, возраста, обобщены в статье Н.Н. Назарова с соавторами [16]. Ложбина представляет собой вытянутое с севера на юг линейное оторфованное понижение длиной 84 км и шириной 200–300 м. Место ее начала теряется в современной долине Южной Келтьмы (откуда эта ложбина как бы выходит), в устье она разветвляется на несколько более узких староречий, открывающихся в заболоченную низину, похожую на днище спущенного озера. Рисунок ложбины не оставляет сомнений, что она является реликтом относительно крупного водотока, стекающего с Вычегодско-Камского водораздела в озеро, располагавшееся в современной камской долине. Прекращение стока по ложбине и начало ее заболачивания определяется в 8.3–8.4 тыс. лет назад. Дальнейший рост торфяника в ложбине фиксирует различные этапы голоцена; их климатические условия соответствуют реконструкциям водности потока Камы, реконструированные по морфологии пойменных генераций этой реки.



**Рис. 3.** Следы повышенного стока на южном склоне Вычегодско-Камского водораздела: (а) заболоченные приплотинные озера в верховьях р.Касьян; (б) заболоченные ложбины — аналоги БТЛ в устье Южной Келтмы. (р. Леман). Условные обозначения: 1 — пойма р. Леман; 2 — терраса р. Камы; 3 — древние (ранне-голоценовые) фрагменты большой пра-реки; 4 — подпруженные верховья пра-Касьяна, стекающего в р. Тимшер. Фрагменты поймы р. Камы: 5 — 4-й генерации; 6 — 5-й генерации.

**Fig. 3.** Traces of increased runoff on the southern slope of the Vycheгда-Kama watershed: (a) swampy dam lakes in the upper reaches of the river Kasyan; (b) swampy hollows — analogues of BTL at the mouth of the Southern Keltma. (the Leman River). Symbols: 1 — the floodplain of the Leman River; 2 — the terrace of the Kama River; 3 — ancient (Early Holocene) fragments of a former large river; 4 — the spring-loaded upper reaches of the Kasyan flowing into the Timsher River. Fragments of the floodplain of the Kama River: 5 — 4th generations; 6 — 5th generations.

Большая террасовая ложбина исследована довольно подробно, однако в рельефе того же самого южного склона Вычегодско-Камского водораздела хорошо просматриваются другие аналогичные заболоченные ложбины. Распространены они не только поблизости от Келтминского спиллвея, но и в западной части водораздела, где он переходит в Вычегодско-Вятский водораздел. Иногда такие ложбины выглядят, как “вырванные” из существующих речных систем фрагменты, похожие на спущенные водохранилища (рис. 3а), реже — как “слепые” участки бывших долин, линейно вытянутых, ныне заболоченных и не имеющих выраженных водосборов и приемных бассейнов (например, система оторфованных ложбин у с. Кебарты) (рис. 3б). Количество линейно-вытянутых болот возрастает в западном направлении. Н.Н. Назаровым с соавторами [17] было высказано предположение, что подобные “слепые” долины, хотя и являлись каналами стока, но не были связаны непосредственно с водоемом, существовавшим в долине Вычегды. Вероятно, они являются следами местного стока из многочисленных озер, существовавших при таянии осташковского ледника по обе стороны Вычегодско-Камского водораздела. Сходство остатков таких каналов стока со спущенными водохранилищами также вполне объясняется предположением, что функцию плотин спущенных водоемов выполняли эоловые гряды, возникшие в перигляциальных условиях близко расположенного ледника [18].

Все подобные находки в виде фрагментов древних многоводных русел указывают на то, что в период 11–14 тыс. лет назад бассейн широтного участка Камы был ареной водотоков, так или иначе дренирующих обширную Камско-Вычегодскую низину. Были ли это следы более раннего перетока Вычегодских вод в Каму, от которого сейчас сохранилась только сквозная Келтьминская ложбина, или же это было следствием повышенного увлажнения всего Вычегодско-Камского водораздела, сказать трудно.

В то же время, в бассейне Колвы подобных реликтовых каналов стока не обнаружено. Учитывая близость восточной части северной периферии Камского бассейна к Уральскому хребту, являющемуся климаторазделом, можно предположить, что, во-первых, талые воды последнего четвертичного ледника, граница которого отклонялась здесь далеко на северо-восток, не достигали рек Камского бассейна и их сток обеспечивался Печорой и ее притоками. Во-вторых, даже при избыточном увлажнении территории Предуралья в этот период речной сток концентрировался в имеющихся уже тогда руслах Колвы и ее притоков; растекания вод по склону водораздела и затем исчезновения каналов их стока не происходило.

О высоком стоке Колвы в позднем неоплейстоцене и раннем голоцене говорят и большие, превышающие современные, размеры излучин, формировавшихся рекой в то время и сохранившихся в первичном пойменном рельефе первой надпойменной террасы и 7-й пойменной генерации Колвы [15] (табл. 1) (см. рис. 2).

Подобные необычные следы русловых перестроек разного масштаба в период, предшествовавший голоцену с его последовавшей стабилизацией речного стока и устойчивостью положений русел Камы и Колвы с их притоками, так или иначе, нуждаются в своем объяснении.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена по плану темы госзадания НИЛ эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ им. М. В. Ломоносова “Гидрология, морфодинамика и геоэкология эрозионно-русловых систем: теория, география, практика”, и при финансовой поддержке РФФИ (проект РФФИ № 20-05-00276).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беляков А.А.* Водяная сеть России. Изд-во “Нестор-История”, М.—СПб.: 2021. 264 с.
2. *Зарецкая Н.Е., Панин А.В., Голубева Ю.В., Чернов А.В.* Седиментационные обстановки и геохронология перехода от позднего плейстоцена к голоцену в долине р. Выгедга // ДАН. 2014. Т. 455. № 1. С. 52–57.
3. *Копытов С.В., Чернов А.В.* Палеорусловедение на службе археологии: опыт исследований в Верхнем и Среднем Прикамье // Труды Камской археолого-этнографической экспедиции. Пермь. 2022. № 20. С. 28–40.
4. *Лавров А.С., Потапенко Л.М.* Неоплейстоцен северо-востока Русской равнины. М.: Аэрогеология, 2005. 348 с.
5. *Лычагина Е.Л., Демаков Д.А., Чернов А.В., Зарецкая Н.Е., Копытов С.В., Лантева Е.Г., Трофимова С.С.* Среда обитания древнего человека в бассейне Верхней Камы: опыт реконструкции // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2021. № 1(52). С. 5–19.
6. *Назаров Н.Н.* Изменчивость стока и русловые процессы в Прикамье // XXIV Пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Барнаул: Изд-во АГУ, 2009. С. 155–157.
7. *Назаров Н.Н.* К вопросу о времени последнего массового спрямления излучин на верхней Каме // Вестн. Удмуртского ун-та. Сер. Биология. Науки о Земле. 2014. Вып. 2. С. 105–111. <https://doi.org/10.35634/2412-9518-2014-24-2-105-111>
8. *Назаров Н.Н.* Плейстоценовые перестройки речных русел и современное развитие пойменно-русловых комплексов верхней Камы // Геоморфология. 2017. № 3. С. 88–100. <https://doi.org/10.7868/S0435428117030087>
9. *Назаров Н.Н.* Древняя русловая сеть Келтьминской ложбины (Камско-Вычегодский водораздел) // Уч. зап. Казан. ун-та. Сер. естеств. науки. 2021. Т. 163. № 2. С. 274–288. <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2021.2.274-288>

10. Назаров Н.Н., Егоркина С.С. Реки Пермского Прикамья: Горизонтальные русловые деформации. Пермь: Изд-во “Звезда”, 2004. 155 с.
11. Назаров Н.Н., Копытов С.В. Оценка морфометрических параметров рельефа поймы для выделения ее разновозрастных генераций (на примере верхней Камы) // Геоморфология. 2015 № 4. С. 79–85.
12. Назаров Н.Н., Копытов С.В. Развитие гидросети бассейна Верхней Камы в неоплейстоцене // Географический вестник, 2018. № 4(47). С. 5–11.  
<https://doi.org/10.17072/2079-7877-2018-4-5-11>
13. Назаров Н.Н., Копытов С.В. Реконструкция этапов развития Кельтминской ложбины по геоморфологическим данным (Предуралье) // География и природные ресурсы. 2019. № 3. С. 154–164.  
[https://doi.org/10.21782/GIPR026-1619-2019-3\(154-164\)](https://doi.org/10.21782/GIPR026-1619-2019-3(154-164))
14. Назаров Н.Н., Копытов С.В. История перестройки русловых систем Камско-Кельтминской низменности в позднем плейстоцене–голоцене // Географический вестник, 2020а, № 4(55), С. 6–19.  
<https://doi.org/10.17072/2079-7877-2020-4-6-19>
15. Назаров Н.Н., Копытов С.В. Этапы формирования речной сети бассейна верхней Камы в плейстоцене // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2020б. Т. 162. кн. 1. С. 180–200.  
<https://doi.org/10.26907/2542-064X.2020.1.180-200>
16. Назаров Н.Н., Копытов С.В., Жуйкова И.А., Чернов А.В. Плейстоценовые каналы стока в южной части Кельтминской ложбины (Камско-Вычегодское междуречье) // Геоморфология. 2020. № 4. С. 74–88.  
<https://doi.org/10.31857/S0435428120040070>
17. Назаров Н.Н., Копытов С.В., Чернов А.В. История развития и деградации бассейна верхней Камы в среднем и позднем плейстоцене // Эрозионные и русловые процессы. Вып. 7. М.: МГУ. 2020. С. 244–249.
18. Назаров Н.Н., Фролова И.В. Подпрудные водоемы южной части Кельтминской ложбины // Пути эволюционной географии. Вып. 2: Материалы II Всероссийской научной конференции, посвященной памяти профессора А.А. Величко (Москва, 22–5 ноября 2021 г.). М.: Институт географии РАН, 2021. С. 257–261.
19. Назаров Н.Н., Фролова И.В. Возраст и современное развитие ландшафтов Камско-Кельтминской низменности (бассейн верхней Камы) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2022. № 5. С. 41–51.
20. Назаров Н.Н., Чернов А.В. Особенности проявления и оценка интенсивности горизонтальных русловых деформаций на реках Пермского Прикамья // Геоморфология. 1997. № 2.
21. Назаров Н.Н., Чернов А.В., Копытов С.В. Перестройки речной сети Северного Предуралья в позднем плейстоцене и голоцене // Географический вестник. 2015. № 3(34). С. 26–34  
<https://doi.org/10.17072/2079-7877-2015-3-26-34>
22. Сидорчук А.Ю., Борисова О.К., Ковалюх Н.Н., Панин А.В., Чернов А.В. Палеогидрология нижней Вычегды в позднеледниковье и голоцене // Вестник Моск. Ун-та, Сер. 5, Геогр., 1999. № 5. С. 34–41.
23. Чернов А.В. Палеорусловедение, как метод изучения прошлого речных долин // Современные направления развития физической географии: научные и образовательные аспекты в целях устойчивого развития. Минск, изд-во “Аверсэд”, 2019. С. 464–468.
24. Чернов А.В. Морфология и голоценовая эволюция поймы реки Москвы в нижнем течении // Географический вестник (Пермь), 2020. № 1(52). С. 60–70.  
<https://doi.org/10.17072/2079-7877-2020-1-60-70>
25. Чернов А.В., Субетто Д.А., Потахин М.С. Озерно-русловые системы Северо-Запада России // Тридцать шестое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Доклады и сообщения. Ижевск, изд-во “Удмуртский гос. Ун-т. 2021. С. 142–144.
26. Lysa A., Larsen E., Buylaert J.-P., Fredin O., Jensen M., Kuznetsov D. Late Pleistocene stratigraphy, and sedimentary environments of the Severnaya Dvina-Vychegda region in northwestern Russia, Boreas, 2014. V. 43. P. 759–779.
27. Mangerud J., Lunkkja J.-P., Moller P., Murray A., Nikolskaya O., Saarnisto M., Svendsen J.I. Ice-dammed lakes and re-routing of the drainage of northern Eurasia during the Last Glaciation // Quaternary Science Reviews. 2004. Vol. 23. P. 1313–1332.

## Morphology and History of the Upper Kama and Kolva Valleys in the Late Glacial and Holocene

A. V. Chernov<sup>1, \*</sup> and N. N. Nazarov<sup>2, \*\*</sup>

<sup>1</sup>*Lomonosov Moscow State University (MSU), Moscow, Russia*

<sup>2</sup>*Perm State National Research University, Perm, Russia*

*\*E-mail: Alexey.chernov@inbox.ru*

*\*\*E-mail: nikolainazarovpsu@gmail.com*

**Abstract**—The article deals with the evolution of the river network of the northern Kama region, a region that has experienced the influence of a late quaternary glacier. This glacier was located to the north, in the basins of the upper Vychehga and Pechora, but the influence of its meltwater was reflected in the restructuring of the river network of the lowland Kama-Vychehga interfluvium. In order to find out the extent of this influence in the conditions of postglacial warming, the article compares the floodplain-channel complexes of the Upper Kama and Kolva formed in the Holocene. In the upper Kama in the late Quaternary, there was a flow of water from Vychehga along the rivers North and South Keltma; there were no additional water flows to the Kolva River, located 30 km to the east. It turned out that the parameters of the floodplain-channel complexes of both rivers are identical. Consequently, the flow of the Vychehga waters into the Kama was carried out not in the late Quaternary-Holocene time, but earlier, and it was no longer reflected on the channels and floodplains of the Kama and Kolva. At the same time, on the Kama – Vychehga interfluvium there are traces of other watercourses that have now disappeared, formed during the melting of the glacier. The origin and time of the formation of these “blind” watercourses have yet to be determined.

**Keywords:** river network, floodplain-channel complexes, Kama, Kolva, Vychehga, perestroika, Late Glacial, Holocene

## REFERENCES

1. Belyakov A.A. Vodyanaya set' Rossii. Izd-vo "Nestor-Istoriya", M.—SPb.: 2021. 264 s.
2. Zareczkaya N.E., Panin A.V., Golubeva Yu.V., Chernov A.V. Sedimentacionnye ob-stanovki i ge-oxronologiya perehoda ot pozdnego plejstocena k golocenu v doline r. Vychehga // DAN. 2014. T. 455. № 1. S. 52–57.
3. Kopytov S.V., Chernov A.V. Paleoruslovedenie na sluzhbe arxeologii: opyt is-sledovaniy v Verxnem i Srednem Prikam'e // Trudy Kamskoj arxeologo-etnograficheskoy ekspedicii. Perm'. 2022. № 20. S. 28–40.
4. Lavrov A.S., Potapenko L.M. Neoplejstocen severo-vostoka Russkoj ravniny. M.: Aerogeologiya, 2005. 348 s.
5. Lychagina E.L., Demakov D.A., Chernov A.V., Zareczkaya N.E., Kopytov S.V., Lapteva E.G., Trofimova S.S. Sreda obitaniya drevnego cheloveka v bassejne Verxnej Kamy: opyt rekonstrukcii // Vestnik arxeologii, antropologii i etnografii. 2021. № 1(52). S. 5–19.
6. Nazarov N.N. Izmenchivost' stoka i ruslovyje processy v Prikame // XXIV Ple-narnoe mezhvuzovskoe koordinacionnoe soveshhanie po probleme erozionnyh, ruslovyh i ust'evyh processov. Barnaul: Izd-vo AGU, 2009. S. 155–157.
7. Nazarov N.N. K voprosu o vremeni poslednego massovogo spryamleniya izluchin na verxnej Kame // Vestn. Udmurtskogo un-ta. Ser. Biologiya. Nauki o Zemle. 2014. Vyp. 2. S. 105–111. <https://doi.org/10.35634/2412-9518-2014-24-2-105-111>
8. Nazarov N.N. Plejstocenovyje perestrojki rechnyh rusel i sovremennoe razvitie pojmenno-ruslovyh kompleksov verxnej Kamy // Geomorfologiya. 2017. № 3. S. 88–100. <https://doi.org/10.7868/S0435428117030087>
9. Nazarov N.N. Drevnyaya ruslovaya set' Kel'tminskoj lozhbiny (Kamsko-Vychehodskij vodorazdel) // Uch. zap. Kazan. un-ta. Ser. estestv. nauki. 2021. T. 163. № 2. S. 274–288. <https://doi.org/10.35634/2412-9518-2014-24-2-105-111>
10. Nazarov N.N., Egorkina S.S. Reki Permskogo Prikam'ya: Gorizonta'l'nye ruslo-vye deformacii. Perm': Izd-vo "Zvezda", 2004. 155 s.
11. Nazarov N.N., Kopytov S.V. Ocenka morfometricheskix parametrov rel'efa pojmy dlya vydeleniya ee raznovozrastnyh generacij (na primere verxnej Kamy) // Geomorfologiya. 2015 № 4. S. 79–85.

12. Nazarov N.N., Kopytov S.V. Razvitie gidroseti bassejna Verxnej Kamy v neoplejstocene // *Geograficheskij vestnik*, 2018. № 4(47). S. 5–11.  
<https://doi.org/10.17072/2079-7877-2018-4-5-11>
13. Nazarov N.N., Kopytov S.V. Rekonstrukciya etapov razvitiya Kel'tminskoj lozhbiny po geomorfologicheskim dannym (Predural'e) // *Geografiya i prirodnye resursy*. 2019. № 3. S. 154–164.  
<https://doi.org/10.21782/GIPRO26-1619-2019-3> (154–164)
14. Nazarov N.N., Kopytov S.V. Istoriya perestrojki ruslovyh sistem Kamsko-Kel'tminskoj nizmennosti v pozdnem plejstocene – golocene // *Geograficheskij vestnik*, 2020a. № 4(55). S. 6–19.
15. Nazarov N.N., Kopytov S.V. Etapy formirovaniya rečnoj seti bassejna verxnej Kamy v plejstocene // *Uchen. zap. Kazan. un-ta. Ser. Estestv. nauki*. 2020b. T. 162. kn. 1. S. 180–200.  
<https://doi.org/10.26907/2542-064X.2020.1.180-200>
16. Nazarov N.N., Kopytov S.V., Zhujkova I.A., Chernov A.V. Plejstocenovye kanal' stoka v yuzhnoj chasti Kel'tminskoj lozhbiny (Kamsko-Vy'chegodskoe mezhdurech'e) // *Geomorfologiya*. 2020. № 4. S. 74–88.  
<https://doi.org/10.31857/S0435428120040070>
17. Nazarov N.N., Kopytov S.V., Chernov A.V. Istoriya razvitiya i degradacii bassejna verxnej Kamy v srednem i pozdnem plejstocene // *E'rozionny'e i ruslovy'e pro-cessy*. Vyp. 7. M.: MGU. 2020. S. 244–249.
18. Nazarov N.N., Frolova I.V. Podprudnye vodoemy yuzhnoj chasti Kel'tminskoj lozhbiny // *Puti evolyucionnoj geografii*. Vyp. 2: Materialy II Vserossijskoj nauchnoj konferencii, posvyashhennoj pamyati professora A.A. Velichko (Moskva, 22–25 noyabrya 2021 g.). M.: Institut geografii RAN, 2021. S. 257–261.
19. Nazarov N.N., Frolova I.V. Vozrast i sovremennoe razvitie landshaftov Kamsko-Kel'tminskoj nizmennosti (bassejn verhnej Kamy) // *Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografiya*. 2022. № 5. C. 41–51.
20. Nazarov N.N., Chernov A.V. Osobennosti proyavleniya i ocenka intensivnosti gorizonta'lyh ruslovyh deformacij na rekax Permskogo Prikam'ya // *Geomorfologiya*. 1997. № 2.
21. Nazarov N.N., Chernov A.V., Kopytov S.V. Perestrojki rečnoj seti Severnogo Predural'ya v pozdnem plejstocene i golocene // *Geograficheskij vestnik*. 2015. № 3(34). S. 26–34.  
<https://doi.org/10.17072/2079-7877-2015-3-26-34>
22. Sidorchuk A.Yu., Borisova O.K., Kovalyux N.N., Panin A.V., Chernov A.V. Paleo-gidrologiya nizhnej Vychehdy v pozdnelednikovoe i golocene // *Vestnik Mosk. Un-ta, Ser. 5. Geogr.* 1999. № 5. C. 34–41.
23. Chernov A.V. Paleoruslovedenie, kak metod izucheniya proshlogo rechnyh dolin // *Sovremennye napravleniya razvitiya fizicheskoy geografii: nauchnye i obrazovatelnye aspekty v celyax ustojchivogo razvitiya*. Minsk, izd-vo "Aversed", 2019. S. 464–468.
24. Chernov A.V. Morfologiya i golocenovaya evolyuciya pojmy reki Moskvy v nizhnem techenii // *Geograficheskij vestnik (Perm')*, 2020. № 1(52). S. 59–68. DOI: 10.17072/2079-7877-2020-1-60-70
25. Chernov A.V., Subetto D.A., Potaxin M.S. Ozerno-ruslovye sistemy Severo-Zapada Rossii // *Tridczat' shestoe plenarnoe mezhdvuzovskoe koordinacionnoe so-veshhanie po probleme erozionnyh, ruslovyh i ust'evykh processov. Doklady i so-obshheniya*. Izhevsk, izd-vo Udmurtskij gos. Un-t. 2021. S. 142–144.
26. Lysa A., Larsen E., Buylaert J.-P., Fredin O., Jensen M., Kuznetsov D. Late Pleistocene stratigraphy, and sedimentary environments of the Severnaya Dvina-Vychehda region in northwestern Russia, Boreas, 2014. Vol. 43. P. 759–779.
27. Mangerud J., Jacobsson M., Alexanderson H., Astakhov V., Clarke G.C.K., Henriksen M., Hjort C., Krinnerm G., Lunkkja J.-P., Moller P., Mu-ray A., Nikolskaya O., Saarnisto M., Svendsen J.I. Icedammed lakes and re-routing of the drainage of northern Eurasia during the Last Glaciation // *Quaternary Science Reviews*. 2004. Vol. 23. P. 1313–1332.

УДК 504.03;504.06;303.425.4

## СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ В ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ ДОБЫЧИ НЕРУДНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В РУСЛЕ р. ОКИ<sup>1</sup>

© 2023 г. В. П. Бондарев<sup>a, b, \*</sup>, А. О. Загоревская<sup>c, \*\*</sup>,  
М. Б. Мякишева<sup>a, \*\*\*</sup>, Л. А. Турыкин<sup>a, \*\*\*\*</sup>

<sup>a</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>b</sup>Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Москва, Россия

<sup>c</sup>Национальный исследовательский университет “Высшая школа экономики”, Москва, Россия

\*E-mail: valery\_bondarev@mail.ru

\*\*E-mail: a.zagorevskaya@ya.ru

\*\*\*E-mail: mmyak1121@mail.ru

\*\*\*\*E-mail: filigorod@list.ru

Поступила в редакцию 02.04.2023 г.

После доработки 14.05.2023 г.

Принята к публикации 02.06.2023 г.

Важным прикладным аспектом геоэкологического анализа является оценка социально-экологических рисков при добыче песчано-гравийного материала (ПГМ) из русла реки. В статье дается обзор мировой литературы по этой проблеме. Выявляются наиболее обсуждаемые и, следовательно, самые актуальные и острые проблемы в социально-экологической сфере человечества, связанные с добычей ПГМ: нарастающий спрос и увеличение дефицита этих материалов, ухудшение условий проживания населения в регионах, прилегающих к местам добычи, ухудшение состояния дорог и транспортных магистралей, проблемы с водоснабжением, снижение рекреационных свойств территории, деформация рынка труда, формирование повышенной криминогенности и т.д.). Показано, что для принятия оптимальных управленческих решений недостаточно просто оценить условия и нормативы добычи ПГМ из русла реки, но требуется оценка социально-экологической ситуации в регионе, в том числе изучение осведомленности и озабоченности населения этой проблемой. Этот тезис иллюстрируется на примере русла реки Оки в пределах Московской области, где были проведены специальные исследования по изучению экологической озабоченности населения путем качественного полуструктурированного социологического исследования в форме кейс-стади, сочетающегося с разведывательным количественным анализом ситуации. Было выявлено, что экологическая осведомленность населения региона о проблемах, связанных с добычей нерудных полезных ископаемых в русле реки можно охарактеризовать как умеренные с тенденцией к недостаточной. У наиболее активной части населения есть представление о том, что добыча ПГМ сказывается на экологическом состоянии реки. Понимание значения водных ресурсов для успешного существования территории достаточно низкое. Экологическая озабоченность населения региона умеренно-настороженная: наблюдается субъективная обеспокоенность ухудшением экологического состояния реки, но есть понимание необходимости добычи для экономики региона. На основе проведенного исследования даются конкретные рекомендации по улучшению ситуации с экологической осведомленностью и озабоченностью местного населения. Наряду с указанием на целесообразность соблюдения экологически оправданных норм и правил добычи ПГМ, целесообразно осуществлять информационную поддержку, организовывать мероприятия просветительского характера, регулярное отслеживание соци-

ально-экологической обстановки в рамках геоэкологического мониторинга региона. Предлагаемая методика выявления экологической озабоченности населения, позволяет снизить риск возникновения социальной напряженности в регионе.

*Ключевые слова:* аллювиальные пески и гравий, экологическая озабоченность, геоэкологический анализ, социально-экологические последствия добычи

**DOI:** 10.31857/S0869607123020027, **EDN:** HDWZQJ

## ВВЕДЕНИЕ И КРАТКИЙ ОБЗОР ПРОБЛЕМЫ

Проблемы взаимодействия общества с окружающей средой могут эффективно решаться только на междисциплинарном уровне. Одним из перспективных направлений решения конкретных региональных проблем — геоэкологический анализ территории, который, в частности, направлен на разработку научных основ рационального использования и охраны водных, воздушных, земельных, рекреационных и минеральных ресурсов, а также рекультивацию земель и ресурсосбережение. Одним их важных прикладных направлений геоэкологического анализа является оценка социально-экологических рисков при добыче песчано-гравийного материала (**ПГМ**) из русла реки.

Песок, гравий и щебень — самые добываемые полезные ископаемые на Земле. Они являются наиболее востребованными материалами на планете с точки зрения объема потребления, становясь все более и более дефицитным ресурсом [16, 17, 27]. Во многом эти материалы являются основой мировой экономики и неотъемлемой частью таких ее секторов, как строительство, инфраструктура, электроника, косметика, фармацевтика и т.д. [17, 37]. Песок, гравий и щебень играют значительную роль в строительстве, а бетон, в состав которого входят некоторые из этих материалов, является центральным элементом городского развития [19]. Только в этой области за последние 20 лет показатель использования этих материалов вырос во всем мире на 60%, а в Китае спрос увеличился на 438%. Быстрый рост добычи песка и гравия наблюдается в Восточной Азии с 1970-х гг. Значительная доля совокупного потребления приходится на страны БРИКС (Бразилия, Россия, Индия, Китай и Южная Африка) [17, 29]. При этом, увеличение потребления этих материалов быстро приближает общество к тому моменту, когда спрос на природный песок и гравий превысит темпы естественного возобновления [34]. Во многих странах быстро растущий спрос на песок и гравий сочетается с плохим управлением процессом добычи этих материалов, что приводит к ненадлежащим методам добычи, наносящим природной среде непоправимый ущерб [24, 33, 35].

Речной песчано-гравийный материал пользуется особым спросом. Так, для использования в производстве бетона русловые материалы требуют сравнительно небольшой обработки для получения пригодного для использования материала по сравнению с морскими и пустынными песками [17]. При этом, мировой объем добычи песчано-гравийного материала, добываемого из русел и пойм рек, соизмерим, а иногда и существенно превышает годовой сток наносов, переносимых всеми реками мира, а сама добыча руслового и пойменного песчано-гравийного материала оказывает значительное влияние на реки и прибрежные экосистемы. Сформированные эрозионно-аккумулятивными процессами за сотни и тысячи лет, эти материалы извлекаются в течение десятков лет. Это оказывает значительное влияние на природу и общество. При этом показано, что негативные последствия добычи песчано-гравийного материала из русла, проявляющиеся в виде эрозии и посадки уровней, развиваются значительно дольше, чем длятся сами работы по извлечению этих материалов, и распространяются

<sup>1</sup> Теоретическое обоснование и интерпретация результатов проведена в рамках НИР по госзаданию № 121051100166-4 географического ф-та МГУ имени М.В. Ломоносова, сбор данных и их обработка осуществлена по плану кафедры социологии и культурологии МГТУ им. Н.Э. Баумана

гораздо шире, чем локация самих карьеров [26]. Особую актуальность в условиях, когда многие реки подвержены этому виду нарушений и прошли длительный период, когда добыча развивалась практически неограниченно (ограничения касались лишь технических возможностей), приобретает вопрос о допустимых параметрах русловой добычи: объему и габаритам карьеров, пространственному размещению и т.д. Такого рода геоэкологические оценки ситуации и применение соответствующих рекомендаций может минимизировать негативные последствия рассматриваемых процессов [3, 12].

Отдельным вопросом геоэкологического анализа, требующим особого рассмотрения, может оказаться проблема оценки социальных последствий добычи речного песчано-гравийного материала. Интенсивное изменение физико-географической условий функционирования долинно-русловых ландшафтов влечет за собой перестройку и социально-экономических условий существования местных социумов. Поэтому, оценка социально-экономических последствий добычи речного ПГМ крайне полезна при принятии эффективных управленческих решений, хотя является чрезвычайно сложной задачей. Безусловно, его добыча из русла и поймы реки в первую очередь направлена на получение положительных социально-экономических эффектов (получение экономической выгоды для региона и отдельных его граждан, занятость населения и т.д.). Распространенными аргументами в пользу добычи нерудных строительных материалов из русел рек является то, что добыча полезных ископаемых оказывает благоприятное воздействие на развитие региона за счет создания рабочих мест и получения доходов. Также добыча речного аллювия потенциально может стать значительным источником дохода за счет связанных с прибылью отчислений и налогообложения. Наиболее значительный дополнительный социально-экономический эффект связан с расширением сферы деятельности для водителей и поставщиков товаров и услуг [31].

В то же время, при добыче песчано-гравийных материалов из русла и поймы реки можно наблюдать многочисленные социальные негативные последствия. К тем, на кого негативно влияет деятельность по добыче полезных ископаемых в русле реки, прежде всего, относятся местные землевладельцы и жители, прилегающих территорий. Кроме того, рассматриваемая добычная деятельность может привести к ухудшению состояния дорог и транспортных магистралей [31]. Многие из негативных последствий русловой добычи ПГМ связаны с развитием посадки уровней воды [1, 3, 26]. Также чрезмерная добыча песчано-гравийного материала может привести к значительному снижению уровня грунтовых вод, что может усложнить работу местных водозаборных сооружений и затруднить, а в некоторых случаях сделать невозможным водоснабжение в прилегающих районах [32].

Беспорядочная добыча ПГМ вблизи гидротехнических сооружений — мостов, подводных переходов магистральных трубопроводов и кабельных линий, гидроузлов, водозаборов систем питьевого и промышленного водоснабжения и т.п. в некоторых регионах мира продолжается без учета возникающих при этом проблем. Так, нехватка воды в засушливые периоды становится серьезной проблемой на многих участках рек в водосборных бассейнах озера Вембанад (юго-западный регион Индии) [31]. Затраты на ремонт или замену сооружений, поврежденных понижением уровня воды в результате добычи ПГМ, существенно превосходят доходы, полученные от добычи рассматриваемых полезных ископаемых. В этом же регионе изменения в стоке и качестве воды при добыче ПГМ увеличивают распространенность инфекционных заболеваний. Кроме того, отмечается значительное ухудшение качества воды, используемой для питья, купания и других бытовых целей. Эти последствия могут в конечном счете привести к постоянным и необратимым экологическим преобразованиям, делая разрабатываемые участки рек бесполезными для последующего использования в хозяйственной деятельности.

Кроме вышесказанного есть данные, что добыча в долине и русле рек вызывает формирование механических и химических загрязнителей, в том числе горюче-смазочных материалов, которые представляют высокий риск для здоровья работников, занятых добычей песчано-гравийных материалов [31]. Кроме того, в литературе [31] описываются случаи гибели домашнего скота, попадающего в обводненные заброшенные карьеры. Кроме того, описывается случай разрушение естественных мест нереста рыб в результате добычи ПГМ, что приводит к резкому сокращению популяции. Это, в свою очередь, ставит сообщества рыбаков в районах, близких к речным бассейнам, в сложное положение. Периодически наблюдаются конфликты между общинами рабочих, добывающих песок, и рыбаков. Сокращение бентической фауны в результате добычи песка может отрицательно сказаться на выживании хищных и всеядных рыб, которые, в свою очередь, служат пищей для земноводных и наземных животных. Следовательно, может наблюдаться нарушение экологического баланса всей долинной экосистемы [31].

Наши наблюдения показывают, что ситуация с ихтиофауной развивается по более сложной схеме и добычные работы в реках оказывают неоднозначное воздействие на ихтиофауну. С одной стороны, малые русловые карьеры, выработанные на мелководных участках реки, играют важную роль в качестве зимовальных ям, также в новых карьерах повышается кормовая база для ихтиофауны. Однако на поздних стадиях существования карьера, особенно протяженного и глубокого, происходит загнивание донных органических отложений, резкое ухудшение качества воды и соответственно снижение численности рыб. Еще одним крайне негативным последствием разработки руслового карьера является механическое уничтожение нерестилищ, которые, как известно, располагаются на мелководье.

В общем случае, согласно Millennium Ecosystem Assessment (MEA) [15, 30], деградация экосистемных услуг наносит ущерб большому количеству социально незащищенных слоев общества в мире и иногда является основным фактором, вызывающим бедность. Снижение благосостояния людей, как правило, увеличивает непосредственную зависимость от экосистемных услуг, и возникающее в результате дополнительное давление может нанести ущерб способности этих экосистем предоставлять услуги.

Для выявления проблем, которые распространены в регионах добычи песчано-гравийного материала, могут проводиться анкетные опросы среди местного населения, работающего по извлечению материала из русла. Так опросы в долине реки Баласон (Индия) [36], показали, что средства к существованию этих людей в значительной степени зависят от жизни на реке. Неизбежное истощение песчано-гравийного материала в русле заставляет их задуматься о своем будущем. При этом, добыча песчано-гравийного материала в больших масштабах из русла реки Баласон создает долгосрочные социально-экономические проблемы [36]:

1. Низкий образовательный уровень местного населения и, как следствие, ограниченные возможности в поиске альтернативных вариантов трудовой деятельности;
2. Вовлечение молодого населения в соответствующую деятельность, которое привыкает к своему положению и смиряется с ним;
3. Сравнительно простая работа с хорошим заработком, ведущим к высокой удовлетворенности этой работой;
4. Распространенное убеждение многих респондентов в отсутствии альтернативных источников средств к существованию;
5. Отсутствие других работодателей в регионе осложняет смену вида деятельности.

Например, по оценкам Л. Веячка и др. (Wiejaczka Ł. et al.) [36], в ближайшие 10–20 лет возможен негативный сценарий развития в долине реки и озера Баласон, при котором уменьшение количества песчано-гравийного материала приведет к снижению спроса на работников, занимающихся добычей песчано-гравийного материала, и к снижению их заработка. Как следствие, местные жители, ищущие новые формы занятости,

будут мигрировать в другие места, а экосистемные услуги в нынешнем виде (река как основной источник дохода) перестанут функционировать или будут заметно ограничены. Такие же последствия можно ожидать в других регионах.

Еще одно из довольно распространенных негативных социальных последствий неконтролируемой добычи песчано-гравийного материала — формирование криминальной обстановки в регионе. Так, в Индии добыча песка часто сопровождается локальными конфликтами, связанными с доступом к воде и загрязнением окружающей среды [18]. В местах, где преступные сети контролируют добычу песчано-гравийного материала, часто существует угроза трудовых беспорядков, подделки документов, уклонения от уплаты налогов и других незаконных манипуляций [25, 28].

Из всего вышесказанного следует, что для принятия оптимальных управленческих решений недостаточно просто оценить условия и нормативы добычи песчано-гравийного материала из русла реки, но требуется оценка социально-экологической ситуации в регионе, в том числе изучение осведомленности и озабоченности населения этой проблемой, что может помочь избежать появления повышенной социальной напряженности в регионе. Ниже проиллюстрируем этот тезис на конкретном примере.

### ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является русло реки Оки в пределах Московской области, которое претерпело радикальные изменения в ходе многолетней русловой добычи песчано-гравийного материала (рис. 1). Благодаря своему положению вблизи такого огромного мегаполиса, как Москва, а также нескольких крупных промышленных центров, русло и долина реки служили и продолжают служить одним из основных источников материала для строительной индустрии в течение многих десятков лет [2, 3]. Геоэкологическая оценка условий и нормативов добычи основывается на результатах исследований участка верхней Оки в пределах Московской области длиной 210 км, выполненных географическим факультетом МГУ в 2019 г. с использованием материалов предыдущих исследований, которые регулярно проводились на разных отрезках этого участка с 1991 г. Использовались также фондовые материалы проектных и изыскательских организаций, картографические и спутниковые данные из открытых источников [12]. Ниже кратко охарактеризуем условия формирования техногенного рельефа русла под воздействием добычных работ, а также основные рекомендации по геоэкологически оправданным нормативам изъятия песчано-гравийного материала в этой местности.

Оценка объема безвозвратно извлеченного материала показала, что среднее годовое количество удаленного материала составляет приблизительно  $2.5 \text{ млн м}^3$  или  $3.5 \text{ млн т}$ , что соответствует удалению из русла реки порядка  $11.9 \text{ тыс. м}^3/\text{км}$  в год. Это привело к тому, что современный продольный профиль водной поверхности приобрел ярко выраженную ступенчатую форму, где пологие отрезки с практически нулевым уклоном соответствуют техногенным плесам, а на участках мало затронутого рельефа русла преобладают перепады с уклонами, нередко превышающими  $0.15\%$ . Сравнение количества удаленного материала с размерами стока руслообразующих наносов показало, что в средний по водности год сток руслообразующих наносов р. Оки изменяется вниз по течению от  $223 \text{ тыс. т}$  (гидропост Серпухов) до  $300 \text{ тыс. т}$  (нижний бьеф Кузьминского гидроузла). Следовательно, в среднем объем добычи на порядок превышает сток руслообразующих наносов. При этом, руслообразующие наносы, транспортируемые рекой, представлены преимущественно разнотекучими крупно- и среднетекучими песками ( $58\%$  площади исследованного участка), гравелистыми песками ( $10\%$ ), гравием ( $5\%$ ), мелкими галечниками ( $20\%$ ), илами ( $7\%$ ). Заметим, что на сравнительно ненарушенных участках дно сложено преимущественно песками, значительно ре-



**Рис. 1.** Схема региона, прилегающего к долине реки Оки в пределах Московской области.

**Fig. 1.** Scheme of the region adjacent to the Oka River valley within the Moscow region.

же встречаются гравий и галечники, а на техногенных плесах кроме песков значительные площади занимает чередование галечников и илов.

Вертикальная трансформация русла в результате добычных работ выразилась в посадке меженных уровней. При этом за период 1991–2012 гг. на участках наиболее объемных добычных работ она составила 0.6–1.1 м, а на сравнительно нетронутых участках русла за тот же период – 0.45 м. В период 2012–2019 гг. на большей части участка наблюдалось некоторое повышение или стабилизация меженных уровней. Отмеченный характер изменения меженных уровней коррелируется с колебаниями водности и изменения интенсивности добычных работ. Что касается вертикальных деформаций русла, то с 2012 по 2019 гг. на сравнительно ненарушенных участках, разнонаправленные деформации находятся в относительном равновесии.

Горизонтальные русловые деформации выше г. Коломны имеют незначительное распространение и темпы. В то же время между Коломной и гидроузлом Белоомут горизонтальные русловые деформации сравнительно широко развиты. Они выражаются в разрушении вогнутых берегов излучин со средней скоростью 1–1.5 м/год. Наибольшие скорости разрушения берега (3–5 м/год) выявлены на излучинах в районе населенного пункта Ловцы.

Скорость занесения русловых карьеров в условиях современного маловодного периода изменяется в зависимости от местных условий от 30 до 80 тыс. м<sup>3</sup>/год. С 2013 по 2019 гг. малые русловые карьеры (200–250 тыс. м<sup>3</sup>) на сравнительно ненарушенных участках русла были практически полностью занесены. В то же время в местах расположения крупных карьеров на техногенных плесах полной заносимости не наблюдается. Повышение отметок дна в центральных частях больших карьеров за рассматриваемые 6 лет достигает 1–2 м, а на верховых откосах – 3–4 м.

Безусловно, полный запрет добычи на верхней Оке нецелесообразен с хозяйственной точки зрения, т.к. он нанесет заметный ущерб строительной отрасли Московского региона и крайне осложнит социально-экономическую ситуацию в регионе. Поэтому, снять противоречие между необходимостью сохранения пойменно-руслового комплекса верхней Оки и социально-экономическими потребностями можно путем введения обоснованных нормативов на разработку русловых месторождений песчано-

гравийного материала и постоянного контроля за их соблюдением с учетом общих экологических требований эксплуатации такого рода объектов.

Общий принцип, определяющий допустимую величину безвозвратного изъятия ПГМ из русла реки, состоит в том, что объем добычи на отдельном участке руслового месторождения не должен превышать величины годового стока руслообразующих наносов на входном створе участка, что обеспечивает возможность самовосстановления русла, и его разработка не вызывает существенной посадки уровня [5, 7, 9, 10, 12]. Для изучаемого объекта были разработаны конкретные рекомендации, соблюдение которых может позволить сохранить баланс между хозяйственными нуждами региона и сохранением природной окружающей среды в долине реки Оки. При этом, общая среднегодовая величина возможной добычи русловых песков и песчано-гравийных материалов в реке Ока на территории Московской области, с учетом экологически допустимых параметров добычи составляет 2125 тыс. м<sup>3</sup>, из них на участке выше устья р. Москвы — 1453 тыс. м<sup>3</sup> [12].

Таким образом, с технической точки зрения есть возможность организовать в пределах изучаемого региона добычу песчано-гравийного материала из русла реки так, чтобы социально-экономические интересы региона сочетались с решением природоохранных вопросов. Однако, существует неопределенность понимания осведомленности и озабоченности местного населения о положительных и отрицательных сторонах деятельности по добыче указанных материалов, а, следовательно, их возможной реакции на соответствующий вид деятельности.

#### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМИРОВАННОСТИ И ОЗАБОЧЕННОСТИ НАСЕЛЕНИЯ

Со второй половины XX-го в. нарастает понимание того, что успешное решение геоэкологических проблем человечества требует не только научного анализа природно-антропогенных процессов, происходящих на некоторой территории, но и социальных процессов, которые с этим связаны. Известно, что любые социальные процессы в области взаимодействия общества с окружающей средой предопределяются уровнем развитости экологического сознания и культуры, которые предопределяют поведение населения в конкретных условиях окружающей среды и ее изменения [14].

В эмпирических исследованиях, как правило, экологическое сознание и культура, изучается через измерение экологической осведомленности и озабоченности. В то же время, эти понятия не так просто формализовать. Большинство исследователей не дают определения понятия “экологическая озабоченность”, т.к., возможно, их значение кажется очевидным. Однако это приводит к тому, что разные исследователи закладывают различные подходы к анализу этих понятий и получают не сопоставимые друг с другом результаты [21]. Одно из самых ранних определений было дано Шкурс (Schcurs) и Нелиссен (Nelissen), которые утверждали, что экологическая озабоченность представляет собой совокупность идей о защите, контроле и вмешательстве в естественную и искусственную среду, а также связанные с ними поведенческие установки (цит. по [22]). П. Эстер (P. Ester) и Ф. ван дер Меер (F. van der Meer) [23] определяют экологическую озабоченность как степень, в которой человек осознает экологические проблемы и готов внести свой вклад в их решение. Р.Э. Данлэп (R.E. Dunlap), Р.Э. Джонс (R.E. Jones) [23] несколько изменили и расширили определение. У них экологическая озабоченность 1) соотносится со степенью осведомленности о проблемах, связанных с окружающей средой, 2) выражается в поддержке усилий по их решению, 3) показывает на готовность лично внести свой вклад в их решение. По-видимому, это наиболее полный и широкий подход к пониманию экологической озабоченности, который может использоваться в эмпирическом исследовании.

В нашем случае понимание уровня экологической осведомленности и озабоченности местного социума к деятельности по добыче песчано-гравийного материала в русле реки и понимание последствий этой деятельности может способствовать более эффективной организации добычных работ и предотвращению острых конфликтов с населением региона. Для этого было организовано и проведено специальное исследование на приокской территории в пределах Московской области. Акцент был сделан на изучении экологической озабоченности в крупных населенных пунктах, в которых сконцентрировано подавляющее число населения исследуемой территории (гг. Коломна, Кашира, Ступино, Серпухов).

В связи с тем, что проблема количественного измерения экологической информированности и осведомленности все еще является предметом споров [20], а также с необходимостью быстро в рамках ограниченного бюджета и времени оценить ситуацию, было принято решение построить работу вокруг качественного полужформализованного социологического исследования в форме кейс-стади, сочетающегося с разведывательным количественным анализом ситуации. Основы методологии прикладных социологических исследований излагаются в соответствующей литературе [6, 8, 11, 13].

В результате операционализации была составлена анкета полужформализованного интервью, которая состояла из трех разделов:

1. *Паспортчика* (объективка, социально-демографические данные опрошенных), с помощью которой были получены объективные данные о респондентах (пол, возраст, образование и т. п.), которые являются группообразующими признаками.

2. *Вопросы разведывательного количественного обследования*. Всего был опрошен 51 человек. Основной массив из 39 анкет был собран в г. Коломне, кроме того были проведены поддерживающие обследования в г. Серпухове и г. Кашире (6 и 5 анкет соответственно). Этот объем выборки позволяет количественно оценить ситуацию в экологической озабоченности населения региона с точностью (доверительной вероятностью) 85% с погрешностью (доверительным интервалом) в 10%.

3. *Вопросы качественного интервью* в дизайне кейс-стади, которые позволяют получить в открытом, поисковом, неструктурированном анализе проблемной ситуации экологический опыт отдельных субъектов в единстве объективного и субъективного путем фиксации отдельных оценок и субъективных представлений. Качественный подход позволил проанализировать в этом разделе своеобразие локального случая, который ранее никогда не подвергался соответствующему анализу, выявив степень экологической информированности и уровень экологической озабоченности населения в связи с эффектами добычи общераспространенных полезных ископаемых в русле реки.

Принято считать, что для качественного анализа следует использовать в среднем от 15 до 35–40 интервью, т.к. меньшее число, как правило, не дает достаточно материала для исследования случая, а большее приводит к перенасыщению качественной информации и не позволяет провести необходимый анализ [8, 13]. Вышесказанное определило объем основной выборки.

Анализ научной литературы, посвященной проблемам добычи песка, гравия и других общераспространенных полезных ископаемых в русле реки позволил выделить основные последствия, которые могут быть источником экологической озабоченности населения, проживающего в регионах, расположенных по рекам. Это позволило составить список основных обсуждаемых с респондентами тем.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЗАБОЧЕННОСТИ НАСЕЛЕНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В интервью в г. Коломне приняли участие 38 человек, из которых 19 — мужчин и 19 — женщин. 13 человек в возрасте от 22 до 37 лет, 14 человек — от 38 до 53 лет, 8 человек — от 54 до 73 лет, 3 человека — старше 73 лет. В поддерживающем в г. Кашире и г. Серпухове

обследовании в виде свободной беседы приняло участие 11 человек (7 мужчин и 4 женщины), 3 человека в возрасте от 22 до 37 лет, 4 человека — от 38 до 53 лет, 4 человека — от 54 до 73 лет. В дальнейшем будем в основном рассматривать и анализировать исследование, проведенное в г. Коломне, т.к. результаты поддерживающего исследования невозможно формализовать в достаточной форме, и они послужили для подтверждения полученных выводов основного исследования.

Обратим внимание, что в исследовании приняли участие простые жители региона, представители более чем 25-ти профессий (банкир, бухгалтер, водитель, воспитатель, инженеры, капитан, композитор, маркетолог-турагент, менеджер по продажам, офицер запаса, педагоги, повара, полицейский, программист, продавец, психиатр, психолог, слесарь, строитель, техник, учителя, филолог, электромонашник, юристы), были опрошены студенты, специалисты, имеющие среднее специальное и высшее образование. В опросе также участвовали пенсионеры.

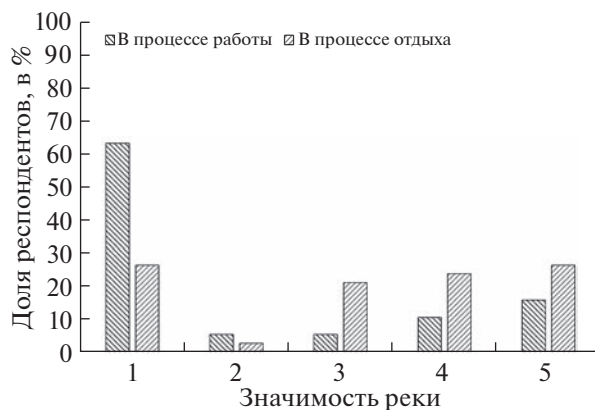
Все респонденты сказали, что периодических бывают на реке. При этом, чуть больше трети респондентов (37%) сказали, что бывают на реке не реже, чем раз в месяц. Период наблюдения за изменением реки составил от нескольких лет до более чем 80 лет. Большинство знакомы с ситуацией на реке от 10 до 50 лет.

Приведенные данные позволяют считать, что при достаточно небольшой выборке удалось рассмотреть мнения широкого спектра населения региона. Рассмотрим основные количественные и качественные характеристики экологической информированности и озабоченности населения происходящими в долине реки процессами добычи.

В процессе интервью выявлялась оценка значимости реки в жизни респондентов (рис. 2). Немногие считают, что сталкиваются с проблемами на реке по работе. Однако, процент ответивших, что используют реку, как рекреационный ресурс, значительно больше. Как правило, указывались такие виды отдыха, как рыбалка (преимущественно у мужчин), пикники, купание и т.д. В целом, есть ощущение недооценки роли реки в жизни населения, т.к. это является привычным для них фоном, о котором жители не задумываются. В то же время, у некоторых интервьюируемых (особенно педагогов и творческой интеллигенции) была склонность останавливаться на этом вопросе и подчеркивать большую (“огромную”) важность реки в жизни человека. Следовательно, можно полагать, что добычные работы не существенно влияют на рынок труда, но последствия деятельности на реке могут значительно затрагивать рекреационную составляющую жизни местного населения.

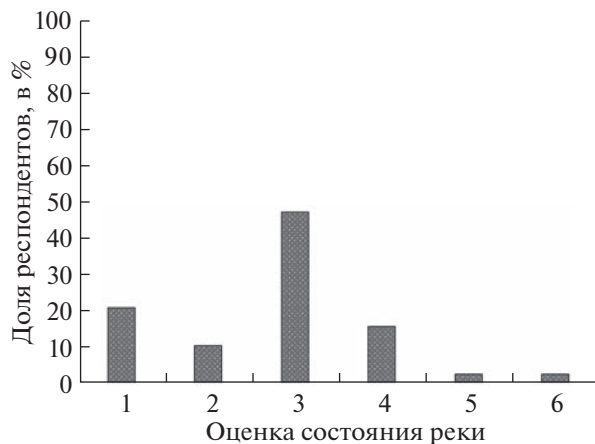
Отвечая на вопрос о состоянии долины и русла р. Оки, более трети респондентов оценили ее состояние как удовлетворительное (рис. 3). При этом, в качественном описании ситуации, эти же респонденты дают негативную и крайне негативную качественную оценку состоянию р. Оки, указывая на ее сильную загрязненность и обмеление. Только пятая часть интервьюируемых позитивно высказались о состоянии реки. Характерно, что уже на этом вопросе, многие указывали на обмеление реки и такие его последствия, как цветение воды, заиление берегов и т.д. При этом, на прямой вопрос об изменении уровня реки 93% респондентов однозначно ответили, что он снизился. При этом, просматривается хорошая связь между длительностью наблюдения респондента за рекой с мнением об обмелении и понижении уровня воды в реке. Следовательно, часто указываемое в специальной литературе снижение уровней воды в реке не проходит незаметным для местного населения и доставляет им определенный дискомфорт.

Заметим, что в вышерассмотренной группе вопросов в своих рассуждениях респонденты чаще всего выражали уверенность в том, что если бы берега очищались от мусора, то общее состояние реки было бы гораздо лучше. При этом, большая часть респондентов (64%) указали, что долинный ландшафт за время их наблюдения изменился.



**Рис. 2.** Значимость реки в трудовой и рекреационной деятельности респондентов. Цифрами на горизонтальной оси обозначена оценка респондентами значимости реки в их жизни: 1 – никакая; 2 – скорее незначительная; 3 – средняя значимость; 4 – скорее значительная; 5 – значительная.

**Fig. 2.** Significance of the river in the labor and recreational activities of respondents. The numbers on the horizontal axis indicate the respondents' assessment of the importance of the river in their lives: 1 – none; 2 – rather insignificant; 3 – medium significance; 4 – rather significant; 5 – significant.

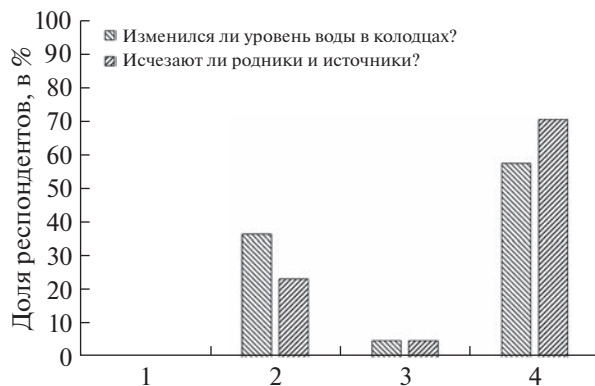


**Рис. 3.** Оценка респондентами общего состояния речной долины. Цифрами на горизонтальной оси обозначен уровень обеспокоенности состоянием: 1 – крайне неудовлетворительный; 2 – неудовлетворительный; 3 – удовлетворительный; 4 – хороший; 5 – превосходный; 6 – не смогли оценить.

**Fig. 3.** Respondents' assessment of the general condition of the river valley. The numbers on the horizontal axis indicate the level of concern about the condition: 1 – extremely unsatisfactory; 2 – unsatisfactory; 3 – satisfactory; 4 – good; 5 – excellent; 6 – could not be evaluated.

При этом, высказываются негативные оценки изменений, содержательно корреспондирующие с предыдущим пунктом о состоянии речной долины.

Отдельный вопрос интервью был посвящен изменениям в судоходности реки. Отвечая на него, половина респондентов указала на снижение частоты хождения судов. В качестве причины для подобного снижения некоторые респонденты назвали обме-



**Рис. 4.** Оценка респондентами уровня воды в колодцах и обильности родников и источников: 1 – увеличение; 2 – уменьшение; 3 – стабильное состояние; 4 – затруднились ответить.

**Fig. 4.** Respondents' assessment of the water level in wells and the abundance of springs and springs: 1 – increase; 2 – decrease; 3 – stable condition; 4 – found it difficult to answer.

ление реки и ухудшение условий судоходства. В частности, как отмечали респонденты, это привело к тому, что для жителей пригородов и отдаленных деревень существенно снизилась транспортная доступность и мобильность населения, проживающего вдоль долины реки.

На вопросы относительно изменения количества рыбы в реке большинство интервьюируемых также затруднились ответить. Однако треть респондентов смогла прокомментировать ситуацию. Преимущественно это мужское население, увлекающееся рыбалкой. При этом, чем продолжительнее было их увлечение, тем увереннее опрошиваемые указывали на уменьшение рыбы в реке. Заметим, что в предыдущих неформальных наблюдениях было обнаружено, что непосредственно после возникновения карьера рыбаки часто отмечают увеличение улова рыбы (видимо, этим объясняется небольшой процент респондентов, сказавших, что улов увеличился), но в дальнейшем имеет место его снижение. Это еще раз демонстрирует, что исследования, приводимые в специальной литературе, подтверждаются общественным мнением в исследуемом регионе. Особенно этот вопрос остро стоит в небольших населенных пунктах в исследуемом регионе в связи с тем, что рыбалка является одним из широко распространенных средств рекреации населения.

Также трудности вызвал вопрос об исчезновении родников и источников – примерно две трети респондентов не смогли на него ответить, т.к. пользуются централизованным водоснабжением (рис. 4). Однако те опрошиваемые, которые с этим сталкивались, в подавляющем большинстве указывали на снижение уровня воды в колодцах и исчезновение или истощение родников и источников. Также респонденты, сталкивающиеся с сельским хозяйством, отмечали увеличение нормы полива сельскохозяйственных угодий. Следовательно, снижение уровня грунтовых вод вследствие добычных работ оказывает заметное влияние на население региона, задействованное на сельском хозяйстве и проживающее в частном секторе.

Вопрос об отношении к добыче песков и других общедоступных полезных ископаемых из русла реки задавался последним для того, чтобы интервьюируемый не детерминировался при ответе на предыдущие вопросы (не происходило моделирование желаемого ответа). На данный вопрос 50% опрошенных высказалась нейтрально или затруднилась ответить на вопрос, а 16% активно поддержала добычу песка из реки.

Встречались мнения о том, что ранее при добыче песков проводились чистки русла и очистка берегов от мусора, что положительно сказывалось на долинных ландшафтах и состоянии самого русла. Лишь треть интервьюируемых дала негативную оценку этой практике. При этом, в последней категории оценки варьировались от умеренных (как необходимое “зло”, т.е. добывать следует, в любом случае) до крайне экспрессивных (“это просто безобразие”). При этом, от респондентов, придерживающихся различных точек зрения (как позитивных, так и негативных), довольно часто можно было услышать суждение, что пески и другие общедоступные полезные ископаемые можно добывать, но с “соблюдением определенных норм”, “без нарушения экосистемы” и т.д. Следовательно, при соблюдении норм и правил добычных работ, в большинстве случаев можно ожидать позитивной или нейтральной реакции местных жителей на соответствующие работы в русле реки и прилегающей территории.

### ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

В целом, можно констатировать, что интерес к изучению социальных аспектов геоэкологической оценки добычи нерудных строительных материалов в русле реки вызывает в мире все больший интерес. В отечественной литературе эта тематика практически не затрагивается. Однако для принятия наиболее рациональных управленческих решений такой анализ может оказать неоценимую помощь.

Собственные полевые исследования этой проблемы показали следующие результаты.

Экологическую осведомленность прилегающих к долине р. Оки (в пределах Московской области) населенных пунктов о добыче нерудных полезных ископаемых и посадке уровня реки можно охарактеризовать как умеренную с тенденцией к недостаточной. У части населения есть представление о том, что добыча песков и других нерудных полезных ископаемых сказывается на экологическом состоянии реки. При этом, понимание значения водных ресурсов для успешного существования описываемой территории, за редким исключением, достаточно низкое.

Саму экологическую озабоченность населения региона также можно охарактеризовать как умеренно-настороженную. С одной стороны, наблюдается субъективная обеспокоенность ухудшением экологического состояния реки в связи с изъятием песков и других общедоступных полезных ископаемых из русла реки. С другой стороны, есть понимание, что это необходимая для региона экономическая деятельность.

Так как ситуация не вызывает существенной озабоченности и демонстрирует малую информированность, то вопрос “что респондент готов предпринимать по этому поводу?” не возникал, но он может возникнуть при интенсификации добычных работ с нарушением правил и норм добычи.

На основе проведенных исследований экологической информированности и озабоченности можно дать следующие *рекомендации*.

Умеренная добыча песков и других общедоступных полезных ископаемых в регионе допустима при соблюдении экологических нормативов, т.к. пренебрежение этими нормативами может вызвать повышенную обеспокоенность населения и могут появиться протестные настроения в регионе.

Крайне желательно обратить внимание на мероприятия по улучшению состояния ландшафта на территории добычи, т.к. респонденты оказались очень чувствительны к эстетической стороне вопроса (обнаженные поверхности земли, пустыри и т.д.), наличию мусора в русле и на берегах реки, а также отсутствию соответствующего ухода за долиной реки.

Также добыча должна сопровождаться информационной поддержкой по разъяснению целей и задач данной деятельности, ее экономической и социальной выгодой для жителей региона, экологической обоснованностью норм добычи и деятельности по рекультивации долинных ландшафтов. Соответствующую информацию желательно

размещать в интернете, местной прессе, а также давать на местном телевидении. Возможно, следует организовывать школьные экскурсии (с соблюдением всех мер безопасности) на места по добычи с рассказом о вышесказанных плюсах и минусах добычи соответствующих полезных ископаемых из русла реки.

Кроме всего вышесказанного, необходимым условием проведения добычных работ является организация регулярного мониторинга экологической обеспокоенности в районе разрабатываемых месторождений, что поможет своевременно выявить формирование негативной динамики этой озабоченности, возникновение конфликтов между организаторами добычных работ и местным населением, а также ухудшение общей социально-экономической ситуации в регионе, что неоднократно описано в специальной литературе на примере других стран.

Таким образом, предложенная методика выявления экологической озабоченности жителей территорий, прилегающих к руслу реки, где проводятся или планируются работы по добыче, позволяет снизить риск возникновения социальной напряженности в регионе.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барышников Н.Б., Субботина Е.С. Гидрологические риски при разработке русловых карьеров на реках России // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. № 21. 2011. С. 5–10.
2. Беркович К.М. Современная трансформация продольного профиля верхней Оки // Геоморфология и палеогеография. 1993. № 3. С. 43–49.
3. Беркович К.М., Злотина Л.В., Турыкин Л.А. Русловые процессы и использование природных ресурсов реки (на примере Оки) // География и природные ресурсы. 2015. № 1. С. 98–104.
4. Беркович К.М. Руслу рек и деятельность человека. М.: Принтков. 2020. 146 с.
5. Гладков Г.Л. Обеспечение устойчивости русел судоходных рек при дноуглублении и разработке русловых карьеров. Автореферат дисс. доктора тех. наук, СПб ун-т водн. коммун. СПб.: 1996. 33 с.
6. Горшков М.К., Шереги Ф.Э. Прикладная социология: методология и методы. М.: ФГАНУ, "Центр социологических исследований", ИС РАН. 2012. 404 с.
7. Карасев И.Ф. Русловые процессы при переброске стока. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 288 с.
8. Масалков И.К., Семина М.В. Стратегия кейс-стади. Методология исследования и преподавания. М.: Академический Проект; Альма Матер, 2011. 443 с.
9. Наумов Г.Г. Антропогенные воздействия на русловые процессы на переходах через водотоки. М.: МАДИ. 2012. 105 с.
10. Смищенко Б.Ф., Месерлянс Г.Г. Развитие руслового процесса на участках выемок речного аллювия // Динамика русловых потоков. Л.: ЛПИ. 1987. 342 с.
11. Тойн П., Ньюби П. Методы географических исследований. 1. Вып. Экономическая география. М.: Изд-во "Прогресс". 1977. 275 с.
12. Турыкин Л.А. и др. Определение экологически допустимых параметров русловой добычи общераспространенных полезных ископаемых в русле р. Оки // Тридцать пятое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов: Доклады и краткие сообщения. Курск: Деловая полиграфия. 2020. С. 33–39.
13. Ядов В.А. Стратегия социологического исследования. Описание, объяснение, понимание социальной реальности. 3-е изд., испр. М.: Омега-Л, 2007. 567 с.
14. Яницкий О.Н. Экологическая культура: очерки взаимодействия науки и практики. М.: Наука, 2007. 271 с.
15. Alcamo J. et al. Ecosystems and Human Well-Being: a Framework for Assessment. Island Press, 2003. 266 p.
16. Ayuk E. et al. Mineral Resource Governance in the 21st Century: Gearing Extractive Industries towards Sustainable Development. International Resource Panel, United Nations Enviro, Nairobi, Kenya, 2020. 374 p.
17. Bendixen M. et al. Sand, Gravel, And UN Sustainable Development Goals: Conflicts, Synergies, and Pathways Forward // One Earth. 2021. V. 4. № 8. P. 1095–1111.
18. Bisht A., Gerber J.F. Ecological Distribution Conflicts (EDCs) over Mineral Extraction in India: An overview // The Extractive Industries and Society. 2017. V. 4. № 3. P. 548–563.
19. Churkina G. et al. Buildings as a Global Carbon Sink // Nature Sustainability. 2020. V. 3. № 4. P. 269–276.

20. Cruz S.M., Manata B. Measurement of Environmental Concern: A Review and Analysis // *Frontiers in Psychology*. 2020. V. 11. 363 p.
21. Dunlap R.E., Jones R.E. Environmental Concern: Conceptual and measurement Issues // *Handbook Of Environmental Sociology*. 2002. V. 3. № 6. P. 482–524.
22. Ester P. Environmental Concern in the Netherlands // *Progress in Resource Management and Environmental Planning*. 1981. P. 81–108.
23. Ester P., Van der Meer F. Determinants of Individual Environmental Behaviour. an Outline of a Behavioural Model and some Research Findings // *Netherlands (The) Journal of Sociology and Sociologia Neerlandica Amsterdam*. 1982. V. 18. № 1. P. 57–94.
24. Franks D.M. Reclaiming the Neglected Minerals of Development // *The Extractive Industries and Society*. 2020. V. 7. № 2. P. 453–460.
25. Harriss-White B., Michelutti L. (ed.). *The Wild East: Criminal Political Economies in South Asia*. UCL Press, 2019. 367 p.
26. Kondolf G.M. Geomorphic and Environmental Effects of Instream Gravel Mining // *Landscape and Urban Planning*. 1994. V. 28. № 2–3. P. 225–243.
27. Krausmann F. et al. Growth in Global Materials Use, GDP and Population During the 20th Century // *Ecological Economics*. 2009. V. 68. № 10. P. 2696–2705.
28. Mahadevan P. Sand mafias in India // *Disorganized Crime in a Growing Economy*. 2019. P. 1–27.
29. Miatto A. et al. Global Patterns and Trends for Non-Metallic Minerals Used for Construction // *Journal of Industrial Ecology*. 2017. V. 21. № 4. P. 924–937.
30. Millennium Ecosystem Assessment (MEA) *Ecosystems and Human Well-Being: Wetlands and Water*. World Resources Institute, 2005. 81 p.
31. Padmalal D., Maya K. *Sand Mining: Environmental Impacts and Selected Case Studies*. Springer, 2014. 177 p.
32. Parker D. Environmental Assessment and Auditing of Mining Operations – An International Perspective // *Proceedings of the IBC UK Conferences on the Environmental Management of Mining Operations*, London. 1996.
33. Peduzzi P. Sand, rarer than one thinks, *Environ. Dev.*, 11, 2014. P. 208–218.
34. Sverdrup H.U., Koca D., Schlyter P. A simple system dynamics model for the global production rate of sand, gravel, crushed rock and stone, market prices and long-term supply embedded into the WORLD6 model // *BioPhysical Economics and Resource Quality*. 2017. 1. 2. P. 1–20.
35. Torres A. et al. A looming tragedy of the sand commons // *Science*. 2017. V. 357. № 6355. P. 970–971.
36. Wiejaczka Ł. et al. Socioenvironmental issues of river bed material extraction in the Himalayan piedmont (India) // *Environmental earth sciences*. 2018. V. 77. P. 1–9.
37. Willis K.G., Garrod G.D. Externalities from extraction of aggregates: regulation by tax or land-use controls // *Resources Policy*. 1999. V. 25. № 2. P. 77–86.

## Socio-Ecological Aspects in Geocological Assessment of Nonmetal Construction Materials Mining in the Oka Riverbed

V. P. Bondarev<sup>1, 2, \*</sup>, A. O. Zagorevskaya<sup>3, \*\*</sup>,  
M. B. Myakisheva<sup>1, \*\*\*</sup>, and L. A. Turykin<sup>1, \*\*\*\*</sup>

<sup>1</sup>*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

<sup>2</sup>*Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia*

<sup>3</sup>*National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia*

\*E-mail: valery\_bondarev@mail.ru

\*\*E-mail: a.zagorevskaya@ya.ru

\*\*\*E-mail: mmyak1121@mail.ru

\*\*\*\*E-mail: filigorod@list.ru

**Abstract**—The evaluation of socio-ecological risks of the mining of sand-gravel mixture (SGM) from the riverbed is an important applied aspect of geo-ecological analysis. The article provides an overview of international scientific publications on this issue. The authors bring to light the most discussed, hence, the most relevant socio-ecological problems related to the extraction of SGM: a growing demand and shortage of these materials, deteriorating living conditions in areas adjacent to mining sites, deteriorating road conditions, water supply problems, increasing limitations to recreational land use, labor market distortions, rising crime, etc. The authors demonstrate that optimal management decision-making requires both an investigation of sand-gravel mining conditions and standards, and a socio-ecological assessment of the area, including the population's environmental awareness regarding

this problem; and illustrate this notion with the results of a study (semi-structured interviews in the form of a case study, combined with a quantitative pilot study) on population's environmental concerns that has been conducted in several cities on the Oka River in the Moscow Region. The study suggests that the population's awareness regarding the environmental issues of non-metal mineral resources extraction could be described as ranging from moderate to insufficient. The most active part of the population has an understanding of how SGM extraction affects the riverbed. However, the population's overall appreciation of the importance of water resources for the existence of the region is rather low. The environmental concern levels could be described as moderately wary: there is subjective preoccupation with the issue of deterioration of the ecological state of the river, but there also is an understanding of the economic importance of SGM mining. Based on the conducted study, the authors provide specific recommendations as to how it could be increase the environmental awareness regarding the topic at hand. In addition, the authors stress the environmental importance of observing the regulations regarding the SGM, explain the benefits of informational support of the population and organization of educational events, and suggest conducting regular monitoring of the socio-ecological state of the region. The proposed method for identifying the levels of environmental concern of the population is believed to allow for a reduction of potential social tensions within the region.

*Keywords:* alluvial sands and gravels, environmental concern, geo-ecological analysis, socio-ecological impact of mineral resources mining

## REFERENCES

1. Baryshnikov N.B., Subbotina E.S. Gidrologicheskie riski pri razrabotke ruslovykh kar'erov na rekah Rossii // Uchenye zapiski Rossijskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta. № 21. 2011. P. 5–10. (in Russian).
2. Berkovich K.M. Sovremennaya transformaciya prodol'nogo profilya verhnjej Oki // Geomorfologiya i paleogeografiya. 1993. № 3. P. 43–49. (in Russian).
3. Berkovich K.M., Zlotina L.V., Turykin L.A. Ruslovyje processy i ispol'zovanie prirodnyh resursov reki (na primere Oki) // Geografiya i prirodnye resursy. 2015. № 1. P. 98–104. (in Russian).
4. Berkovich K.M. Rusla rek i deyatel'nost' cheloveka. M.: Printkov. 2020. 146. (in Russian).
5. Gladkov G.L. Obespechenie ustojchivosti rusel sudohodnyh rek pri dnouglublenii i razrabotke ruslovyh kar'erov. Avtoreferat diss. doktora tekhn. nauk, SPb un-t vodn. kommun. SPb.: 1996. 33 p. (in Russian).
6. Gorshkov M.K., SHeregi F.E. Prikladnaya sociologiya: metodologiya i metody. M.: FGANU, "Centr sociologicheskikh issledovanij", IS RAN. 2012. 404 p. (in Russian).
7. Karasev I.F. Ruslovyje processy pri perebroske stoka. L.: Gidrometeoizdat, 1975. 288 p. (in Russian).
8. Masalkov I.K., Semina M.V. Strategiya kejs stadi. Metodologiya issledovaniya i prepodavaniya. M.: Akademicheskij Proekt; Al'ma Mater. 2011. 443. (in Russian).
9. Naumov G.G. Antropogennyye vozdejstviya na ruslovyje processy na perekhodah cherez vodotoki. M.: MADI. 2012. 105 p. (in Russian).
10. Snishchenko B.F., Meserlyans G.G. Razvitie ruslovogo processa na uchastkah vyemok rechnogo allyuviya // Dinamika ruslovyh potokov. L.: LPI. 1987. 342. (in Russian).
11. Tojn P., N'yubi P. Metody geograficheskikh issledovanij. 1. Vyp. Ekonomicheskaya geografiya. M.: Izd-vo "Progress". 1977. 275 p. (in Russian).
12. Turykin L.A. i dr. Opredelenie ekologicheskikh dopustimyh parametrov ruslovoj dobychi obshcherasprostranennykh poleznykh iskopaemykh v rusle r. Oki // Tridcat' pyatoe plenarnoe mezhvuzovskoe koordinacionnoe soveshchanie po probleme erozionnyh, ruslovyh i ust'evykh processov: Doklady i kratkie soobshcheniya. Kursk: Delovaya poligrafiya. 2020. P. 33–39. (in Russian).
13. Yadov V.A. Strategiya sociologicheskogo issledovaniya. Opisanie, ob'yasnenie, ponimanie social'noj real'nosti. 3-e izd., ispr. M.: Omega-L. 2007. 567 p. (in Russian).
14. Yanickij O.N. Ekologicheskaya kul'tura: ocherki vzaimodejstviya nauki i praktiki. M.: Nauka, 2007. 271 p. (in Russian).
15. Alcamo J. et al. Ecosystems and Human Well-Being: a Framework for Assessment. Island Press, 2003. 266 p.
16. Ayuk E. et al. Mineral Resource Governance in the 21st Century: Gearing Extractive Industries towards Sustainable Development. International Resource Panel, United Nations Enviro, Nairobi, Kenya, 2020. 374 p.

17. Bendixen M. et al. Sand, Gravel, And UN Sustainable Development Goals: Conflicts, Synergies, and Pathways Forward // *One Earth*. 2021. Vol. 4. № 8. P. 1095–1111.
18. Bisht A., Gerber J.F. Ecological Distribution Conflicts (EDCs) over Mineral Extraction in India: An overview // *The Extractive Industries and Society*. 2017. Vol. 4. № 3. P. 548–563.
19. Churkina G. et al. Buildings as a Global Carbon Sink // *Nature Sustainability*. 2020. Vol. 3. № 4. P. 269–276.
20. Cruz S.M., Manata B. Measurement of Environmental Concern: A Review and Analysis // *Frontiers in Psychology*. 2020. Vol. 11. 363 p.
21. Dunlap R.E., Jones R.E. Environmental Concern: Conceptual and measurement Issues // *Handbook Of Environmental Sociology*. 2002. Vol. 3. № 6. P. 482–524.
22. Ester P. Environmental Concern in the Netherlands // *Progress in Resource Management and Environmental Planning*. 1981. P. 81–108.
23. Ester P., Van der Meer F. Determinants of Individual Environmental Behaviour. an Outline of a Behavioural Model and some Research Findings // *Netherlands (The) Journal of Sociology and Sociologia Neerlandica Amsterdam*. 1982. Vol. 18. № 1. P. 57–94.
24. Franks D.M. Reclaiming the Neglected Minerals of Development // *The Extractive Industries and Society*. 2020. Vol. 7. № 2. P. 453–460.
25. Harriss-White B., Michelutti L. (ed.). *The Wild East: Criminal Political Economies in South Asia*. UCL Press, 2019. 367 p.
26. Kondolf G.M. Geomorphic and Environmental Effects of Instream Gravel Mining // *Landscape and Urban Planning*. 1994. Vol. 28. № 2–3. P. 225–243.
27. Krausmann F. et al. Growth in Global Materials Use, GDP and Population During the 20th Century // *Ecological Economics*. 2009. Vol. 68. № 10. P. 2696–2705.
28. Mahadevan P. Sand mafias in India // *Disorganized Crime in a Growing Economy*. 2019. P. 1–27.
29. Miatto A. et al. Global Patterns and Trends for Non-Metallic Minerals Used for Construction // *Journal of Industrial Ecology*. 2017. Vol. 21. № 4. P. 924–937.
30. Millennium Ecosystem Assessment (MEA) *Ecosystems and Human Well-Being: Wetlands and Water*. World Resources Institute, 2005. 81 p.
31. Padmalal D., Maya K. *Sand Mining: Environmental Impacts and Selected Case Studies*. Springer, 2014. 177 p.
32. Parker D. Environmental Assessment and Auditing of Mining Operations – An International Perspective // *Proceedings of the IBC UK Conferences on the Environmental Management of Mining Operations*, London. 1996.
33. Peduzzi P. Sand, rarer than one thinks, *Environ. Dev.*, 11, 2014. P. 208–218.
34. Sverdrup H.U., Koca D., Schlyter P. A simple system dynamics model for the global production rate of sand, gravel, crushed rock and stone, market prices and long-term supply embedded into the WORLD6 model // *BioPhysical Economics and Resource Quality*. 2017. Vol. 2. P. 1–20.
35. Torres A. et al. A looming tragedy of the sand commons // *Science*. 2017. Vol. 357. № 6355. P. 970–971.
36. Wiejaczka Ł. et al. Socioenvironmental issues of river bed material extraction in the Himalayan piedmont (India) // *Environmental earth sciences*. 2018. Vol. 77. P. 1–9.
37. Willis K.G., Garrod G.D. Externalities from extraction of aggregates: regulation by tax or land-use controls // *Resources Policy*. 1999. Vol. 25. № 2. P. 77–86.

УДК 556.532

## СТОК НАНОСОВ РЕК БАССЕЙНА АЛДАНА И ГОРНОДОБЫВАЮЩАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

© 2023 г. Д. В. Магрицкий\*

*Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия**\*E-mail: magdima@yandex.ru*

Поступила в редакцию 07.02.2023 г.

После доработки 12.04.2023 г.

Принята к публикации 02.06.2023 г.

Приводятся результаты исследования особенностей и причин уменьшения мутности воды и расходов взвешенных наносов рек (в 1.5–5 раз) в бассейне р.Алдан со второй половины 1980-х и с 1990-х гг. Установлено, что изменения гидрологических факторов за исследуемый период либо были незначительно негативными, либо чаще благоприятными по отношению к формированию и русловому транзиту стока наносов: общая водность рек, в целом, выросла — от <5% на юго-востоке бассейна до 20–30% (и больше) на равнинах низовья Алдана; максимальные расходы воды имели разнонаправленную тенденцию; летний сток снизился; температура воды, как важный фактор термоэрозии, повысилась. С другой стороны, горнодобывающая промышленность прошла через период резкого снижения (в 1990-х гг.) производства и закрытия предприятий и нового возрождения в XXI в., но уже под прессом строгих природоохранных ограничений. Также, начиная с 1990-х гг., уменьшился объем стационарных данных по стоку наносов. Детальное сравнение данных наблюдений за наносами на постах и по месторождениям, их размещению и типу, этапам освоения и динамики добычи, реализации мероприятий по уменьшению негативного воздействия на реки выявило близость многолетних колебаний стока наносов рек и хода основных показателей антропогенного фактора. Кроме того, установлено, что, поскольку начало мониторинга за стоком наносов рек датируется в бассейне Алдана 1950–1970-ми гг., данные с постов с самого начала не фиксировали естественный режим расходов наносов и мутности воды. Тем не менее определены периоды в рядах наблюдений, когда влияние горнодобычи на сток наносов было минимальным, и они близки к условно-естественным значениям.

*Ключевые слова:* река, пост, мониторинг, сток воды и наносов, добыча полезных ископаемых, антропогенное воздействие

DOI: 10.31857/S0869607123020076, EDN: FRAJLC

### ВВЕДЕНИЕ

Расчет характеристик и анализ пространственно-временной изменчивости стока наносов рек, установление закономерностей и их причин, математическое описание причинно-следственных связей, построение карт мутности и т.п. предполагают, что формирование и транзит наносов происходят в естественных условиях. Но это не всегда так, особенно в районах масштабной сельскохозяйственной деятельности и строительства, горной добычи, сооружения водохранилищ. Известно, что последние служат барьером для перемещения речных наносов, существенно уменьшая его естественный сток [4, 26–28]. Горнодобывающие предприятия и техногенные аварии на хвостохра-

нилищах, добыча нерудных материалов в русле и на пойме рек — наоборот, источник поступления дополнительных наносов в реки, фактор увеличения мутности воды и расходов взвешенных наносов [2, 4, 8, 9, 17, 25, 27]. Например, на руч. Левый Тиректах мутность воды ниже комбината “Индибирзолото” составила в 1983 г. 187 г/м<sup>3</sup> против 27.5 г/м<sup>3</sup> выше по течению, на р. Большой Тарын — 137 и 62 г/м<sup>3</sup>, на р. Западная (комбинат “Джугджурзолото”) — 639 и 0.75 г/м<sup>3</sup> [8]. Гидрологические посты с наблюдениями за речными наносами собирают интегральные данные без учета генезиса наносов, что усложняет их интерпретацию.

В бассейне р. Лена горная добыча ведется давно — в промышленных масштабах с начала XX в. [9, 16, 19, 21], но какие реки и, главное, гидрологические посты находятся в зоне ее реального влияния до сих пор неизвестно. Мало того, измерения мутности воды и расходов наносов на большинстве постов начались в период с 1950-х по 1970-е годы, когда значительная часть месторождений полезных ископаемых (ПИ) уже разрабатывалась. Да и сами посты размещались в районах добычи ПИ. Второй предпосылкой к научному изучению влияния недропользования на сток наносов стал неожиданный результат недавнего обобщения многолетних рядов мутности воды на реках Азиатской части России (АЧР) и отдельно в бассейне Лены [10–12]. Было установлено, что, несмотря на доминирование рек с увеличением водного стока [13, 15], повышением температуры воды и теплового стока, как одного из факторов термоэрозии многолетнемерзлых пород (ММП) [4, 24], почти половина постов показывают статистически значимое снижение стока наносов, именно за счет снижения мутности воды, и начиная с 1990-х гг. Следствие ли это резкого сокращения хозяйственной деятельности в регионе и ее воздействия на сток, или оно связано с изменениями в системе стационарного мониторинга, или это такая реакция стока наносов местных рек на гидроклиматические процессы, объяснить невозможно без всестороннего анализа каждого из этих условий. Это и стало целью работы. Главными задачами выбраны, во-первых, изучение и картирование горнодобывающей деятельности в бассейне Алдана, во-вторых, анализ многолетних изменений стока, водного и термического режима рек, в-третьих, сопоставление результатов первых двух пунктов с характером многолетнего хода наносов рек с целью обоснования или опровержения факта антропогенного влияния.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Информационной основой для исследований послужили, прежде всего, данные многолетних наблюдений на гидрологических постах в бассейне Алдана и на граничащей с ним р. Ботома (Буотама) с самого начала наблюдений и до 2020 г. Использованы данные по среднемесячным, среднегодовым и максимальным расходам воды  $Q$ , м<sup>3</sup>/с (по 22 постам), температурам воды  $T$ , °C (5 постов), мутности  $S$ , г/м<sup>3</sup>, и расходам взвешенных наносов  $R$ , кг/с (10 постов). Часть пропущенных значений, которых довольно много в рядах  $R$ , восстановлена автором по построенным эмпирическим зависимостям со среднемесячными и среднегодовыми расходами воды (при коэффициенте корреляции  $r > 0.70$ ), т.е. вида  $R = f(Q)$ . Интересно, что для большинства постов, начиная с 1990-х гг., характер зависимостей изменился, а связь стала менее тесной.

Отдельно изучен вопрос качества первичных данных по стоку наносов, предельные ошибки которых не должны превышать  $\pm 20\%$ , согласно “Наставлениям гидрологическим станциям и постам” (вып. 6, часть 3, 1958 г.). До 1957 г. стационарные данные не были надежными из-за малого объема проб воды и веса наносов на фильтре [14, с. 359]. Часть расходов наносов до 1980 г. была в Якутском УГМС пересчитана, но за годы до 1975 г. обновленные значения в справочниках не приведены [5, с. 286]. Места отбора проб воды с наносами практически не менялись, за исключением 1971–1974 гг. на участке поста Нерюнгри (в связи со строительством моста), с 2005 г. — пост Нагорный (пробы стали отбирать у берега). По данным из Гидрологических ежегодников

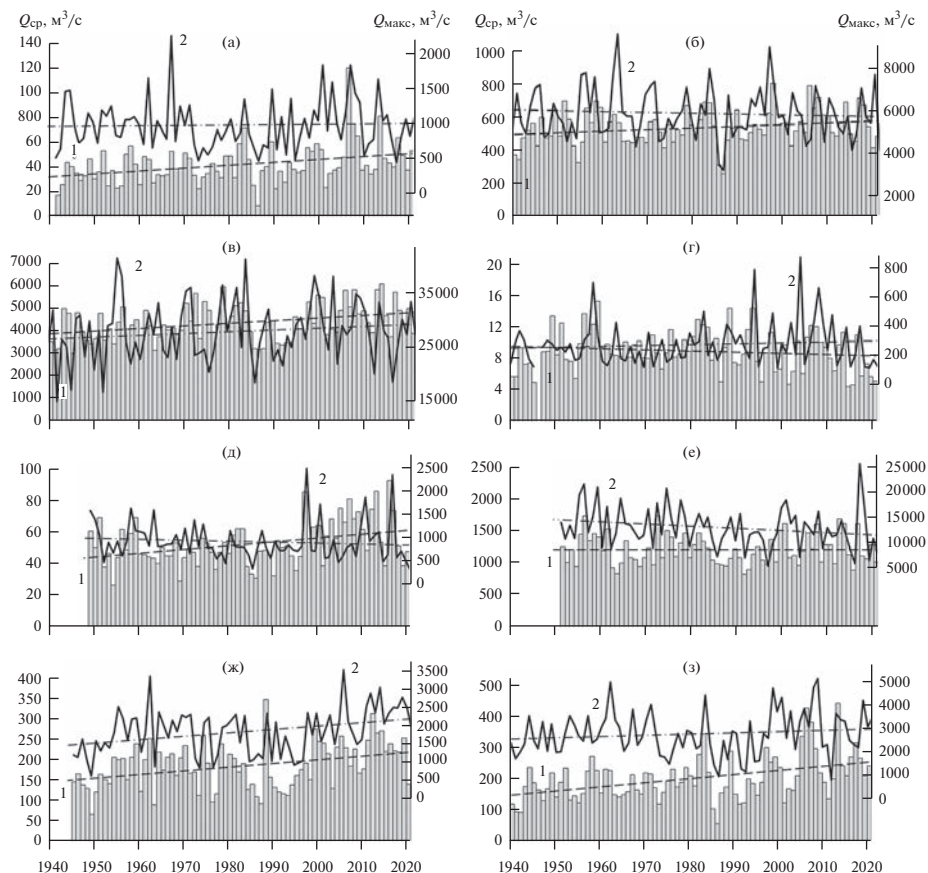
(том I, вып. 16), естественный режим стока наносов выше поста Томмот был нарушен в 1983–1993 гг. в связи со строительством автомобильного моста и его дальнейшей эксплуатацией, и до 2000 г. уже из-за строительства железнодорожного моста. О влиянии Нерюнгринского угольного карьера на сток наносов Верхней Нерюнгри (Нерюнгри) сообщается в Гидрологических ежегодниках за 1987–1988 гг. и начиная с 2007 г. Данные пониженной точности приходятся в период после 1980 г. на 1994, 1998, 2005 гг. (Томмот), 1987, 1996, 2000, 2008, 2010 гг. (Охотский Перевоз), 1981–1985, 1991, 1992, 1996 гг. (Верхоянский Перевоз), 1985, 2010 гг. (Нагорный), 1983, 1985, 1996–1999 гг. (Чульман), 1985, 2003 гг. (Нерюнгри), 1983–1984 гг. (Амга). Основные причины — нерепрезентативное место отбора пробы, малые навески на фильтрах, нарушения в полевых измерениях. Также, по всей видимости, с начала/середины 1990-х гг. на большинстве постов, за исключением Томмота, измерения  $R$  не проводились, и он, как и средняя мутность, определялись по измерениям единичной мутности на постоянной вертикали и не обновлявшемуся переходному коэффициенту. Тем не менее, автор в материалах Росгидромета не увидел серьезных инструментально-методических изменений в измерениях и расчетах  $R$ .

Другой массив данных составили собранные автором сведения по разрабатываемым (в настоящем и прошлом) месторождениям полезных ископаемых (ПИ). Они включили название и местоположение эксплуатируемого месторождения, тип ПИ и размеры добычи, историю разработки. В работе использованы только открытые данные: векторно-растровые слои и атрибутивные к ним таблицы с сайта “ГИС — Атлас Недр России” [29], ежегодные “Государственные доклады о состоянии окружающей среды Республики Саха (Якутия)” [30], сведения из бумажных и электронных СМИ, научных и справочных публикаций, с сайтов горнодобывающих компаний и др. Важной задачей на этом этапе был отсев месторождений, к реальной разработке которых еще не приступили, поиск закрытых месторождений, установление этапов освоения и динамики объемов добычи. Рассматривались месторождения ювелирных камней, рудных и россыпных благородных металлов, полиметаллов и железной руды, угля, строительного и горнохимического сырья. Реально эксплуатируемые месторождения, пространственные размеры добычи определялись по спутниковым снимкам с сайтов GoogleEarth и ЯндексКарты. Их возможностей было достаточно.

Многолетние ряды  $Q$ ,  $R$ ,  $S$  и  $T$  анализировались на предмет нарушения их временной однородности (с помощью критериев Фишера, Стьюдента, Манна–Уитни, при  $\alpha = 5\%$ ), величина и значимость тренда (на основе критерия Спирмена). Так называемые “переломные годы” в многолетних колебаниях устанавливались с помощью теста Петтит, суммарных и разностных интегральных кривых. Оценивалась относительная разность величин гидрологических характеристик, относящихся к выделенным подпериодам. Для зональных рек они были отнесены к геометрическим центрам водосборов, замыкаемых постами, позволив методом линейной интерполяции провести изолинии. Было проведено историческое и статистическое сопоставление сведений о территориальной и гидрографической локализации, начале, истории развития и масштабах горнодобычи, о многолетней динамике гидрологических факторов стока наносов с самими ежегодными данными по стоку наносов и результатами их обработки. Установлены факты влияния на сток наносов природных и антропогенных факторов.

**Основные результаты. Многолетняя динамика гидрологических факторов стока наносов.** Сток воды рек в бассейне Алдана, как фактор механической эрозии речных берегов и русел, отвечающий за транзит речных наносов, претерпел важные изменения. Установлено, что в колебаниях годового стока рек серьезные изменения отмечаются в большинстве случаев с середины 1990-х гг. (рис. 1). В итоге началом современного периода выбран 1995 г.

Практически на всех постах этот переход ознаменовался увеличением водности рек (рис. 2а), что согласуется с выводами из [15]. Величина отклонения годового стока с

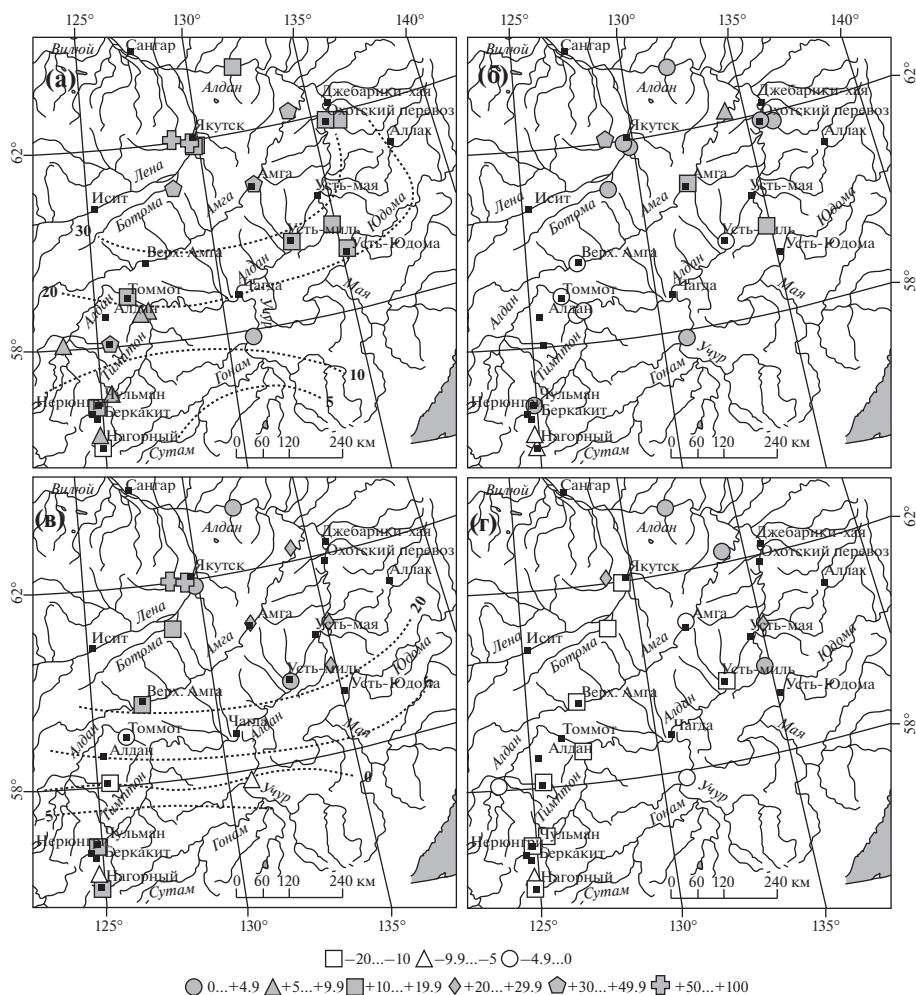


**Рис. 1.** Многолетние изменения среднегодовых (1) и максимальных (2) расходов воды. Посты: а – Бролог (р. Буотамы), б – Томмот (р. Алдан), в – Охотский Перевоз (р. Алдан), г – Нагорный (р. Тимптон), д – Чульман (р. Чульман), е – Чюльбю (р. Учур), ж – Аллах (р. Аллах-Юнь), з – Амга (р. Амга).

**Fig. 1.** Long-term changes of average annual (1) and maximum (2) water discharges. Gauging stations: а – Brolog (Buotama River), б – Tommot (Aldan R.), в – Okhotskiy Perevoz (R. Aldan), г – Nagorny (Timpton R.), д – Chulman (Chulman R.), е – Chulbyu (Uchur R.), ж – Allah (Allah-Yun' R.), з – Amga (R. Amga).

1996 гг. от величины в 1951–1995 гг. нарастает в северном и северо-западном направлении, т.е. от Станового хребта и Алданского нагорья к равнинам низовья Алдана и Центрально-Якутской равнине, – от 5% (и меньше) до 20–30% (и больше). В 70% случаев эти изменения значимые (по Стьюденту). На замыкающем створе Алдана – Верхоянском Перевозе – изменения составили +14.5%. В течение современного периода  $Q_{\text{ср}}$  либо сохранялся повышенным, либо испытал дальнейшее повышение, в частности с середины 2000-х гг. Поэтому, за исключением нескольких постов в бассейне р. Тимптон и на среднем Алдане, тренды за 1996–2020 гг. положительные – примерно от 0.5 до 10%/10 лет (рис. 26). Для Верхоянского Перевоза он составил 1.5% за 10 лет.

Рост общей водности рек обеспечен ее увеличением во все сезоны, за исключением летнего – очень важного для формирования стока наносов. Расходы воды в июне уменьшились в среднем на 4–6% (практически на всех постах), в июле – на 0.3–2.8%



**Рис. 2.** Карты относительных отклонений (%) среднегодовых (а) и максимальных (в) расходов в 1996–2020 гг. от их средней многолетней величины в 1951–1995 гг. (с изолиниями), и величины линейного тренда за 1996–2020 гг. (в %/10 лет по отношению к стоку за 1951–1995 гг.) (б, г).

**Fig. 2.** Maps of relative variance (%) of average annual (a) and maximum (в) water discharges in 1996–2020 from their long-term values in 1951–1995. (with isolines), and value of linear trend for 1996–2020. (in %/10 years relative to the runoff for 1951–1995) (б, г).

(90% постов), в августе – на 0.1–1.6% (75% постов). В мае водность на 75% постов была выше, чем в предыдущий период – на 1–5%.

Переломный год в многолетних колебаниях максимальных расходов воды ( $Q_{\text{макс}}$ ) у рек в левобережной части бассейна р. Алдана пришелся на 1996 г., а в правобережной (гористой) – на 1984–1988 гг. У рек Алданского нагорья это был переход в сторону снижения  $Q_{\text{макс}}$  (рис. 2в). Но у большинства оставшихся рек  $Q_{\text{макс}}$  все же выросли – вплоть до 20–25% к северу от линии, соединяющей посты Буюга (Амга), Усть-Миль (Алдан) и Аллах (Аллах-Юнь). На Верхоянском Перевозе увеличение составило 2.8%. Правда, в отличие от годового стока, на большинстве постов и большей части бассей-

на тренд в колебаниях  $Q_{\text{макс}}$  в 1996–2020 гг. убывающий — вплоть до  $-15\%/10\text{лет}$  (рис. 1, 2г). Но основное снижение пришлось на 2010-е гг., т.е. не могло служить причиной уменьшения мутности воды рек в 1990-х—начале 2000-х гг.

Особенностью современного периода также стало увеличение дисперсии среднегодовых и, в особенности, максимальных расходов (рис. 1). В большей мере размах межгодовых колебаний увеличился у рек в бассейне Тимптона, что может служить дополнительным фактором улучшения условий формирования стока наносов. Правда статистически значимое различие дисперсий (по Фишеру) выявлено у 37% для  $Q_{\text{ср}}$  и 16% для  $Q_{\text{макс}}$ .

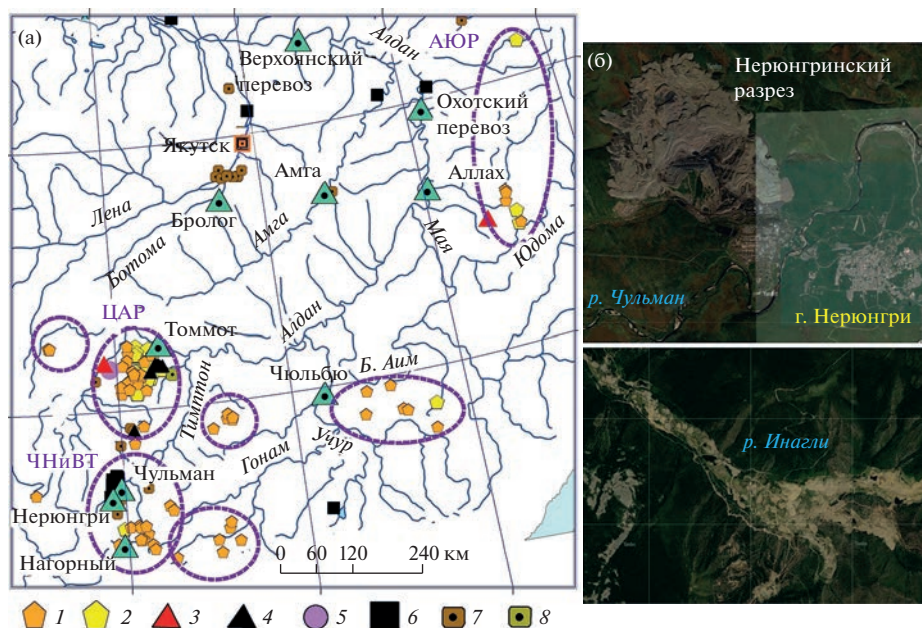
Еще один важный фактор формирования стока наносов рек криолитозоны — температура воды и тепловой сток. Его роль в термоэрозии доказана экспериментальными исследованиями в Центральной Якутии [22]. Возможно, она одна из главных причин современного серьезного увеличения стока наносов нижней Лены [23]. В отличие от водного стока температура воды однозначно повысилась. Причем первый заметный рост зафиксирован в период с конца 1980-х гг. по 1990-е гг., второй, более выраженный, — в 2000-е гг. По данным для пяти постов, для мая положительные изменения составили в среднем  $0.5^{\circ}\text{C}$ , для июня — от  $0.5$  до  $1.5^{\circ}\text{C}$ , для июля — от  $0.3$  до  $1.0^{\circ}\text{C}$ , для августа — менее  $0.5\text{--}0.7^{\circ}\text{C}$ .

**География, отраслевая структура и история недропользования в бассейне Алдана.** Оно началось с разработки россыпного золота, и по настоящее время золотодобыча остается главной горнодобывающей отраслью в бассейне Алдана. Помимо открытой добычи — из аллювиальных россыпей в долинах рек, в карьерах (на рудных месторождениях) и из технологических отвалов, — золото добывают шахтным способом. Но именно добыча россыпного золота — вблизи рек и в самом русле — напрямую влияет на русловые процессы и сток наносов.

Первое золото начали добывать на рубеже XIX–XX вв. — в бассейнах рек Тимптон и Гонам [1, 16]. Потом золото нашли в бассейнах рек Бол. Нимныр, Орто-Сала и Тырканда. После Гражданской войны до Великой Отечественной пространственный охват и объемы золотодобычи существенно выросли. В первой советской пятилетке в регионе добывали 23% всего золота страны [7]. Добычу организовали: с 1923/1924 г. — в бассейнах рр. Селигдар и Якокит, т.е. выше поста Томмот, с 1928 г. — на р. Бол. Тырканда (правобережье нижнего Тимптона), с 1931 г. — на р. Чюльбю (приток р. Учур), с 1930-х гг. — в верховьях р. Тимптон, но ниже поста Нагорный, с 1934 г. — в бассейнах рр. Ханда и Аллах-Юнь, с конца 1930-х гг. — на междуречье Амги и Алдана, с 1940 г. — на средней Юдоме и др.

В середине и второй половине XX в. в бассейне Алдана выделяются следующие крупные золотодобывающие районы. Это, во-первых, месторождения Аллах-Юньского золотоносного поля в горной части правобережья нижнего и среднего Алдана. Здесь золото добывали на рр. Юдома, Тыры (месторождение Нежданинское) и Аллах-Юнь, их притоках (рис. 3). Важными этапами недропользования стали: расширение добычи в 1960–1970-х гг., достижение пика добычи в конце 1980-х — первой половине 1990-х гг. В 1996 г. Нежданинское месторождение законсервировали и запустили вновь в 2003 г. В 2006 г. построили золотоизвлекательную фабрику (ЗИФ) рудника “Дуэт”. В 2000-х гг. малые месторождения были практически исчерпаны.

Во-вторых, это Центральнo-Алданский район (ЦАР) с его многочисленными коренными и россыпными месторождениями на междуречье рр. Алдан, Большой Нимныр и Большой Ыллымах (рис. 3а). Это рр. Томмот, Селигдар, Орто-Сала и Бол. Куранах, Якокит, небольшие реки рядом с г. Томмот, их притоки, долины и междуречья. Они расположены выше поста Томмот. Добыча золота здесь началась еще в начале XX в. (в районе нынешнего г. Алдан и в верховьях р. Томмот), но массово — с середины 1920-х гг. Вначале главным способом была дражная добыча россыпей. Но в 1956 г. началась разработка месторождений Куранахского рудного поля. В 1965 г. запущена Куранахская



**Рис. 3.** Карта разрабатываемых месторождений минеральных ресурсов и гидрологических постов с измерениями мутности воды и стока наносов (а): 1 – россыпное золото, 2 – рудное золото, 3 – руды и россыпи цветных металлов, 4 – железные, урановые руды, 5 – ювелирные камни, 6 – уголь, 7, 8 – горнохимическое сырье и стройматериалы; (б) – примеры нарушенных ландшафтов в районах добычи полезных ископаемых (ресурс ЯндексКарты).

**Fig. 3.** Map of exploited mineral deposits and of hydrological stations where water turbidity and sediment load are measured (а): 1 – gold-bearing placers, 2 – ore gold, 3 – ores and placers of non-ferrous metals, 4 – iron, uranium ores, 5 – jewelry stones, 6 – coal, 7, 8 – mining chemical raw materials and building materials; (б) – examples of disturbed landscapes in mining areas (Yandex Maps resource).

ЗИФ [1]. Однако, лишь в 1977 г. построено хвостохранилище для нее [30]. В период с 1960-х гг. и по 1980-й г. объемы добычи золота были самыми большими. К 1990-м гг. многие месторождения оказались выработаны. Правда, новые месторождения продолжают вводить в эксплуатацию, например крупное Рябиновое в 2013 г. Ведутся работы по освоению Эльконской группы месторождений урана, золота и серебра, и в 2019 г. здесь добыто первое золото. В настоящее время ЦАР – основной район золото-добычи в регионе.

В-третьих, это Верхне-Тимптонский район, в районе пгт Нагорный (рис. 3а). Первое золото начали добывать с 1900 г., с расширением деятельности в 1920–1930-х гг., выработкой месторождений в 1940–1950-х гг., новым возрождением с середины 1960-х–начала 1970-х гг. С начала 1980-х гг. основная разработка велась на участке ниже поста Нагорный – между рр. Якут и Иенгра. Выше Нагорного в 1980-х и 1990-х гг. россыпные месторождения практически не разрабатывались. Все изменилось с 2001 г. Вначале была перерыта долина руч. Советский, с 2003 г. – сама р.Тимптон (в 16 км выше поста), в 2013 г. – руч. Медвежий, с 2014 г. – долина Тимптона в районе устья руч. Советский.

Другие небольшие районы – это р. Амедици (с 1930-х гг. по 1992 г.), Тыркандинский (золото здесь перестали добывать в начале 1950-х гг., но с 1973 г. золотодобыча возобновилась), Верхне-Амгинский (в 1951 г. добыча прекратилась, продолжалась в

1968–1976 гг., возобновилась в 1996 г.), на междуречье р. Учур и притоков р. Мая – рр. Большой Аим и Омня (с середины 1940-х гг., с реорганизацией в середине 1950-х гг.); Сутамский на притоках р. Сутам (бассейн р. Учур); в верховьях р. Мая (месторождение “Красивое”, 2007 г.) (рис. 3а).

Особенностью золотодобычи до середины 1970-х гг. была большая доля старательских артелей и россыпных месторождений (в общем объеме добычи), оказывающих максимальный эффект на величину и режим стока наносов рек. В 1990-х гг. добыча золота в Якутии резко снижается и достигает своего “дна” в 1998 г. [7, 9]. Меньше всего пострадала добыча из россыпных месторождений. Восстановление золотодобычи происходило медленно: к 2010-м гг. ее показатели были на уровне середины 1990-х гг. В последние 10 лет объемы добычи золота резко выросли, в основном за счет наращивания добычи рудного золота [7, 31, 32]. В то же время, в Верхне-Тимптонском районе добыча золота снижается [20].

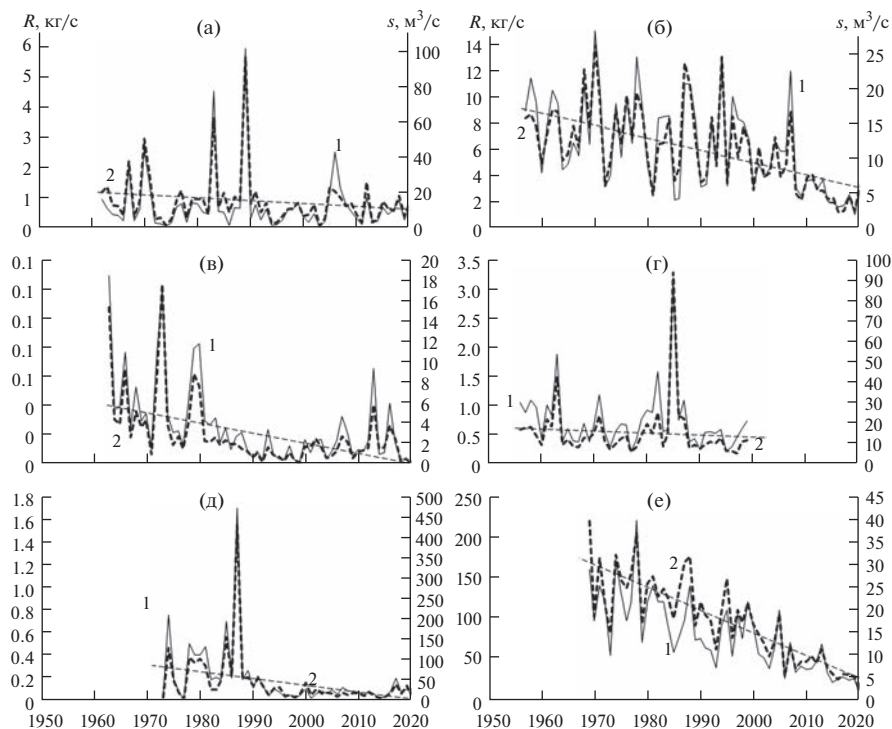
Вторая по значимости и старейшая горнодобывающая отрасль – угольная. Добыча угля началась в 1934 г. – на Чульманском месторождении. К настоящему времени в бассейне сформировалось 3 угледобывающих района: в бассейне р. Чульман (месторождения Чульмаканское, Денисовское и Нерюнгринское), в низовьях рек Алдан и Амга (Джебарики-Хая и Харбалахское), на крайнем юге бассейна р. Учур (Эльгинское). На Чульмане добыча вначале велась шахтным способом, а с 1954 г. – открытым. До войны здесь добывалось <7 тыс. т угля в год, в 1960 г. – 114 тыс. т [19]. В 1963/1964 г. заработал карьер на огромном Нерюнгринском месторождении – левобережье р. Верхняя Нерюнга, выше поста Нерюнгри (рис. 3б). С 1979 г., с пуском нового разреза, добыча угля увеличилась в несколько раз и достигла в 1989 г. 14.9 млн т [33]. К 1998 г. она снизилась до 8.84 млн т. В 2016 г. было добыто 9.3 млн т.

В 1991 г. на правом берегу Чульмана (в 10 км к югу от пгт Чульман) приступают к разработке Денисовского месторождения [34]. В начале 1990-х гг. добыча здесь составляла 0.1–0.3 млн т/год, с 2009 г. она резко увеличивается и составляет в 2011, 2018 и 2021 гг. 0.65, 2.8 и 7.2 млн т [34, 36]. С 2014 г. началась быстрое освоение Чульмаканского и Верхне-Талуминского месторождений – на левом берегу р. Чульмана, в бассейне р. Локучаakit. Сейчас здесь работает крупнейшая в России Инаглинская шахта, две обогатительные фабрики, открытый разрез.

Эльгинское месторождение – крупнейшее по запасам в стране. Но оно расположено в нескольких сотнях километров от устья р. Учур и поста Чюльбю. Извлечение угля открытым способом началась здесь в 2011 г. В 2019 г. уже добывалось 5 млн т, а в 2021 г. – 18 млн т [6].

Среднее месторождение Джебарики-Хая, примерно в 50 км ниже поста Охотский Перевоз, эксплуатируют с 1940 г. С 1973 г. уголь здесь стали добывать и открытым способом. В 1985 г. пущена в эксплуатацию современная шахта. В 1974 г. добыто 0.36 млн т, в рекордном 1993 гг. – 1.16, в начале 2000-х гг. – 0.55–0.80 млн т/год [18, 36]. В 2004 г. угольный разрез законсервирован, в 2017 г. он снова заработал. Харбалахское малое месторождение находится на левом берегу нижней Амги. Оно разрабатывается с 1967 г. [35].

Среди других разрабатываемых месторождений, которые могли влиять на сток наносов рек, следует назвать, уникальное Инаглинское месторождение хромдиопсида на р. Инагли, впадающей в Алдан выше поста Томмот. Оно разрабатывается открытым способом с 1972 г. С 1991–1992 гг. здесь начали добывать платину. В результате вся долина реки была переработана (рис. 3б). Причем максимальные изменения пришлось на вторую половину 1990-х–начало 2000-х гг. Второе – это Эмельджакское месторождение слюды-флогопита (эксплуатировалось с 1942 по 1999 г.) в бассейне р. Бол. Ыллымах (нижний Тимптон) [21]. Помимо них в бассейне много других разрабатываемых или давно заброшенных небольших месторождений.



**Рис. 4.** Многолетние колебания среднегодовых расходов взвешенных наносов (1, сплошная линия) и мутности воды с линейным трендом (2). Посты: а – Бролог (р. Ботома), б – Томмот (р. Алдан), в – Нагорный (р. Тимптон), г – Чульман (р. Чульман), д – Нерюнгри (р. Верхняя Нерюнга), е – Охотский Перевоз (р. Алдан).  
**Fig. 4.** Long-term fluctuations in the annual discharge of suspended sediments (1, solid line) and turbidity of water with a linear trend (2). Gauging stations: а – Brolog (Buotama River), б – Tommot (Aldan R.), в – Nagorny (Timpiton R.), г – Chulman (Chulman R.), д – Neryungri (Upper Neryunga R.), е – Okhotskiy Perevoz (R. Aldan).

**Сток наносов и его изменения.** Особенностью многолетних колебаний мутности воды на постах в бассейне Алдана является ее резкое снижение в последней четверти XX–начале XXI в. (рис. 4, табл. 1). Но с 1990-х гг. расходы и температура воды выросли (рис. 1, 2). То есть основная причина снижения мутности и расхода наносов не в гидрологических факторах. Сток наносов р. Ботома (рис. 4а), находящейся в естественных условиях стокоформирования, изменился мало.

Сравнение многолетних колебаний стока наносов и расходов воды за годы до 1990-х гг. тоже показало много несоответствий. Как ранее отмечено, пост Томмот, с надежными и продолжительными наблюдениями, замыкает территорию ЦАР (рис. 3). В течение всего периода наблюдений, начиная с 1943 г., мутность воды и расходы наносов на посту Томмот снижались (рис. 4б). Максимальными они были в многоводные 1943 г. и 1944 г. (табл. 1), хотя водность этих лет не была экстремальной (рис. 1). В 1950-е и 1960-е гг. сток наносов еще сравнительно большой (8.3 кг/с и 15.4 г/м³). При этом 1960-е гг. маловодные. В 1970-е и 1980-е гг. (вплоть до 1991 г.)  $R_{\text{ср}}$  и  $s_{\text{ср}}$  снижаются до 7 кг/с и 13.4 г/м³ (в среднем). В 1980-х гг. произошло уменьшение  $Q$ . Однако, главные факторы другие. Это сокращение добычи россыпного золота и активное освоение рудных месторождений; строительство хвостохранилища; возможно, ужесточение контроля за

**Таблица 1.** Средние за десятилетия среднегодовые расходы взвешенных наносов (кг/с, числитель) и мутность воды (г/м<sup>3</sup>, знаменатель)**Table 1.** Averaged (over decades) the annual discharges of suspended sediments (kg/s, numerator) and water turbidity (g/m<sup>3</sup>, denominator)

| Река—пост                      | Период                |                       |                      |                      |                      |                      |                      |                      |
|--------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                                | 1941—<br>1950         | 1951—<br>1960         | 1961—<br>1970        | 1971—<br>1980        | 1981—<br>1990        | 1991—<br>2000        | 2001—<br>2010        | 2011—<br>2020        |
| Ботома—Бролог                  | Н.д.                  | Н.д.                  | <u>0.90</u><br>21.9  | <u>0.52</u><br>13.4  | <u>1.41</u><br>34.4  | <u>0.45</u><br>10.0  | <u>0.74</u><br>14.1  | <u>0.52</u><br>10.4  |
| Алдан—Томмот                   | <u>19.5**</u><br>35.7 | <u>8.55**</u><br>15.4 | <u>8.19</u><br>16.0  | <u>7.69</u><br>14.6  | <u>6.62</u><br>12.7  | <u>6.93</u><br>12.2  | <u>5.33</u><br>9.0   | <u>2.51</u><br>4.5   |
| Тимптон—<br>Нагорный           | Н.д.                  | Н.д.                  | <u>0.054*</u><br>5.9 | <u>0.051</u><br>5.4  | <u>0.019</u><br>2.0  | <u>0.008</u><br>0.9  | <u>0.014</u><br>1.5  | <u>0.017</u><br>2.4  |
| Чульман—<br>Чульман            | Н.д.                  | <u>0.89*</u><br>17.3  | <u>0.73</u><br>16.4  | <u>0.63</u><br>13.0  | <u>0.98</u><br>21.0  | <u>0.51</u><br>9.1   | Н.д.                 | Н.д.                 |
| Верх.Нерюнга—<br>Нерюнгри      | Н.д.                  | Н.д.                  | Н.д.                 | <u>0.29*</u><br>66.6 | <u>0.42</u><br>87.0  | <u>0.074</u><br>25.0 | <u>0.066</u><br>14.8 | <u>0.068</u><br>17.5 |
| Алдан—Охот-<br>ский Перевоз    | <u>100**</u><br>23.4  | Н.д.                  | <u>128**</u><br>30.8 | <u>124</u><br>26.3   | <u>99.0</u><br>24.0  | <u>81.0</u><br>18.5  | <u>52.7</u><br>11.0  | <u>32.1</u><br>6.6   |
| Алдан—Верхоян-<br>ский Перевоз | Н.д.                  | <u>226**</u><br>44.0  | <u>224</u><br>43.3   | <u>233</u><br>41.9   | <u>155</u><br>30.2   | <u>84.6*</u><br>15.3 | Н.д.                 | Н.д.                 |
| Учур—Чюльбю                    | Н.д.                  | Н.д.                  | Н.д.                 | Н.д.                 | Н.д.                 | Н.д.                 | <u>17.9*</u><br>15.2 | Н.д.                 |
| Аллах-Юнь—Ал-<br>лах           | Н.д.                  | Н.д.                  | Н.д.                 | Н.д.                 | <u>7.6**</u><br>45.0 | <u>6.0</u><br>35.0   | <u>10.5*</u><br>50.5 | Н.д.                 |
| Амга—Амга                      | Н.д.                  | Н.д.                  | <u>2.8**</u><br>15.5 | <u>3.5</u><br>18.4   | <u>2.5</u><br>13.0   | <u>2.3*</u><br>11.2  | Н.д.                 | Н.д.                 |

\* По неполным данным, \*\* по 1—3 годам.

сбросами. В 1990-х гг. сток наносов Алдана немного увеличился (до 7.8 кг/с и 13.4 г/м<sup>3</sup>), несмотря на общее сокращение горнодобычи, закрытие предприятий. Повлияло общее увеличение водного стока (правда пики мутности не совпадают с пиками водности (рис. 1)), начало интенсивной добычи платины на р. Инагли, ослабление экологического надзора, сохранение добычи россыпного золота, строительство железнодорожного моста и плохое состояние дамб и хвостохранилищ. В 2000-х гг.  $R_{\text{ср}}$  и  $S_{\text{ср}}$  уменьшаются, но резкое снижение наблюдается с 2008 г. (до 2.7 кг/с и 4.7 г/м<sup>3</sup>), несмотря на сохраняющийся повышенный водный сток. Одна из возможных причин в том, что контроль за сбросами стал более строгим, а меры по улавливанию техногенных взвесей более эффективные и обязательные. Если, предположить, что с 2008 г. мы имеем дело со стоком наносов, близким к естественным величинам, то можем оценить степень антропогенного воздействия на него в прошлые десятилетия.

Район в бассейне р. Тимптон, которая впадает в Алдан ниже поста Томмот и выше Охотского Перевоза, объединяет Чульман-Нерюнгринский угольный участок и Верхне-Тимптонский участок (ЧНиВТ) с давно разрабатываемыми месторождениями золота (рис. 3). Здесь расположены три поста — Нагорный на верхнем Тимптоне (данные с 1963 г.), Чульман на р. Чульман (с 1956 по 1999 г.) и Нерюнгри на р. Верхняя Нерюнга (с 1973 г.). Мониторинг за стоком наносов на них начался тогда, когда

месторождения ПИ уже разрабатывались. Правда, добыча угля на Чульмаканском месторождении, вероятнее всего не сильно искажала естественный режим стока наносов Чульмана. Почему? Во-первых, до середины 1950-х гг. она велась шахтным способом, во-вторых, ее объемы были невелики, в-третьих, р. Чульмакан впадает ниже поста Чульман, а р. Локучаки — всего в 600 м выше поста и с левого берега. При этом сам пост находится на правом берегу, т.е. вне зоны мутьевого шлейфа.

В верховьях Тимптона максимальные величины  $R_{cp}$  и  $s_{cp}$  (в среднем 0.052 кг/с и 5.6 г/м<sup>3</sup>) и межгодовые флуктуации фиксировались с 1960-х до начала 1980-х гг. (рис. 4в). Далее их величина резко снижается, достигая минимальных и, возможно, естественных показателей в 1990-х гг. (0.008 кг/с и 0.9 г/м<sup>3</sup>), и вновь немного возрастает в последние 15 лет — до 0.017 кг/с и 2.2 г/м<sup>3</sup>. Такая тенденция не согласуется с изменениями в водном стоке (рис. 1г), но соответствует характеру развития золотодобычи, правда лишь в 2000-е годы. Нельзя не упомянуть, что с 2005 г. меняется способ и место отбора проб. На рр. Чульман и Верх. Нерюнга наибольшие величины  $R_{cp}$  и  $s_{cp}$  зафиксированы в период, длившийся до конца 1980-х гг., с явным увеличением  $R_{cp}$  и  $s_{cp}$  с конца 1970-х гг. (рис. 4г, 4д, табл. 1). Причем максимальные значения  $R_{cp}$  и  $s_{cp}$  р. Чульман пришлось на маловодный 1985 г. — 3.2 кг/с и 94.1 г/м<sup>3</sup>. Правда данные приближенные. Все это хорошо согласуется опять же с этапами освоения, прежде всего, Нерюнгринского разреза, о котором свидетельствуют в том числе сведения из Гидрологических ежегодников. С 1988 г. сток наносов Чульмана уменьшается, несмотря на увеличение водного стока реки (рис. 1д), возможно, достигая близких к естественным условиям значений во второй половине 1990-х гг. Такая же тенденция на посту Нерюнгри, но позже — с 1992 г.

К устью сток наносов Тимптона дополнительно нарушался добычей золота на участке между рр. Якут и Иенгра, в Тыркандинском золотоносном районе, и до 1999 г. — слюды на Эмельджакском месторождении.

Выше поста Охотский Перевоз (с надежными данными) в Алдан впадают также реки Учур, Мая и Аллах-Юнь с золотодобычей в их бассейнах. Ниже него находится среднее месторождение угля Джебарики-Хая, впадают рр. Тыры (с месторождением Неждановским) и Амга (рис. 3). Водный сток и максимальные расходы воды на посту с конца 1980-х — начала 1990-х гг. увеличились (рис. 1), тогда как  $R_{cp}$  и  $s_{cp}$  уменьшились, начиная с 1989—1993 гг., и особенно резко — с середины — второй половины 2000-х гг. (рис. 4е, табл. 1). И продолжают снижаться, достигнув минимума в 2020 г. На посту Верхоянский Перевоз, с менее надежными данными и расположенном ниже впадения в Алдан притока Амги, это снижение началось раньше — с 1984 г. На р. Амга некоторое сокращение стока наносов обнаружено с середины 1980-х гг. Правда, уменьшение стока наносов на этих постах, сильно удаленных от ЦАР и устья р. Тимптон, Верхне-Амгинского района, слишком большое по своей величине. Поэтому нельзя исключать версию инструментально-методических изменений на постах. Этот вопрос требует дальнейшего изучения, в том числе с привлечением данных спутниковой съемки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Особенностью современных многолетних колебаний стока взвешенных наносов и мутности воды рек в бассейне Алдана является их значительное уменьшение, начиная со второй половины 1980-х гг. и с 1990-х гг. На посту Томмот его признаки видны уже в самом начале 1980-х гг., но основное снижение мутности и расходов взвешенных наносов произошло в 2000-х гг. и, особенно, с 2008 г. На постах в верхней части бассейна Тимптона оно случилось раньше — в 1980-х гг. (пост Нагорный) и на рубеже 1980-х — 1990-х гг. (посты Нерюнгри и Чульман). Резкое уменьшение стока наносов зафиксировано на постах в низовьях Алдана. На посту Охотский Перевоз оно было 3.5 крат-

ным с середины—второй половины 2000-х гг., но началось раньше — с 1989—1993 гг. На посту Верхоянский Перевоз убывающая тенденция видна с 1984 г.

Такое “падение” нельзя объяснить изменениями величины и режима стока воды, термического режима рек, важного фактора образования наносов в криолитозоне. Они, как показывают приводимые в статье количественные оценки, графики и карта, были благоприятными для роста мутности воды и расходов взвешенных наносов, либо сохранения их прежних значений. Не выявлена и инструментально-методическая подоплека таких изменений.

Таким образом, причина резкого уменьшения мутности воды и, как следствие, расходов наносов другая. Вероятнее всего она связана, во-первых, с отраслевой структурой хозяйственного комплекса этой территории. В нем первое место занимает горная добыча, прежде всего золота и угля, которая долгое время никак не регулировалась природоохранными нормами. Во-вторых, имеет значение местоположение рассмотренных постов, которые замыкают крупные горнодобывающие районы. Сравнение этапов освоения месторождений, многолетней динамики добычи ПИ, строительства новых объектов и их местоположения с многолетними колебаниями стока наносов показало значительное их совпадение. Оно позволило говорить о том, что данные мониторинга практически на всех постах с самого начала не отражали естественный режим расходов наносов и мутности. А их современное уменьшение — это результат резкого снижения горнодобычи и закрытия многих предприятий в 1990-х гг., а также сокращения негативного промышленного воздействия на реки, начиная уже с 1970—1980-х гг. и, особенно, в XXI в.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 21-17-00181.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алданский улус: История. Культура. Фольклор. Якутск: Бичик, 2004. 280 с.
2. *Алексеевский Н.И., Сидорчук А.Ю.* Ускоренная эрозия в нарушенных горными работами ландшафтах (на примере бассейнов рек Омоля и Яны) // Экологические проблемы эрозии почв и русловых процессов. М., 1992. С. 187—198.
3. *Афанасьева Т.В., Иванова С.А.* Месторождения полезных ископаемых Южной Якутии как объекты геолого-минералогического туризма // Вестник СВФУ. Серия “Науки о Земле”. 2018. № 4(12). С. 60—71.
4. Геоэкологическое состояние арктического побережья России и безопасность природопользования / под ред. Н.И. Алексеевского. М.: ГЕОС, 2007. 585 с.
5. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных воды суши. Т. 1. Вып. 16. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 595 с.
6. *Доценко И.* Как в Якутии создают проект мирового уровня по разработке недр // Российская газета. Экономика Дальнего Востока. 2022. № 189(8837).
7. *Ефремов Э.И., Никифорова В.В.* Отраслевые особенности и территориальные аспекты развития сырьевой экономики Республики Саха (Якутия). СПб., 2014. 224 с.
8. *Захарова Т.Г.* Изменение качества речных вод в результате развития горнодобывающих предприятий // Антропогенное воздействие на водные ресурсы Якутии. Якутск, 1984. С. 36—39.
9. *Иванов В.В.* Трансформация природных комплексов при недропользовании в условиях Якутии. Новосибирск: Наука, 2015. 248 с.
10. *Магрицкий Д.В.* Климатически обусловленные и антропогенные изменения стока взвешенных наносов главных арктических рек Сибири и Дальнего Востока РФ // Труды IV Всероссийской конференции “Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития”. СПб., 2020. С. 248—253.
11. *Магрицкий Д.В., Банищикова Л.С.* Реакция стока наносов рек в бассейне р. Лены на изменения климата и хозяйственную деятельность // Динамика и взаимодействие геосфер Земли.

- Материалы Всероссийской конференции с международным участием. Т. 2. Томск, 2021. С. 61–64.
12. Магрицкий Д.В., Морейдо В.М., Прокопьева К.Н. Изменение каскадом водохранилищ стока взвешенных наносов реки Вилюй // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2022. Т. 4. № 1. С. 68–92.  
<https://doi.org/10.34753/HS.2022.4.1.68>
  13. Научно-прикладной справочник: Многолетние колебания и изменчивость водных ресурсов и основных характеристик стока рек РФ. СПб., 2021. 190 с.
  14. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Т. 17. Лено-Индибирский район. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 447 с.
  15. Фролова Н.Л., Магрицкий Д.В., Киреева М.Б., Григорьев В.Ю., Гельфан А.Н., Сазонов А.А., Шевченко А.И. Сток рек России при происходящих и прогнозируемых изменениях климата: обзор публикаций. 1. Оценка изменений водного режима рек России по данным наблюдений // Водные ресурсы. 2022. Т. 4. № 3. С. 251–269.
  16. Хатыллаев М.М. Золотопромышленность Якутии (1923–1937 гг.). Якутск: Якутское кн. изд-во, 1972. 212 с.
  17. Чалов С.Р., Школьный Д.И., Промахова Е.В., Леман В.Н., Романченко А.О. Формирование стока наносов в районах разработок россыпных месторождений // География и природные ресурсы. 2015. № 2. С. 22–30.
  18. Шадрин И. Месторождение каменного угля “Джебарики-Хая” // Пути великих свершений. 28.02. 2022. <https://pvs-rgo.ru/>.
  19. Чудинов Г.М., Готовцев И.П. Угольная промышленность и топливный баланс Якутской АССР. М.: Наука, 1969. 156 с.
  20. Южная Якутия: ресурсный потенциал социально-экономических комплексов: монография. Уфа: Аэтерна, 2019. 243 с.
  21. 50 лет геологической службы Республики Саха (Якутии): сборник. Москва: Изд-во РосГео, 2007. 380 с.
  22. Costard F., Dupeyrat L., Gautier E., Carey-Gailhardis E. Fluvial thermal erosion investigations along a rapidly eroding river bank: Application to the Lena River (Central Siberia) // Earth Surf. Process. Landforms. 2003. № 28. P. 1349–1359.
  23. Magritsky D.V., Alexeevsky N.I., Aybulatov D.N., Fofonova V.V., Gorelkin A. Features and evaluations of spatial and temporal changes of water runoff, sediment yield and heat flux in the Lena River delta // Polarforschung. 2018. № 87(2). P. 89–110.
  24. Magritsky D.V., Vasilenko A.N., Frolova N.L., Shevchenko A.I. Temporal and Spatial Patterns of Changes in Thermal Regime of the Rivers in the Northeast of the Asian Part of Russia. 1. Assessment of Changes in the Water Temperature // Water Resources. 2023. V. 50. № 2.
  25. Krishnaswamy J., Bunyan M., Mehta V.K. et al. Impact of iron ore mining on suspended sediment response in a tropical catchment in Kudremukh, Western Ghats, India // Forest Ecology and Management. 2006. № 224. P. 187–198.
  26. Syvitski J.P.M., Vörösmarty C.J., Kettner A.J., Green P. Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean // Science. 2005. № 308. P. 376–380.
  27. Walling D.E. The changing sediment loads of the world’s rivers // Sediment Dynamics in Changing Environments. IAHS Publ. 2008. № 325. P. 323–338.
  28. Walling D.E. The role of dams in the global sediment budget // Erosion and Sediment Yields in the Changing Environment. IAHS Publ. 2012. № 356. P. 3–11.
  29. <http://atlaspacket.vsegei.ru/#ab5af961d7b653251> – открытая Геоинформационная система: Атлас “Недра России” (дата обращения: 02.11.2022).
  30. <https://minpriroda.sakha.gov.ru/> – официальный сайт Министерства экологии, природопользования и лесного хозяйства Республики Саха (Якутия) (дата обращения: 02.09.2022).
  31. <https://seligdar.ru/> – официальный сайт холдинга “Селигдар” (дата обращения: 11.01.2022).
  32. <https://polyus.com/ru/> – официальный сайт ПАО “Полюс” (дата обращения: 11.01.2022).
  33. <http://www.yakutugol.ru/> – официальный сайт компании ОАО ХК “Якутуголь” (дата обращения: 11.01.2022).
  34. <https://www.kolmar.ru/> – официальный сайт угледобывающей компании КОЛМАР (дата обращения: 11.01.2022).
  35. <https://oaotelen.ru/> – официальный сайт ОАО “Телен” (дата обращения: 11.01.2022).
  36. <https://miningwiki.ru/> – сайт свободной шахтерской энциклопедии (дата обращения: 11.01.2022).

## River Sediment Runoff in the Aldan River Basin and Mining Activities

D. V. Magritsky\*

*Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

*\*E-mail: magdima@yandex.ru*

**Abstract**—The article contains the results of a study of the features and causes of a sharp decrease of water turbidity and the suspended sediment discharges of rivers (1.5–5 times) in the Aldan River basin, which has been recorded since the second half of the 1980s and 1990s. The possible factors of this decrease are considered in detail. These are the runoff and temperature of water, economic activities, and the method of measurements at the gauging stations. It was found that water runoff, in general, increased in the average range of 5–30%. The maximum water discharges on the different stations had a multidirectional trends. The water temperature, as an important factor of thermal erosion, has increased. That is, hydrological factors could not have caused such a reduction in sediment runoff. Since the 1990s, the reliability of stationary data has decreased. Main reason lies in the mining industry, its degradation in the 1990s, a new revival in the XXI century, but already under the pressure of strict environmental restrictions. Using numerous open sources, the author has built a map of exploited mineral deposits, identified the main stages of their development and the parameters of mining operation. All this information allowed us to substantiate the conclusion about the similarity of long-term fluctuations in river sediment runoff and the dynamics of mining, the stages of discovery and development of deposits, changes in the structure and localization, the implementation of measures to reduce the negative impact of mining on rivers. It was also found that the data of the stations from the very beginning of their collection did not reflect the natural regime of sediment discharges and water turbidity.

**Keywords:** river, gauging station, monitoring, water and sediment runoff, mining, anthropogenic impact

## REFERENCES

1. Aldanskij ulus: Istorija. Kul'tura. Fol'klor. Jakutsk: Bichik, 2004. 280 s.
2. Alekseevskij N.I., Sidorchuk A.Ju. Uskorennaja jerozija v narushennyh gornymi rabotami landshaftah (na primere bassejnov rek Omoloja i Jany) // *Jekologicheskie problemy jerozii pochv i ruslovyh processov*. M., 1992. S. 187–198.
3. Afanas'eva T.V., Ivanova S.A. Mestorozhdenija poleznyh iskopaemyh Juzhnoj Jakutii kak ob'ekty geologo-mineralogicheskogo turizma // *Vestnik SVFU. Serija "Nauki o Zemle"*. 2018. № 4(12). S. 60–71.
4. Geojekologicheskoe sostojanie arkticheskogo poberezh'ja Rossii i bezopasnost' prirodopol'zovanija / pod red. N.I. Alekseevskogo. M.: GEOS, 2007. 585 s.
5. Gosudarstvennyj vodnyj kadastr. Mnogoletnie dannye o rezhime i resursah poverhnostnyh vody суши. T. 1, Vyp. 16. L.: Gidrometeoizdat, 1987. 595 s.
6. Docenko I. Kak v Jakutii sozdajut proekt mirovogo urovnja po razrabotke nedr // *Rossijskaja gazeta. Jekonomika Dal'nego Vostoka*. 2022. № 189(8837).
7. Efremov Je.I., Nikiforova V.V. Otrazlevye osobennosti i territorial'nye aspekty razvitiya syr'evoj jekonomiki Respubliki Saha (Jakutija). SPb., 2014. 224 s.
8. Zaharova T.G. Izmenenie kachestva rechnyh vod v rezul'tate razvitiya gornodobyvajushhih predpriyatij // *Antropogennoe vozdejstvie na vodnye resursy Jakutii*. Jakutsk, 1984. S. 36–39.
9. Ivanov V.V. Transformacija prirodnyh kompleksov pri nedropol'zovanii v uslovijah Jakutii. Novosibirsk: Nauka, 2015. 248 s.
10. Magrickij D.V. Klimaticheski obuslovlennye i antropogennye izmenenija stoka vzveshennyh nanosov glavnyh arkticheskikh rek Sibiri i Dal'nego Vostoka RF // *Trudy IV Vserossijskoj konferencii "Gidrometeorologija i jekologija: dostizhenija i perspektivy razvitiya"*. SPb., 2020. S. 248–253.
11. Magrickij D.V., Bانشhnikova L.S. Reakcija stoka nanosov rek v bassejne r.Lenya na izmenenija klimata i hozjajstvennuju dejatel'nost' // *Dinamika i vzaimodejstvie geosfer Zemli. Materialy Vserossijskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem*. T. 2. Tomsk, 2021. S. 61–64.
12. Magrickij D.V., Morejdo V.M., Prokop'eva K.N. Izmenenie kaskadom vodohranilishh stoka vzveshennyh nanosov reki Viljuy // *Gidrosfera. Opasnye processy i javlenija*. 2022. T. 4. № 1. S. 68–92.
13. Nauchno-prikladnoj spravocnik: Mnogoletnie kolebanija i izmenchivost' vodnyh resursov i osnovnyh harakteristik stoka rek RF. SPb., 2021. 190 s.

14. Resursy poverhnostnykh vod SSSR. Osnovnye gidrologicheskie karakteristiki. T. 17. Leno-Indigirskij rajon. L.: Gidrometeoizdat, 1967. 447 s.
15. Frolova N.L., Magrickij D.V., Kireeva M.B., Grigor'ev V.Ju., Gel'fan A.N., Sazonov A.A., Shevchenko A.I. Stok rek Rossii pri proishodjashhih i prognoziruemykh izmenenijah klimata: obzor publikacij. 1. Ocenka izmenenij vodnogo rezhima rek rossii po dannym nabljudenij // Vodnye resursy. 2022. T. 49. № 3. S. 251–269.
16. Hatyllaev M.M. Zolotopromyshlennost' Jakutii (1923–1937 gg.). Jakutsk: Jakutskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1972. 212 s.
17. Chalov S.R., Shkol'nyj D.I., Promahova E.V., Leman V.N., Romanchenko A.O. Formirovanie stoka nanosov v rajonah razrabotok rossypanyh mestorozhdenij // Geografija i prirodnye resursy. 2015. № 2. S. 22–30.
18. Shadrin I. Mestorozhdenie kamennogo uglja "Dzhebariki-Haja" // Puti velikih svershenij. 28.02. 2022. <https://pvs-rgo.ru/>.
19. Chudinov G.M., Gotovcev I.P. Ugol'naja promyshlennost' i toplivnyj balans Jakutskoj ASSR. M.: Nauka, 1969. 156 s.
20. Juzhnaja Jakutija: resursnyj potencial social'no-jeekonomicheskikh kompleksov: monografija. Ufa: Ajeterna, 2019. 243 s.
21. 50 let geologicheskoy sluzhby Respubliki Saha (Jakutii): sbornik. Moskva, Izdatel'stvo RosGeo, 2007. 380 s.
22. Costard F., Dupeyrat L., Gautier E., Carey-Gailhardis E. Fluvial thermal erosion investigations along a rapidly eroding river bank: Application to the Lena River (Central Siberia) // Earth Surf. Process. Landforms. 2003. № 28. P. 1349–1359.
23. Magritsky D.V., Alexeevsky N.I., Aybulatov D.N., Fofonova V.V., Gorelkin A. Features and evaluations of spatial and temporal changes of water runoff, sediment yield and heat flux in the Lena River delta // Polarforschung. 2018. № 87(2). P. 89–110.
24. Magritsky D.V., Vasilenko A.N., Frolova N.L., Shevchenko A.I. Temporal and Spatial Patterns of Changes in Thermal Regime of the Rivers in the Northeast of the Asian Part of Russia. 1. Assessment of Changes in the Water Temperature // Water Resources. 2023. Vol. 50. № 2.
25. Krishnaswamy J., Bunyan M., Mehta V.K. et al. Impact of iron ore mining on suspended sediment response in a tropical catchment in Kudremukh, Western Ghats, India // Forest Ecology and Management. 2006. № 224. P. 187–198.
26. Syvitski J.P.M., Vörösmarty C.J., Kettner A.J., Green P. Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean // Science. 2005. № 308. P. 376–380.
27. Walling D.E. The changing sediment loads of the world's rivers // Sediment Dynamics in Changing Environments. IAHS Publ. 2008. № 325. P. 323–338.
28. Walling D.E. The role of dams in the global sediment budget // Erosion and Sediment Yields in the Changing Environment. IAHS Publ. 2012. № 356. P. 3–11.
29. <http://atlaspacket.vsegei.ru/#ab5af961d7b653251> – open Geoinformation system: Atlas "The Bowels of Russia".
30. <https://minpriroda.sakha.gov.ru/> – official website of the Ministry of Ecology, Nature Management and Forestry of the Republic of Sakha (Yakutia).
31. <https://seligdar.ru/> – official website of Seligdar Holding.
32. <https://polyus.com/ru/> – official website of PJSC Polyus.
33. <http://www.yakutugol.ru/> – the official website of JSC HC "Yakutugol".
34. <https://www.kolmar.ru/> – official website of the COLMAR coal mining company.
35. <https://oaotelen.ru/> – the official website of JSC "Telen".
36. <https://miningwiki.ru/> – website of the free mining encyclopedia.

УДК 551.482.212;556.3

## ТРАНСФОРМАЦИЯ РЕЧНЫХ РУСЕЛ В ПРОЦЕССЕ ИХ САМОРАЗВИТИЯ И ВЛИЯНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ФАКТОРОВ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ<sup>1</sup>

© 2023 г. Р. С. Чалов<sup>a, \*</sup>, А. А. Куракова<sup>a, \*\*</sup>, Г. Б. Голубцов<sup>a, \*\*\*</sup>, А. С. Завадский<sup>a, \*\*\*\*</sup>

<sup>a</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (МГУ), Москва, Россия

\*E-mail: rschalov@mail.ru

\*\*E-mail: a.a.kurakova@mail.ru

\*\*\*E-mail: georgy1995golubcov@yandex.ru

\*\*\*\*E-mail: az200611@rambler.ru

Поступила в редакцию 28.05.2022 г.

После доработки 09.06.2023 г.

Принята к публикации 02.07.2023 г.

Рассмотрены основные пути трансформации речных русел, т.е. их морфодинамического типа, его усложнения или перехода с одного структурного уровня проявлений русловых процессов на более высокий, в ходе саморазвития русловых форм. На реках с меандрирующим руслом излучины в процессе развития превращаются в большие излучины с прямолинейными “вставками” между смежными формами, в петлеобразные излучины, представляющие собой комбинацию исходной в привершинной части и сегментных на их крыльях, в сундучные излучины при подходе реки к коренному берегу (вынужденная излучина), удлинения нижнего крыла вдоль него и формирования адаптированной излучины при отклонении русла в сторону поймы. На прямолинейных “вставках” между смежными большими излучинами и на их верхних крыльях формируются одиночные разветвления. В привершинных частях крутых излучин с нарушением условия обтекания потоком берегов ( $r < 2.5b_p$ ) образуются острова в местных расширениях русла из-за размыва выпуклого берега или благодаря отторжению части шпоры излучины. Для разветвленных русел характерна при определенных условиях трансформация в процессе саморазвития одиночных и сопряженных разветвлений в односторонние или чередующиеся и внутридолинная перестройка русловой сети из-за размывов пойменных перешейков между рукавами и пойменными протоками. На эти переформирования, приводящие к морфодинамической трансформации русел, накладываются естественные и антропогенно обусловленные изменения водности и стока наносов и техногенные воздействия на русла, при которых происходит закрепление и стабилизация русел в оптимальном при хозяйственном освоении рек положении. Учет саморазвития речных русел необходим при эксплуатации рек и использовании водных ресурсов, при палеорусловом и палеогидрологическом анализе, а также при разработке прогнозов русловых переформирований.

**Ключевые слова:** саморазвитие русел, разветвления, излучины, русловые переформирования, сток воды и наносов, рассредоточение стока, антропогенные воздействия

DOI: 10.31857/S0869607123020039, EDN: HDQSIC

<sup>1</sup> Выполнено по плану НИР (ГЗ) кафедры гидрологии суши и научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова (исходные материалы и их анализ) при поддержке РНФ – проект 23-17-00065 (обобщение материалов по имеющемуся заделу, их анализ и интерпретация для дальнейших исследований по проекту).

## ВВЕДЕНИЕ

Русловые процессы — совокупность явлений, связанных с взаимодействием речных потоков и грунтов, слагающих русла рек, обуславливают постоянные их переформирования. Изменения русел, происходящие с течением времени вследствие этих переформирований, определяют русловой режим рек. Уже сами переформирования (развитие излучин и разветвлений, смещение прямолинейных неразветвленных русел, размывы берегов и образование прирусловых отмелей, их зарастание и превращение в фрагменты поймы) приводят к постоянным изменениям конфигурации и параметров форм русел, сопровождаются активизацией или замедлением темпов деформаций, но не меняют при этом морфодинамического типа русла. Но при определенных условиях и при достижении некоторых критических значений параметров форм русел может происходить или смена типа русла или его усложнение, т.е. осуществляться трансформация русла уже как результат его саморазвития. Такие изменения, как и текущие в процессе саморазвития форм русел выявляются на основе ретроспективного анализа по документальным источникам за 200–250 лет, а по картографическим и плановым материалам, по-существу, данным мониторинговых наблюдений — не более столетия, а с использованием космических снимков — 30–50 лет. Эти материалы отражают саморазвитие русловых форм и те их изменения, которые происходят в связи с кратковременными колебаниями факторов русловых процессов (в первую очередь, их водности) или фиксируют начальные этапы направленных изменений при глобальных изменениях природной среды и климата.

Более существенные преобразования русел происходят при направленных глобальных гидроклиматических изменениях, но они сказываются в течение продолжительного времени, и их проявления и причины выявляются уже с применением палеогидрологических и палеогеографических методов.

Начиная с конца XIX века, а иногда намного раньше, и с возрастающими со временем масштабами, интенсивностью и разнообразием происходят антропогенно обусловленные изменения русел рек. Они заключаются как в непосредственном техногенном воздействии (разработка дноуглубительных прорезей на водных путях, карьеров стройматериалов, строительстве гидротехнических сооружений — дамб, полузапруд, мостовых переходов, водохозяйственных, противопаводковых и берегозащитных объектов), так и в изменении факторов русловых процессов при освоении территории речных бассейнов, возведении гидроузлов, регулирующих сток воды и наносов.

В настоящее время наметилось два направления в изучении происходящих трансформаций речных русел. Во-первых, это палеорусловый анализ, позволяющий оценивать их в течение, как минимум, голоцена, как следствия гидроклиматических изменений, происходящих на этом геологическом этапе. Опираясь на “следы” древних русел, запечатленных в рельефе пойм, и гидролого-морфологические зависимости, восстанавливается история развития речных русел и даются прогнозные предположения о возможных преобразованиях современных русел (в основном, меандрирующих) в будущем при прогнозируемых сценариях изменений природной среды и климата [13, 14, 20].

Во-вторых, это традиционный русловый анализ, применение которого дает возможность оценивать русловые деформации вследствие саморазвития речных русел (русловой режим рек), происходящие их трансформации в связи с разнообразными антропогенными воздействиями на реки и факторы русловых процессов. В результате определены основные пути трансформации русел разных морфодинамических типов при естественных и антропогенных изменениях факторов русловых процессов и техногенных воздействиях на реки [1, 2, 31], причем основное внимание было уделено большим и крупнейшим рекам с разветвленным руслом [10, 28, 30], где эти изменения, особенно антропогенно обусловленные, имеют наиболее яркие проявления.

Повышенный интерес к исследованиям естественных и антропогенных трансформаций речных русел вполне закономерен, т.к. от их направленности и темпов преобразований зависит решение многих водохозяйственных проблем, возникающих при освоении водных и других речных ресурсов. При этом главное внимание при оценке трансформации речных русел обращается на антропогенные изменения как следствие массового использования речных ресурсов, создания гидроузлов, строительства различных инженерных сооружений на берегах, мостовых и подводных переходов, часто с оценкой гидроэкологических последствий этих воздействий. В то же время происходящие изменения в морфодинамике русел в процессе саморазвития, сопровождающиеся трансформацией типа русла, усложнением морфологии и переформирований (т.е. замещением простых форм русел более сложными: например, одиночных или сопряженных разветвлений параллельно-рукавными, сегментных излучин прорванными и т.д.), остаются вне сферы исследований и, в лучшем случае, констатируется лишь сам факт таких трансформаций для каждого конкретного случая. На них накладываются периодические, разной продолжительности колебания водности рек, создавая дополнительные условия для закрепления происходящих изменений или трансформации форм русел. Еще большее воздействие на происходящие в процессе саморазвития изменения оказывают различные гидротехнические мероприятия, особенно значимые при регулировании русел (управлении русловыми процессами) при совершенствовании водных путей и обеспечении оптимальных при данном русловом режиме условий судоходства, на урбанизированных территориях, охватывающие участки рек протяженностью в десятки километров, в бьефах крупных гидроузлов (последнее выходит за рамки настоящей статьи, поскольку создаются совершенно новые условия формирования русел, достаточно широко освещенные в научной литературе [2, 4, 38–40]).

Задача настоящей статьи: 1) дать характеристику и выявить закономерности естественных трансформаций речных русел в процессе их саморазвития с учетом кратковременных периодических колебаний водности; 2) определить признаки и причины их направленных изменений, приводящих к смене морфодинамического типа в процессе саморазвития русел; 3) оценить степень и формы закрепления изменений морфологии русел при их саморазвитии антропогенными воздействиями на русловые процессы (в т.ч. при управлении ими при решении воднотранспортных и водохозяйственных проблем); 4) показать роль периодических колебаний водности и направленных гидроклиматических изменений в трансформации русел при их саморазвитии.

## ОБЪЕКТЫ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

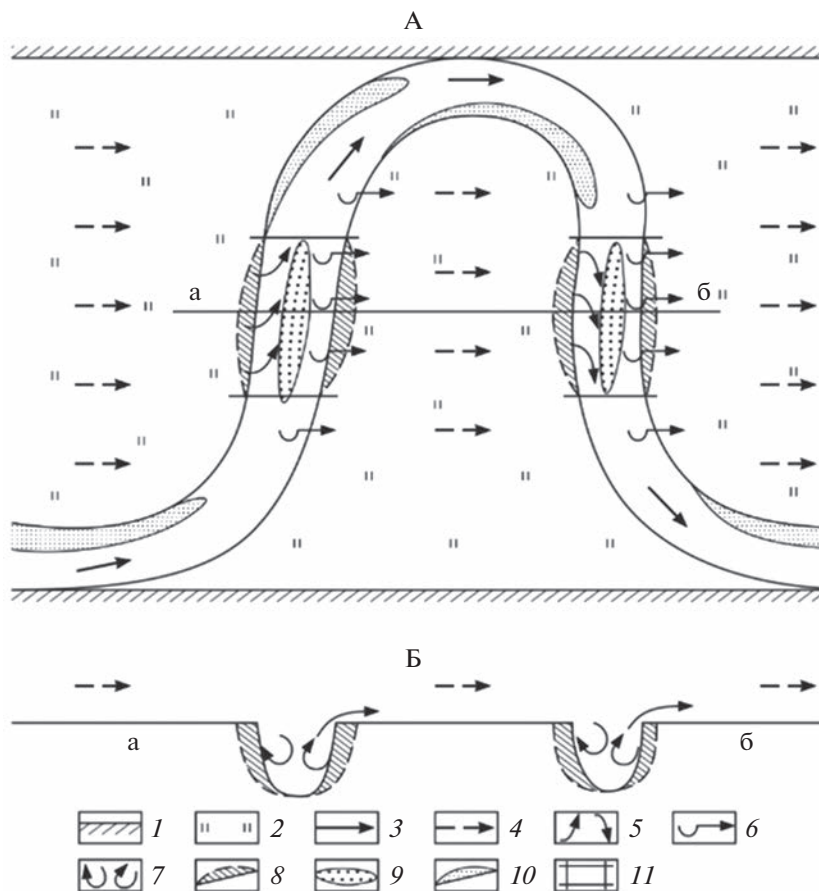
В основу статьи положены результаты натурных исследований русловых процессов на многих реках России — от больших и крупнейших до малых в разных природных условиях и протекающих в регионах неодинакового экономического развития и, соответственно, различной степенью антропогенных воздействий. Для всех рек выполнен ретроспективный русловой анализ на основе сопоставления (совмещения) карт русел (лоцманских), составляемых на судоходных реках, начиная с начала XX века, космических снимков, крупномасштабных планов перекатных (мелководных) участков и перекатов, регулярно получаемых изыскательскими партиями службы водных путей, другие архивные (фондовые) материалы, зафиксировавшие состояние русел на определенных временные срезы. Для малых и средних (несудоходных) рек использовались межевые планы, схемы и планы мелиоративных работ и другие архивные источники. Материалы гидрологической информации и данные об антропогенной нагрузке на реки дали возможность установить связи переформирования русел с колебаниями и изменениями водности рек и антропогенных воздействий на них.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

*Саморазвитие речных русел.* В большинстве случаев это — естественное развитие форм русел, их деформации, определяющие изменения во времени параметров, конфигурации форм и т.д. Излучины русла эволюционируют вследствие размыва одних берегов и аккумуляции наносов у других, из пологих превращаются в развитые и крутые, спрямляются, после чего процесс образования и развитие излучины возобновляется [25]. То же происходит в разветвленном русле при периодическом перераспределении стока и развитии то одно, то другого рукава. Это — закономерные формы проявления горизонтальных (в литературе часто говорят — плановых) русловых деформаций, при сохранении неизменными их морфодинамического типа и направленности развития.

Но образование в процессе меандрирования прорванных, петлеобразных или больших излучин вносит существование коррективы в сам процесс, приводит к образованию принципиально новых форм проявления самого меандрирования, возникновению несвойственных ему форм, изменению темпов и направленности деформации. Образование прорванной излучины, т.е. спрямление излучины на стадии развитой или крутой, при которой соотношении длины  $l$  и шага излучины  $L - l/L = 1.4-1.7$ , по существу, это уже возникновение разветвления русла, которое в дальнейшем продолжает функционировать, характеризуясь существованием и развитием двух рукавов. Это происходит на реках, руслоформирующий расход воды  $Q_{\phi}$ , на которых соответствует полному затоплению поймы. Если такое спрямление произошло при экстремальном, несвойственном реке половодье (паводке), старое русло быстро отмирает, превращаясь в форму рельефа поймы, старичное озеро или залив (курью) на месте нижнего крыла бывшей излучины. Формирование прорванных излучин — это еще и рассредоточение стока между вновь образовавшимися рукавами, формы русла которых, их параметры со временем изменяются, адаптируясь в соответствии с их водностью. Обычно большая часть расхода воды концентрируется в спрямляющем рукаве, в котором формируется две-три смежных пологих излучины в зависимости от его длины и водности. Такого перераспределения стока не происходит, если спрямляющий рукав находится ниже плеча коренного берега, направляющего поток по старому руслу. Однако, рассредоточение снова вызывает меандрирование рукава — как старого русла, образующего крутую излучину, так и нового спрямляющего рукава [26].

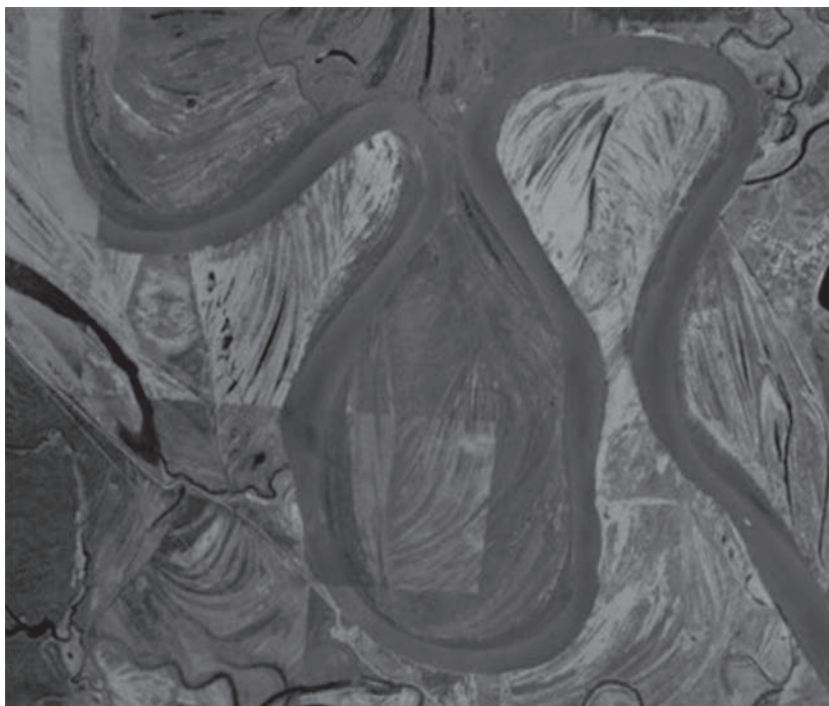
Если спрямление излучины и ее превращение в прорванную (по терминологии ГГИ [6] это — незавершенное меандрирование) не происходит, то она в зависимости от местных условий превращается в большую сегментную или петлеобразную, вершины которых по мере их поперечного смещения достигают и касаются противоположных бортов днища долины. Стрела прогиба таких излучин увеличивается, составляя 0.5 ширины днища, а пояс меандрирования оказывается равным всей его ширине. По существу, происходит образование излучины следующего более высокого структурного уровня. Образование больших излучин связано с остаточной поперечной циркуляцией, благодаря которой удлиняется область сопряжения излучин, и на переходе от одной к другой формируется прямолинейный участок. При этом удлиненные крылья таких больших излучин превращаются в прямолинейные “вставки” между излучинами, ориентированными по диагонали к оси днища долины, пересекая его. Вследствие этого во время половодья течения в русле и на затопленной пойме не совпадают по направлению, происходит слив воды с поймы со стороны верхней излучины и перелив воды на пойменный сегмент нижней излучины. Это, в свою очередь обуславливает активизацию размыва берегов, чему способствуют возникающие возле них вихрей с горизонтальной осью [8, 12], и местное расширение русла, в котором формируется осередок, со временем превращающийся в остров (рис. 1). Извилистое (меандрирующее) русло как морфодинамический тип осложняется разветвлениями между смежными большими излучинами.



**Рис. 1.** Формирование одиночных разветвлений между смежными большими излучинами: А – план русла, Б – профиль по оси днища долины. 1 – борта днища долины; 2 – пойма; 3 – направление течения руслового потока; 4 – течения на затопленной пойме; 5 – слив воды с поймы в русло; 6 – перелив воды из русла в пойму; 7 – вихревые течения в русле при пересечении руслового и пойменного потоков; 8 – размывы берегов при пересечении руслового и пойменного потоков; 9 – осередки в местных расширениях русла; 10 – прирусловые отмели у берегов излучин; 11 – прямолинейные вставки между излучинами.

**Fig. 1.** Formation of single branches between adjacent large bends: А – channel plan, Б – profile along the axis of the valley bottom. 1 – sides of the bottom of the valley; 2 – floodplain; 3 – direction of the channel flow; 4 – currents on the flooded floodplain; 5 – draining water from the floodplain into the channel; 6 – overflow of water from the channel to the floodplain; 7 – eddy currents in the channel at the intersection of the channel and floodplain flows; 8 – erosion of the banks at the intersection of the channel and floodplain streams; 9 – midpoints in the local widenings of the channel; 10 – near-channel shallows near the banks of meanders; 11 – rectilinear inserts between bends.

Во втором случае на стадии крутой сегментной излучины, когда  $l/L > 1.7$  и происходит потеря гидравлической выгодности извилистой формы [12, 22], восстановление последней и поля скоростей, присущего пологим и развитым излучинам, осуществляется благодаря развитию вторичных излучин на крыльях исходной при сохранении ее поперечного смещения. Благодаря им происходит встречный размыв берегов на крыльях петлеобразной излучины, приводящий к ее спрямлению. Этот процесс обычно



**Рис. 2.** Петлеобразные излучины в нижнем течении р. Иртыша.

**Fig. 2.** Loop-shaped bends in the lower reaches of the Irtysh river.

рассматривается часто как завершающий развитие излучины [6, 15, 36], но при этом игнорируется происходящее формирование трех излучин вместо одной, увеличение потерь энергии потока в ходе искривления излучины и вновь ее восстановления при разделении единой, но увеличившейся в размерах излучины на три (рис. 2). Иногда одно из крыльев сохраняет относительно прямолинейные очертания, и тогда в его пределах формируется одиночное разветвление. Но разветвление сопровождается изгибами огибающего остров потока и, как следствие, ростом кинетической энергии и транспортирующей способности потока [31].

Одиночные разветвления нередко присущи верхним крыльям очень крутых изгибов русла в вершинах излучин, чаще всего вынужденных, у которых привершинная часть и нижнее крыло располагаются вдоль коренного берега. В процессе развития таких излучин при набегании потока на коренной берег возникает подпор, в зоне которого аккумулируются наносы, расширяется русло и формируются осередки, со временем также превращающиеся в острова.

Формирование разветвлений возможно также и в рукавах прорванных излучин, особенно если они играют наносоотсасывающую роль (для влекомых наносов) из-за большого угла их ответвления.

Таким образом, эволюция излучин в процессе их саморазвития может приводить к трансформации самих форм излучин, переходу их на более высокие структурные уровни русловых процессов или преобразованию в более сложный морфодинамический тип. Подобные изменения характерны и для разветвленных русел, преобразовании в ходе развития одного их типа в другой, как в сторону усложнения, так и упрощения морфологии. Например, односторонние прибрежные разветвления благодаря

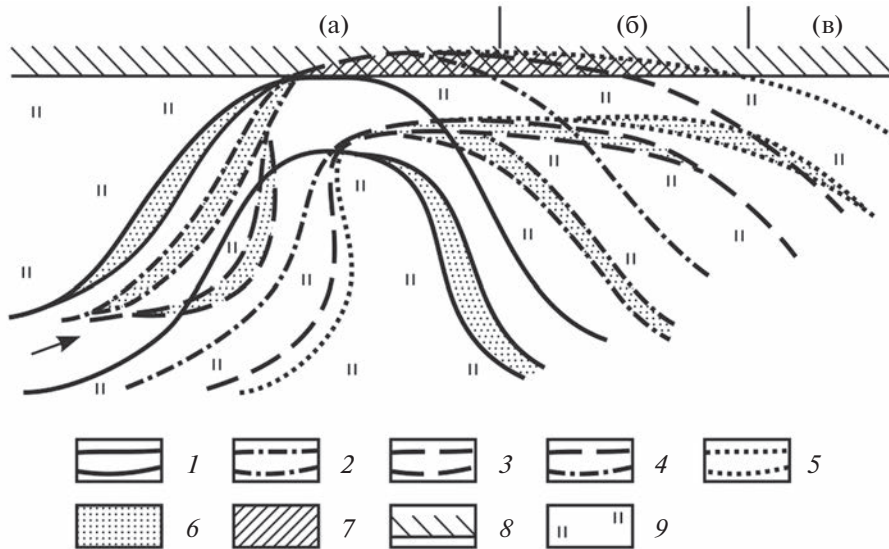
развитию и увеличению водности второстепенного рукава превращаются в одиночные; сопряженные разветвления со сдвинутыми узлами сопряжения рукавов при перераспределении стока в одном из звеньев становятся параллельно-рукавными при сохранении водности вторых рукавов или односторонними прибрежными разветвлениями, если уменьшение их водности и обмеление приобретает необратимый характер.

Изменения морфодинамического типа русла или разновидностей того или иного типа происходит, если в процессе развития начинает сказываться воздействие внешних по отношению к реке и ее руслу условий. В меандрирующем русле последовательное спрямление крутых ( $l/L > 1.7$ ) излучин вдоль относительно выровненного в плане коренного берега приводит к закреплению спрямления и постепенной замене меандрирующего русла относительно прямолинейным неразветвленным (с односторонней поймой) или односторонними разветвлениями с островами вдоль поймы. Пример такого саморазвития в прошлом меандрирующего русла дает верхняя Обь ниже устья р. Чарыша, выше г. Барнаула и между г. Барнаулом и с. Шелаболиха, где рельеф поймы, в том числе ее прирусловой части, сегментно-гравистый, созданный меандрирующим руслом, тогда как современное русло либо прямолинейное, либо представлено односторонними разветвлениями.

На ниже Иртыше широко распространены сундучные излучины, представляющие собой комбинацию вынужденной при подходе реки к правому коренному берегу, короткого прямолинейного отрезка вдоль него и адаптированной излучины, верхнее крыло которой им контролируется, а нижнее располагается уже в пойменных берегах. Механизм образования таких излучин в процессе их саморазвития связан с влиянием коренного берега и выклиниванием поймы выше по течению [22], вследствие чего излучина на подходе к нему приобретает гипертрофированную форму, верхнее крыло ее стабилизируется, тогда как нижнее, смещаясь, создает прямолинейный участок, переходящий затем в верхнее крыло адаптированной излучины. Образование сундучных (их еще называют трапециевидными) излучин — пример трансформации меандрирующего русла в процессе саморазвития при расположении нижнего крыла излучины вдоль коренного ведущего берега (рис. 3).

В развитии разветвлений влияние коренных берегов также может оказывать решающее воздействие на их эволюцию и морфодинамическое преобразование. Расположение одного из рукавов вдоль коренного берега и специфика гидравлики потока при затопленной пойме (перекос водной поверхности и циркуляционные течения, с ним связанные) приводят к закреплению преимущественного его развития и, в конечной пойме, превращению одиночного разветвления в одностороннее, а при полном обмелении ставшего второстепенным рукава — в прямолинейные неразветвленные. На р. Оби в районе п. Кожевниково (выше устья р. Томи) еще в XIX веке существовали сопряженные разветвления из трех звеньев, из которых лишь в среднем основном по водности было русло возле левого коренного берега, в верхнем и нижнем — рукава проходили в пойменных берегах (между островами и правобережной поймой) (рис. 4). К середине XX основными по водности стали левый рукав у коренного берега в верхнем звене, правый в пойменных берегах в среднем звене и снова левый у коренного берега в нижнем. Выровненность ведущего левого берега в верхней части разветвлений способствовала тому, что правый бывший основной рукав в верхнем звене превратился во второстепенный маловодный к концу XX века, а к 2020-м годам — в пойменную протоку, функционирующую только в половодье. То есть, верхнее звено сопряженной системы последовательно превращалось в течение столетия в одностороннее разветвление, а затем в прямолинейное неразветвленное русло.

Стабилизация бывшего левого рукава, теперь прямолинейного русла, вдоль коренного берега и наличие мыса (плеча) последнего в узле сопряжения рукавов обусловило постоянство расположения основной доли расхода воды в правом рукаве бывшего среднего, теперь верхнего (при сокращении сопряженных разветвлений) и

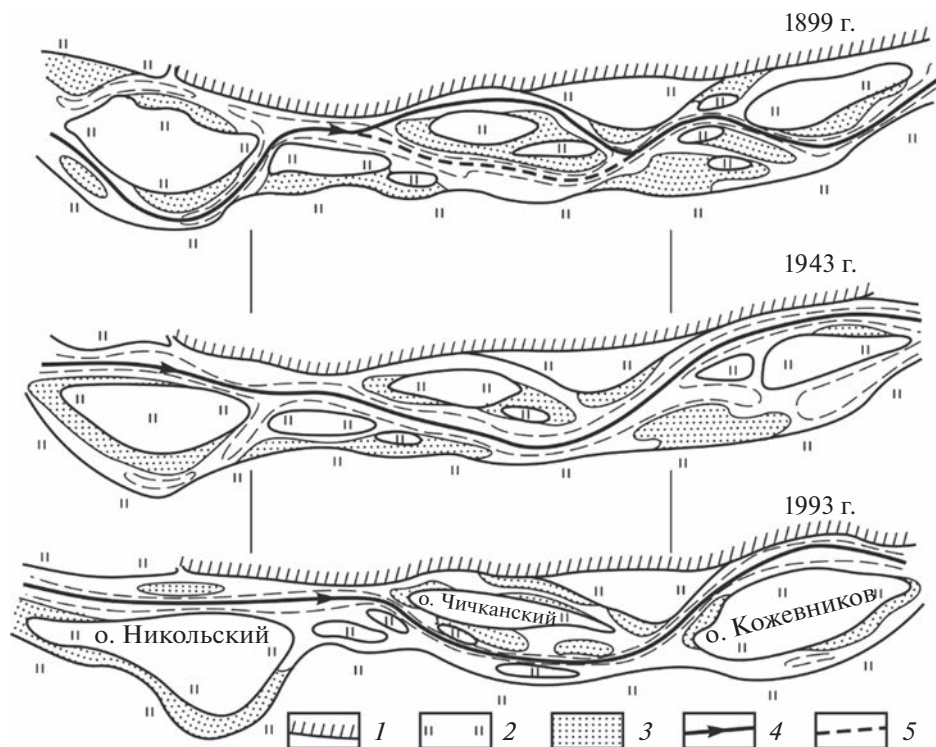


**Рис. 3.** Трансформация вынужденной излучины в сундучную. 1–5 – контуры русла при последовательном его смещении; 6 – прирусловые отмели; 7 – размыв коренного берега; 8 – коренной берег; 9 – пойма. Составные части сегментной излучины: (а) – вынужденная излучина; (б) – прямолинейная “вставка”; (в) – верхнее крыло сегментной адаптированной излучины.

**Fig. 3.** Transformation of a forced bend into a chest bend. 1–5 – contours of the channel with its successive displacement; 6 – near-channel shallows; 7 – erosion of the bedrock bank; 8 – root bank; 9 – floodplain. Components of a segmental bend: (а) – forced bend; (б) – rectilinear “insert”; (в) – the upper wing of the segment adapted bend.

левом рукаве нижнего звена. Таким образом, налицо, с одной стороны, полная трансформация в процессе саморазвития верхней части сопряженной системы рукавов, а с другой, при сохранении морфологии и рассредоточения стока по рукавам следующих звеньев системы – закрепление большей части стока и преимущественное развитие (ликвидация периодичности переформирований) последовательно правого и левого рукавов благодаря направляющему влиянию выступа (мыса) коренного берега в его начале.

Развитие форм русел сопровождается размывами берегов и смещением самих форм русла. В частности, для излучин русла и излучин рукавов характерны поперечное (по отношению к оси русла) смещение, приводящее к увеличению их кривизны (уменьшению радиуса  $r$  и увеличению степени развитости  $l/L$ ). Эти изменения форм сопровождаются активизацией размывов вогнутых берегов [3, 7, 12, 22] и, как следствие, расширением пояса меандрирования или разветвления русла. Если пойма реки расчленяется пойменными протоками (пойменная многоруканность), вдоль нее располагаются русла притоков главной реки (такова, например, р. Кеть, правый рукав которой при выходе реки в долину Оби проходит в тыловой части обской поймы, имея длину несколько десятков километров) или формируется раздвоенное русло, поперечное смещение излучин может привести к размыву перешейка между ними и руслами пойменной протоки, рукава раздвоенного русла или притока. В образующийся проран направляется часть стока, иногда значительная, вследствие чего происходит полная перестройка русловой сети. На средней Оби таким образом нижняя часть правого рукава р. Кети – Кети Копыловской превратилась в один из рукавов сложного пойменно-рукавного разветвления Оби; на широтном участке средней Оби размывы пе-

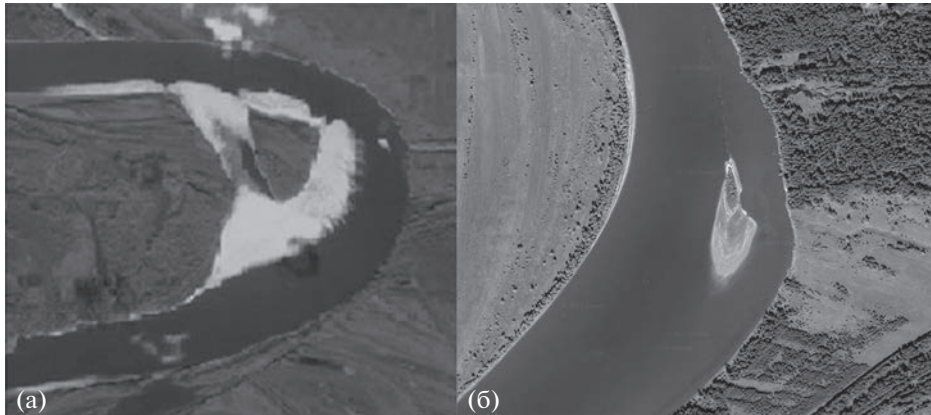


**Рис. 4.** Естественная трансформация сопряженных разветвлений р. Оби в районе п. Кожевниково. 1 – коренной берег; 2 – пойма; 3 – положения основного по водности потока; 4 – прирусловые отмели; 5 – начало перераспределения стока во второй рукав.

**Fig. 4.** Natural transformation of conjugated branches of the Ob river in the area p. Kozhevnikovo. 1 – root bank; 2 – floodplain; 3 – positions of the main stream in terms of water content; 4 – near-channel shallows; 5 – the beginning of the redistribution of runoff into the second branch.

решейка между основным рукавом, левым рукавом раздвоенного русла и пойменными протоками (при встречном размыве берегов на излучинах рукавов и проток) привело к расчленению второго рукава Оби на три части (Юганскую Обь, Бол. Салымскую и протоку Неулеву) и образованию нескольких сложных трехрукавных пойменно-русловых разветвлений; на верхней Оби произошло превращение русла малой реки Уени в крупный рукав Симан (до 30% стока реки), образовавший вместе с основной рекой раздвоенное русло. Образование проранов между руслом Малой Оби (левый рукав раздвоенного русла нижней Оби) и пойменными протоками привело к образованию двух пойменно-русловых разветвлений, в которых сток Малой Оби распределен практически поровну между обоими рукавами [26].

Еще более многочисленны примеры расчленения островов русловых разветвлений благодаря встречному размыву берегов излучин рукавов, следствием чего является увеличение разветвленности русла (морфологический эффект) и рассредоточенности стока. Это, естественно, сопровождается изменением параметров русла и рукавов и их форм, приходящих со временем в соответствие с изменившейся их водностью. Такие преобразования разветвленных русел отмечены на Лене, Енисее, Мезени, Северной Двине, Печоре.



**Рис. 5.** Разветвления в привершинных частях крутых излучин р. Иртыша, образовавшиеся: (а) — вследствие отторжения крайней части шпоры; (б) — в расширении русла при зарастании осередка.

**Fig. 5.** Branches in the near-top parts of the steep bends of the Irtysh river, formed: (a) — due to the rejection of the extreme part of the spur; (b) — in the expansion of the channel during the overgrowth of the middle.

На больших меандрирующих реках достаточно распространенным является образование островов в привершинной части излучин, преимущественно вынужденных (или излучин, вершины которых располагаются вдоль яров высокой, редко затопляемой поймы), у которых  $r < 2.5b_p$  (т.е. нарушено правило Миловича). При этом возможно два варианта формирования разветвлений. Один из них — отчленение крайней части шпоры излучины (наподобие формированию прорванной излучины с образованием острова (рис. 5а), разделяющего русло в вершине излучины на два рукава. Второй вариант связан с местным расширением русла вследствие размыва выпуклого берега при смещении к нему динамической оси потока (рис. 5б). Во вновь возникшем расширении формируется осередок, который по мере дальнейшего расширения русла и аккумуляции наносов посередине русла превращается в элементарный остров. В обоих вариантах разветвления в привершинной части излучин большая часть стока воды (60–70%) сосредотачивается в спрямляющем рукаве (протоке) у выпуклого берега излучины, но водность изогнутого рукава возле вогнутого берега сохраняется достаточно высокой (30–40%). Она поддерживается благодаря большей глубине  $h$  в этой части русла как следствие ее зависимости от кривизны русла  $h = f\left(\frac{1}{r}\right)$  и расположения рукава вдоль ведущего вогнутого берега [3, 25]. Если спрямляющий рукав, образовавшийся отчленением вершины пойменной шпоры, отходит от русла под большим, близким к прямому, углом, то в этом случае он выполняет наносотсасывающие функции и остается относительно мелким, забирающим меньшую долю расхода воды. В других случаях в спрямляющем рукаве формируются вторичные разветвления, и сток воды рассредотачивается квазиравномерно по трем рукавам, причем проходящий вдоль вогнутого берега более многоводный из-за больших глубин в нем.

Описанные трансформации излучин вследствие формирования островов в их привершинных частях, на верхних крыльях вынужденных излучин или развитие сундучных излучин происходит при условии, что коренные берега сложены трудно размываемыми или неразмываемыми горными породами. Если же коренной берег песчаный, представляет собой уступ высокой аккумулятивной террасы, то подход реки к нему в процессе саморазвития излучины означает появление местного достаточно мощного

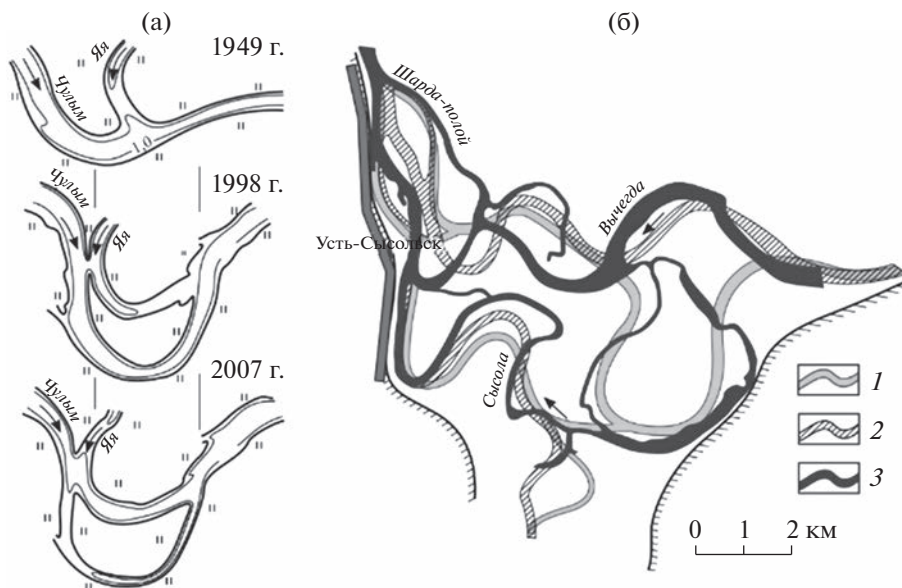
поступления наносов. На малой реке (как это было показано А.Б. Клавеном и др. [5] на примере р. Поломети) это приводит только к обмелению русла ниже по течению.

Значение критерия И.Ф. Карасева [22]  $\theta = \frac{b_p}{h} \sqrt{\lambda}$  (здесь  $\lambda$  — коэффициент гидравлических сопротивлений), величина которого показывает вероятность разделения потока на ветви течения и разделения русла на рукава, невелика, соответствуя формированию компактной струи потока, что и обуславливает неразветвленность русла, несмотря на увеличение стока наносов. На больших реках ниже таких размываемых песчаных вогнутых берегов излучин формируются сложные разветвления. А.Б. Клавен это обнаружил на р. Зее, где река, подойдя к песчаной Белой горе и интенсивно размывая ее уступ, непосредственно ниже по течению сформировала осередки и острова. На Северной Двине произошло преобразование прямолинейного неразветвленного русла и одиночного разветвления перед сужением днища долины и сменой широкопойменного русла врезанным у с. Ягрыш в сложное параллельно-рукавное протяженностью свыше 20 км. Это явилось следствием того, что выше по течению река стала подмывать уступ высокой песчаной террасы — Толоконную гору, ставшую мощным местным источником поступления наносов [17].

Подобные трансформации русла могут не происходить при наличии ограничивающих условия для развития островов. На р. Яне на крутой пальцеобразной излучине изгиб русла с  $r < 2.5b_p$  в привершинной ее части возле коренного берега в основании последнего по мере его отступления в русле образовалась скальная плита с малыми глубинами над ней — возникла шивера (порог занимающий больше половины ширины русла), сузившая стрежневую зону потока возле выпуклого берега излучины [37]. Большие скорости течения (до 3.5 м/с) как над скальной плитой, так и по стрежню потока препятствуют аккумуляции наносов; соответственно разветвление в расширении русла на скальном основании не происходит. На средней Лене выше г. Олекминска в Кыллахском “разбое” (местное название разветвлений) интенсивно размывается правый песчаный берег, правого рукава высотой до 60 м, но ниже по течению русло подстилается по всей ширине скальной плитой. Поступающие от размыва берега наносы в половодье аккумулируются, чему способствует подпор, возникающий от слияния с р. Олекмой. Однако, при спаде уровней и в межень на этой плите уклоны и скорости течения возрастают, и все отложившиеся наносы смываются.

Сложные перестройки русел иногда происходят при слиянии рек [34]. Развитие излучин рек Чулыма и Яи перед их слиянием привело к образованию прорана между ними и перемещению Чулыма в нижнюю излучину Яи, а устье последней сместилось вверх по течению главной реки (рис. 6а). Еще более серьезные изменения русловой сети произошли в устье слияния Вычегды и Сысолы, где вследствие спрямления, смещения и искривления излучин Вычегды и перераспределения стока во второстепенный ее рукав Шарда-полой устье притока с конца XVIII века оказалось на 25 км ниже исходного положения, а г. Сыктывкар (бывш. Усть-Сысольск) теперь находится не на главной реке, а на ее притоке. Последние переформирования (развитие Шарда-полой) произошли уже в 2000-е годы и еще окончательно не закончились (рис. 6б).

Влияние на саморазвитие речных русел *естественных факторов*, главным образом, колебаний стока воды и наносов, обусловлено, в первую очередь, изменениями гидроклиматических условий. Эти изменения проявляются в наблюдающихся значимых изменениях годовых и максимальных расходов воды на реках России. Годовые расходы воды увеличились на большинстве рек ЕТР, Сибири и Дальнего Востока от 10 до 50% относительно базисного периода. Снижение  $Q_{ср}$  проявилось в верховьях Лены и Амура, бассейне Селенги, на северо-востоке России, в т.ч. на Камчатке. Максимальные расходы воды наиболее интенсивно снижаются в бассейнах Дона и Оки, в высокогорной части бассейнов Терека и Кубани [21].



**Рис. 6.** Переформирования русел в узлах слияния рек: (а) – Чулыма и Яя; (б) – Вычеды и Сысолы (по Р.С. Чалову и С.Н. Рулевой, 2014): положения русел в 1780 г. (1), 1909 г. (2) и 2010 г. (3).

**Fig. 6.** Reformation of channels at the confluence nodes of the rivers: (a) – Chulyma and Yaya; (b) – Extractions and Sysola (according to R.S. Chalov and S.N. Rulevoy, 2014): channel positions in 1780 (1), 1909 (2) and 2010 (3).

Результаты влияния гидроклиматических изменений при происходящих одновременно трансформациях их морфодинамического типа или его разновидностей вследствие саморазвития речных русел разделить бывает довольно сложно. Это обусловлено, с одной стороны, сравнительно малыми значениями гидроклиматических изменений за срок наблюдений за состоянием русла и необходимым определенным временем для релаксации русла и его изменений применительно к новым условиям стока. С другой стороны, саморазвитие русла и изменения факторов могут иметь общую направленность во влиянии на русла, и в этом случае очевидно можно говорить о некоторой активизации (или замедлении) процесса трансформации. Масштабы и скорость изменения речных русел зависит от его устойчивости, размеров и водоносности реки, морфодинамического типа и его сложности (особенно для рек с разветвленным руслом). Значительно быстрее трансформация форм русла наблюдается на реках со слабо- и неустойчивым руслом; при росте устойчивости время релаксации увеличивается, и практически не проявляется на реках с врезанным галечно-валунным руслом. Но и морфологические изменения как следствие саморазвития форм русла на таких реках очень замедленны и зачастую не проявляются за время проведения промерно-съёмочных работ. Для крупнейших рек изменения стока воды и наносов не всегда однозначны из-за сложной морфологии русла, рассредоточения и постоянного перераспределения стока и изменений устойчивости русла по длине [31]. Так, в среднем и нижнем течении р. Лены, где русло широкопойменное (в пределах Центрально-Якутской низменности) с последней четверти XX века наблюдается увеличение стока воды как в целом за год (на  $39 \text{ км}^3/\text{год}$ ), так и во все сезоны года; одновременно увеличился тепловой сток (на  $0.8 \times 10^{15} \text{ кДж/год}$ ) и сток взвешенных наносов ( $5.85 \text{ млн т/год}$ ). По прогнозным оценкам увеличение стока на р. Лене будет продол-

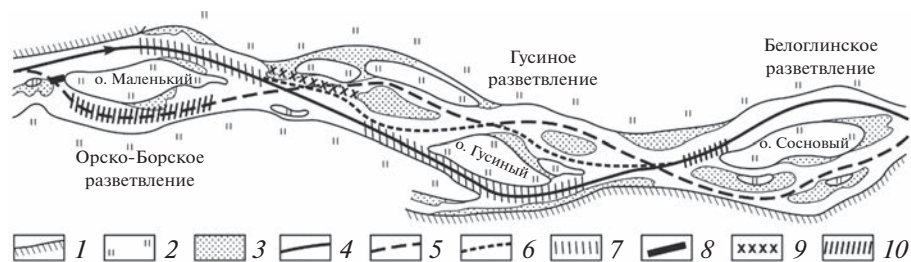
жаться и может превзойти аналогичные изменения на многих других реках России [11]. Повышение водности и теплового стока с одновременным ростом средней температуры вечной мерзлоты (она исчезла на многих участках русла [41, 29]) привело к тому, что от г. Покровска до с. Жиганска, где русло было представлено в основном сопряженными разветвлениями (ниже устья Вилюя – сложно сопряженными), произошло в начале XX века перераспределение стока между основными рукавами [20], но трансформация сопряженных разветвлений в параллельно-рукавные началась лишь в конце века, когда было обнаружено повышение водности и исчезновение мерзлоты в русле. То же произошло с менее распространенными чередующимися прибрежными разветвлениями, в которых бывшие второстепенные рукава превратились во вторые основные, и при зарастании в прямолинейном неразветвленном русле вновь образовавшихся (в том числе благодаря отторжению побочной от берегов) осередков, ставших островами посередине реки [30, 28]. Слабое повышение водности р. Печоры также благоприятствовало преобразованию сопряженного разветвления в параллельно-рукавное [10, 31].

Верхняя Обь за счет увеличения стока наносов из Катунь на фоне роста в течение всего последнего столетия водности реки характеризуется тем, что односторонние разветвления постепенно трансформировались также в параллельно-рукавные, причем этот процесс со временем распространялся вниз по течению и к концу XX века почти достиг устья р. Чарыша [18, 32].

На реках Европейской части России и Сибири, на которых отмечено снижение водности и уровней, происходящее на фоне повышения температуры воздуха, наблюдается увеличение длительности обсыхания осередков и побочной, их зарастание и превращение, соответственно, в острова или молодую пойму, т.е. происходит закрепление нового морфодинамического типа – русловых (островных) разветвлений на месте прямолинейных русел с побочными, располагающимися в шахматном порядке или осередковыми разветвлениями [10, 17, 29, 31], что соответствует переходу русла на более высокий структурный уровень развития русловых процессов [35].

На фоне направленного тренда климатических изменений и, как следствие, водности рек сохраняется чередование многоводных и маловодных периодов продолжительностью 10–15 лет. На меандрирующих реках это проявляется в том, что спрямляющие рукава, образовавшиеся в тыловой части шпор излучин при направленном росте водности реки, могут существовать в годы с повышенной водностью, а при снижении стока мелеют и зарастают. Разветвленные русла при этом характеризуются вслед за колебаниями водности периодичной сменой типов разветвлений (например, Омуганское разветвление на средней Лене является звеном то параллельно-рукавного, то сопряженного разветвления в зависимости от водности временного периода [32]). Кроме того, колебания водности отражаются в образовании островов, закрепляя тот или иной тип разветвления: в годы повышенного стока образуются новые пойменные протоки, активизируются старые, образуются пойменно-русловые разветвления или разветвленно-извилистые русла, которые в последующий маловодный период закрепляются как тап русла; в годы с более низкими уровнями осередки реже затопливаются, быстрее зарастают, превращаясь в новые острова, способствуя дальнейшему увеличению степени разветвленности речных русел.

*Антропогенные воздействия на русла рек и факторы русловых процессов.* На фоне саморазвития речных русел и их трансформации под влиянием естественных изменений факторов русловых процессов антропогенные воздействия на реки вносят существенные коррективы в русловую режим и морфологию русел рек. Использование рек в качестве водных путей сообщения и их постоянное совершенствование, требующее выполнения дноуглубительных (разработка прорезей) и выправительных (строительство дамб, полузапруд и т.д.) работ, является в полной мере отражением управления русловыми процессами, при котором гидротехнические мероприятия опираются на зако-



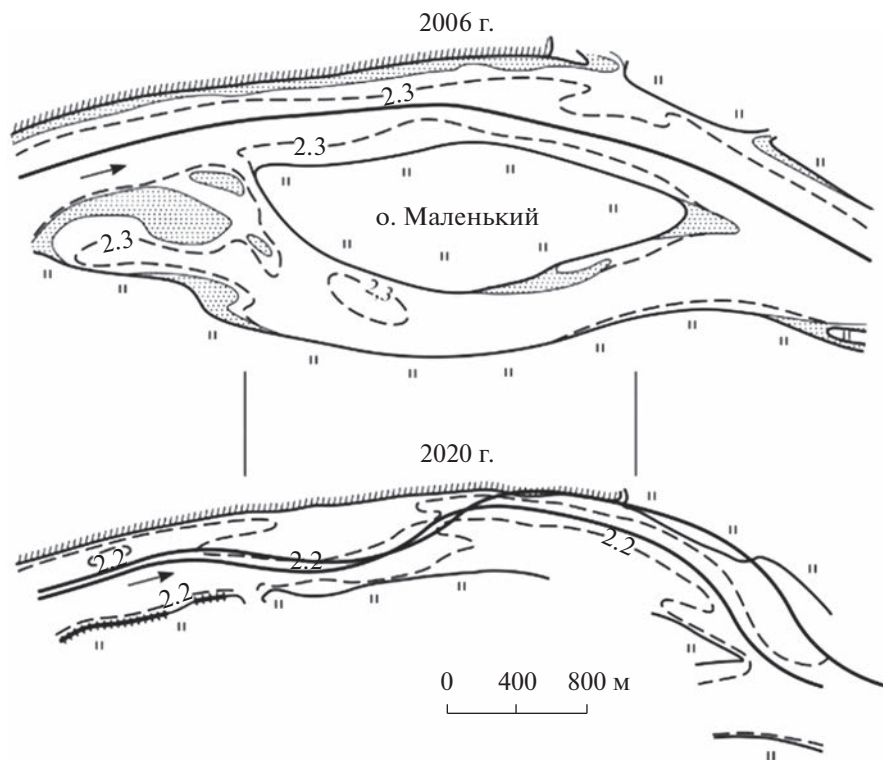
**Рис. 7.** Регулирование русла с использованием закономерностей развития сопряженных разветвлений и разработка карьеров, приведшая к его нарушению 1 – коренные берега; 2 – пойма; 3 – прирусловые отмели; положение основного потока вследствие саморазвития русла и выполнения дноуглубительных работ; 5, 6 – прошлые положения основного потока; 7 – прорезы по трассе судового хода; 8 – дамба; 9 – отвалы грунта при разработке прорезей; 10 – карьеры.

**Fig. 7.** Regulation of the channel using the patterns of development of conjugated branches and quarrying, which led to its violation 1 – primary banks; 2 – floodplain; 3 – near-channel shallows; the position of the main stream due to the self-development of the channel and the performance of dredging; 5, 6 – past positions of the main stream; 7 – slots along the route of the ship's passage; 8 – dam; 9 – soil dumps during the development of slots; 10 – careers.

номерности естественного развития речных русел, современные тенденции и прогнозные оценки их переформирования и либо, следуя им, выполняется превентивное изменение трассы судового хода с минимальными затратами, либо она закрепляется в оптимальном (с точки зрения условий судоходства и естественных процессов) положении, выполняя лишь мероприятия заблаговременно предотвращающие возможные неблагоприятные деформации русла. Таким, ставшим практически хрестоматийным, примером регулирования русла стало выполнение комплекса работ по управлению русловыми процессами с применением так называемого правила “восьмерки” (развития сопряженных разветвлений) на Орско-Борском–Гусином–Белоглинском участке р. Оби (100 км ниже г. Новосибирска), проходящем вдоль коренного берега [32]. Здесь еще в 1970-е годы были проведены капитальные работы, приведшие к закреплению трассы судового хода и стабилизации русла в наиболее благоприятном для судоходства естественном состоянии русла (рис. 7).

Это произошло бы и при саморазвитии русла и со временем привело бы к трансформации верхнего звена в одностороннее разветвление, а в последующем к трансформации всего участка в чередующиеся односторонние разветвления. Этого, однако, не произошло из-за вмешательства карьерных разработок в несудоходном рукаве, произведенных с полным нарушением всех установленных правил и согласований. Карьеры в нижней части рукава с полузапрудой на заходе в него обеспечили бы сохранение сопряженных разветвлений, т.к. водность несудоходных рукавов оставалась в пределах около 30%. Но карьеры были выкопаны по всей длине рукава на глубину, превышающую глубину плесовых ложин, в результате чего произошло перераспределение в него стока, обмеление левого судоходного рукава и начались соответствующие правилу “восьмерки” изменения в остальных звеньях, приводящие к общему ухудшению водного пути; участок вернулся в состояние одного из самых сложных на верхней Оби (рис. 8). Это – пример создания неблагоприятной гидроэкологической обстановки на реке из-за хищнической эксплуатации реки частной фирмой, отсутствия контроля за ее состоянием и использованием речных ресурсов [27].

Разработка капитальных прорезей в рукавах одиночных и сопряженных разветвлений, проходящих вдоль коренных берегов (в соответствии с правилом “ведущего берега” [16], стимулирует обмеление рукавов в пойменных берегах (за островами), и



**Рис. 8.** Обмеление левого судоходного рукава (верхнее звено сопряженных разветвлений на рис. 7) в Орско-Борском разветвлении р. Оби из-за разработки карьера в правом рукаве.

**Fig. 8.** Shallowing of the left navigable arm (the upper link of conjugated branches in fig. 7) in the Orsk-Bor branch of the Ob river due to quarrying in the right arm.

трансформацию разветвлений в односторонние, причем со временем может произойти полное причленение островов к пойме и формирование относительно прямолинейного, неразветвленного русла возле коренного берега и с односторонней поймой.

Основным следствием воздействия капитальных прорезей и выправительных сооружений на судоходных реках с разветвленным руслом является обеспечение повышенной водности и пропускной способности одного из рукавов каждого одиночного разветвления или звеньев сопряженных разветвлений, что при наличии ведущего коренного берега приводит к их трансформации. Так, бывшие одиночные Тундийские разветвления на р. Выгегде и сопряженные Киреевско-Астраханцевские разветвления на р. Оби после разработки капитальных прорезей в рукавах вдоль ведущего берега превратились в односторонние; на Северной Двине Телеговские сопряженные разветвления благодаря выправительным работам трансформировались сначала в односторонние и одиночное, а затем на всем протяжении участка — в односторонние. Во всех случаях это могло бы произойти естественным путем (саморазвитием форм русла и перераспределением стока в ранее маловодные рукава), но техногенное вмешательство ускорило эти процессы и обеспечило закрепление повышенной водности и большей устойчивости русла рукавов в наиболее выгодном для водного пути условии, что, в свою очередь, способствовало трансформации русла в более морфологически простую форму [32].

На верхней Оби параллельно-рукавное разветвление после разработки серии прорезей и возведения продольных направляющих дамб на участке длиной около 30 км расчленилось на несколько частей со своим типом разветвлений, и лишь во второй части (Усть-Ануйский узел), русло осталось параллельно-рукавным, но сократилась ширина пояса разветвления, сместившегося под влиянием дамбы влево, а бывшая система правого рукава превратилась в обмелевшие и утрачивающие со временем свою водоносность протоки. Ниже по течению, где не проводились выправительные работы, тип русла остался прежним (параллельно-рукавные разветвления). При этом все работы выполнялись на основе естественных тенденций переформирования русла (в частности, в Усть-Ануйском узле в течении XX века наблюдалось постепенное направленное смещение всего русла в сторону левого берега [18]) и привели к тому, что весь участок вышел из числа очень затруднительных для судоходства. В то же время наносы, проходящие через этот участок транзитом, аккумулируются ниже по течению и приводят к активизации деформаций разветвленного русла там, где его регулирование в соответствии с естественными тенденциями выполнено не было.

Иногда антропогенные воздействия на русла и факторы русловых процессов вносят существенные коррективы в развитие русел, причем многократно превышая естественные трансформации. Наиболее существенны для крупных рек регулирование стока воды и перехват наносов водохранилищами, создающими особенно в нижних бьефах совершенно новые условия формирования русла и русловой режим. В нижних бьефах гидроузлов разветвленные русла превращаются в прямолинейные неразветвленные, сопряженные разветвления — в пологие излучины, шпоры которых образованы бывшими островами, примкнувшими к береговой пойме. На меандрирующих реках происходит изменение параметров излучин, которые приспособляются к новым условиям прохождения руслоформирующих расходов воды и дефициту наносов [2, 19, 38—40]. Изменившееся русло при решении транспортных задач в новых условиях требует применения иных методов регулирования по сравнению с теми, которые применялись до создания водохранилища.

Большинство других воздействий на реки при использовании их учета требует учета русловых процессов и возможных местных изменений морфологии русла и его переформирования. Наиболее существенные среди них — разработка карьеров аллювиальных стройматериалов, охватывающая иногда реки на значительном их протяжении (Ока, Томь и др.) и требующая выполнения компенсационных мероприятий для предотвращения негативных последствий [1]. Однако, несмотря на утвержденные научно-обоснованные нормативные документы по разработке карьеров, добывающие предприятия их регулярно нарушают, т.к. требуют дополнительных затрат, что приводит к серьезным отрицательным гидротехническим (как в приведенном выше случае с разветвлением на Оби) и экологическим последствиям.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Трансформация речных русел, т.е. преобразование их морфодинамического типа либо усложнение его разновидностей (подтипов, типов меандрирования или разветвления) осуществляется не только как следствие изменения естественных или антропогенно обусловленных факторов русловых процессов (стока воды и наносов) и техногенных воздействий, но и в процессе саморазвития речных русел. Это происходит из-за изменений основных морфометрических (ширины, глубины) и морфологических (радиусов кривизны, шагов, стрел прогиба излучин, размеров островов, степени разветвленности и др.) параметров русел по мере развития излучин или перераспределения стока между рукавами, из-за размывов берегов и образования аккумулятивных форм, положения русла относительно затопляемой поймы и коренных берегов, появления местного источника поступления наносов и т.д.

Для меандрирующих рек характерной формой трансформации русел в процессе развития излучин является их переход на более высокий структурный уровень меандрирования или морфологическом их усложнении вследствие развития на излучинах разветвлений. Эти трансформации заключаются: 1) в образовании “больших излучин” благодаря развитию прямолинейных “вставок” между ними, вследствие чего пояс меандрирования становится равным ширине днища долины; 2) в формировании петлеобразных излучин, представляющих комбинацию исходной излучины и сегментных излучин на ее крыльях; 3) в разветвлении русла одиночными островами в местных расширениях на прямолинейных вставках и на верхних крыльях больших излучин; 4) в образовании разветвлений в привершинных частях крутых излучин, у которых нарушается условие обтекания потоком берегов; 5) в формировании прорванных излучин, приводящем к рассредоточению стока и изменению параметров русла; 6) в развитии сундучных излучин, представляющих комбинацию вынужденной излучины на подходе реки к коренному берегу, прямолинейного отрезка возле него и адаптированной излучины при отклонении русла в сторону поймы. Такие преобразования следует учитывать не только при водохозяйственном и водотранспортном освоении, т.е. решении практических задач, но и при палеорусловых и палеогидрологических построениях.

В разветвленных руслах их трансформация в процессе саморазвития связана с превращением одиночных и сопряженных разветвлений в односторонние или чередующиеся, во внутридолинной (внутрипойменной) перестройке русловой сети при размыве пойменных перешейков между рукавами, в том числе раздвоенных русел, и между ними и пойменными протоками. Усложнение морфологии разветвлений происходит вследствие расчленения больших островов при встречном размыве берегов в рукавах, а также в узлах слияния рек, когда русло одной из них перехватывается устьевым участком другой. Общая перестройка морфодинамического типа русла происходит при расположении его в процессе переформирования возле коренного берега с выровненными в плане очертаниями.

На трансформацию русла в ходе саморазвития его форм накладываются изменения их параметров и размеров, возникновения осложняющих морфологию новообразований (излучин, разветвлений), происходящих при естественном или антропогенно обусловленном (в нижних бьефах водохранилищ) увеличении или уменьшении водности реки и стока наносов, а также при непосредственном техногенном воздействии на реки. Эти воздействия ускоряют или замедляют естественные процессы, если они опираются на закономерности русловых деформации (такой подход особенно характерен при проведении гидротехнических мероприятий на водных путях), приводя к закреплению, стабилизации и упрощению морфодинамики русла в оптимальном для эксплуатации реки и обеспечении гидроэкологической безопасности состоянии.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беркович К.М. Русловые процессы и русловые карьеры. М.: Географ. Ф-т МГУ. 2005. 109 с.
2. Беркович К.М. Русловые процессы на реках в сфере влияния водохранилищ. М.: Географ. ф-т МГУ. 2012. 163 с.
3. Гендельман М.М. Исследование свободного меандрирования речных русел (на примере нижнего Иртыша) // Геоморфология. 1988. № 3. С. 38–46.
4. Инженерно-географические проблемы проектирования и эксплуатации крупных равнинных водохранилищ. М.: Наука, 1972. 240 с.
5. Клаев А.Б., Виноградов В.А., Костюченко А.А. Неравновесные процессы в формировании речных русел // Макавеевские чтения. 2004. М.: Изд-во Моск. ун-та. 2005. С. 8–25.
6. Кондратьев Н.Е., Попов И.В., Смищенко Б.Ф. Основы гидроморфологической теории руслового процесса. Л.: Гидрометеиздат. 1982. 272 с.
7. Куракова А.А., Чалов Р.С. Морфодинамика русла нижнего Иртыша // Геоморфология. 2022. Т. 53. № 4. С. 98–108.

8. *Леяевский Н.С.* О речных течениях и формировании речного русла // Тр. 2-го съезда инженеров-гидротехников в 1893 г. СПб., 1893 (Вопросы гидротехники свободных рек. М.: Речиздат, 1948. С. 18–136).
9. *Львовская Е.А.* Ретроспективный анализ, современное состояние и оценка возможных изменений русловых процессов на больших реках севера ЕТР. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: Изд-во МГУ. 2016. 30 с.
10. *Львовская Е.А., Чалов Р.С.* Морфодинамика русел больших рек севера ЕТР и прогнозные оценки ее изменений // Геоморфология. 2018. № 3. С. 3–23.
11. *Магрицкий Д.В.* Факторы и закономерности многолетних изменений стока воды, взвешенных наносов и теплоты Нижней Лены и Вилюя // Вест. Моск. ун-та. Сер. 5: География. 2015. № 6. С. 85–95.
12. *Маккавеев Н.И.* Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР. 1955. 347 с.
13. *Панин А.В., Сидорчук А.Ю., Баслеров С.В., Борисова О.К., Ковалюх Н.Н., Шереমেцкая Е.Д.* Основные этапы истории речных долин центра Русской равнины в позднем валдае и голоцене: результаты исследований в среднем течении р. Сейм // Геоморфология. 2001. № 2. С. 19–34.
14. *Панин А.В., Сидорчук А.Ю., Чернов А.В.* Макроизлучины рек ЕТС и проблемы палеогидрологических реконструкций // Водные ресурсы. 1992. № 4. С. 93–96.
15. *Попов И.В.* Деформации речных русел и гидротехническое строительство. Л.: Гидрометеиздат, 1965. 328 с.
16. Проектирование судовых ходов на свободных реках / Тр. ЦНИИЭВТ. Вып. 36. М.: Транспорт. 1964. 262 с.
17. Русловые процессы и водные пути на реках бассейна Северной Двины. М.: Журнал РТ. 2012. 492 с.
18. Русловые процессы на реках Алтайского региона. М.: МГУ. 1996. 244 с.
19. *Серебряков А.А.* Русловые процессы на судоходных реках с зарегулированным стоком. М.: Транспорт. 1970. 128 с.
20. *Сидорчук А.Ю.* Среднеголоценовый этап пониженной водоносности рек и его выражение в морфологии речных излучин // Древние и современные долины и реки: история формирования, эрозионные и русловые процессы. Волгоград: ВГСПУ. 2010. С. 106–117.
21. *Фролова Н.Л., Магрицкий Д.В., Киреева М.Б., Григорьев В.Ю., Гельфан А.Н., Сазонов А.А., Шевченко А.И.* Сток рек России при происходящих и прогнозируемых изменениях климата: обзор публикаций. 1. Оценка изменений водного режима рек России по данным наблюдений // Водные ресурсы. 2022. Т. 49. № 3. С. 251–269.
22. *Чалов Р.С.* Русловедение: теория, география, практика. Т. 2. Морфодинамика речных русел. М.: КРАСАНД. 2011. 960 с.
23. *Чалов Р.С.* Управление русловыми процессами как важнейший элемент эффективности использования водных ресурсов // Тр. Акад. проблем водохоз. наук. 2014. Вып. 12. С. 39–45.
24. *Чалов Р.С.* Управление русловыми процессами, техногенные воздействия на русла рек и проблемы гидроэкологической безопасности // Вест. Удмурт. ун-та. Сер. Биология. Науки о Земле. 2022. Т. 32. Вып. 2. С. 184–191.
25. *Чалов Р.С., Завадский А.С., Панин А.В.* Речные излучины. М.: Изд-во МГУ. 2004. 371 с.
26. *Чалов Р.С., Куракова А.А., Михайлова Н.М., Рулева С.Н.* Размывы пойменных берегов и эволюция форм русел рек как факторы перестройки русловой сети // Вест. Моск. ун-та. Сер. 5: География. 2022. № 5. С. 29–40.
27. *Чалов Р.С., Павлушкин С.В., Рулева С.Н.* Техногенные воздействия на р. Обь в пределах Новосибирской агломерации и их влияние на русловые процессы и водные пути // Водные пути и русловые процессы. Гидротехнические сооружения водных путей. Вып. 5, Ч. 1. СПб.: Изд-во Гумрф им. дм. С.О. Макарова. 2021. С. 29–39.
28. *Чалов Р.С., Беркович К.М., Рулёва С.Н., Завадский А.С., Головлёв П.П., Голубцов Г.Б.* Формирование, эволюция и временная трансформация параллельно-рукавных разветвлений речных русел // Географический вестник. 2020. № 4(55). С. 110–125.
29. *Чалов Р.С., Завадский А.С., Рулева С.Н., Кирик О.М., Прокотьев В.П., Андросов И.М., Сахаров А.И.* Морфология, деформации, временные изменения русла р. Лены и их влияние на хозяйственную инфраструктуру в районе г. Якутска // Геоморфология. 2016. № 3. С. 22–35.
30. *Чалов Р.С., Кирик О.М., Ильясов А.К., Ботавин Д.В.* Временная трансформация сложноразветвленного русла крупнейшей реки (на примере приалданского участка р. Лены) // Геоморфология. 2014. № 1. С. 92–103.
31. *Чалов С.Р.* Гидрологические функции разветвленного русла. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ. 2007. 25 с.
32. *Чалов Р.С.* Временная трансформация морфодинамических типов русел больших равнинных рек // Вест. Моск. ун-та. Сер. 5: География. 2018. № 3. С. 3–13.
33. *Чалов Р.С.* Трансформация разветвленных русел рек: факторы, условия, причины // Геоморфология. 2020. № 4. С. 15–33.

34. Чалов Р.С., Куракова А.А., Рулева С.Н. Формирование прорванных излучин и образование разветвлений на меандрирующих реках // Изв. РГО. 2022. Т. 154. № 5–6. С. 73–85.
35. Чалов Р.С., Рулёва С.Н. Влияние переформирования русел на развитие узлов слияния рек // География и природные ресурсы. 2014. № 1. С. 161–168.
36. Чалов Р.С., Чалов С.Р. Дискретные свойства русловых процессов и их отражение в морфодинамике речных русел // Изв. РАН. Серия географ. 2023. Т. 87. № 2. С. 1–16.
37. Шанцер Е.В. Аллювий равнинных рек умеренного пояса и его значение для познания закономерностей строения и формирования аллювиальных свит // Тр. Геол. Ин-та АН СССР. Сер. Геологич. 1951. Вып. 135. № 55. 275 с.
38. Школьный Д.И., Чалов Р.С., Семаков В.А., Сахаров А.И. Перекатный участок Порги в нижнем течении р. Яна: современное состояние прогнозные оценки, методы выправления // Речной транспорт (XXI век). 2023. № 1. С. 18–22.
39. Babinski Z. Procesy korytowe Wisly ponizej zapory wodntj we Wlowlawku / Dokumentacja geograficzna. Z. 1–2. 1982. 92 p.
40. Babinski Z. Wspolczesne procesy korytowedolnej Wisly / Prace geograficzne. № 157. Wroclaw-Warsawa-Krakow, 1997. 197 p.
41. Babinski Z. Wpiyw zapir procys korytowe rzek aluwialnych. Bydgoszcz: Wyd. Arad. 39. Bydgoskiej im. K. Wielkiego. 2002. 185 p.
42. Cotard L., Dupeyrat I., Gaulier E., Cared-Gailhardis E. Fluvial thermal erosion investigation altug a rapily river bank application to the Lena river (Central Sibeeria) // Earith Surface and Landformes. 2003. V. 28. P. 1349–1359.

### Transformation of River Channels in the Process of their Self-Development and Influence of Natural and Anthropogenic Changes in the Factors of Channel Processes

R. S. Chalov<sup>1</sup>, \*, A. A. Kurakova<sup>1</sup>, \*\*, G. B. Golubtsov<sup>1</sup>, \*\*\*, and A. S. Zavads kij<sup>1</sup>, \*\*\*\*

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

\*E-mail: rschalov@mail.ru

\*\*E-mail: a.a.kurakova@mail.ru

\*\*\*E-mail: georgy1995golubcov@yandex.ru

\*\*\*\*E-mail: az200611@rambler.ru

**Abstract**—In article analyze the main ways of river channels transformation, their morphodynamic type, its complication or transition from one structural level of channel processes to a higher one, in the course of self-development of channel forms. On meandering rivers meanders in the process of development turn into large meanders with rectilinear “inserts” between adjacent forms, into loop-like meanders, which are a combination of the original in the near-top part and segmental ones on their wings. Other way — into chest meanders when the river approaches the bedrock bank (forced bend), elongation of the lower wing along it and the formation of an adapted bend when the channel deviates towards the floodplain. On rectilinear “inserts” between adjacent large bends and on their upper wings, single branches are formed. In the near-apex parts of steep bends with a violation of the condition of flow around the banks ( $r < 2.5b_p$ ), islands form in local channel extensions due to erosion of the convex bank or due to the rejection of part of the bend spur. For branched channels, under certain conditions, transformation in the process of self-development of single and conjugated branches into unilateral or alternating and intra-valley restructuring of the channel network due to erosion of floodplain isthmuses between branches and floodplain channels is characteristic. These reshaping, leading to the morphodynamic transformation of the channels, are superimposed by natural and anthropogenic changes in water content and sediment runoff and technogenic impacts on the channels, during which the channels are fixed and stabilized in an optimal position for the economic development of rivers. Accounting for the self-development of river channels is necessary in the operation of rivers and the use of water resources, in paleoconditional and paleohydrological analysis, and also in the development of forecasts for channel reformations.

**Keywords:** channel self-development, braided river, meander, channel reformations, fluvial processes, water and runoff, distribution of water flow, anthropogenic impact

## REFERENCE

1. Berkovich K.M. Ruslovyie processy i ruslovyie kar'ery. M.: Izd-vo Geograf. F-t MGU. 2005. 109 s.
2. Berkovich K.M. Ruslovyie processy na reках v sfere vliyaniya vodohranilishch. M.: Geograf. f-t MGU. 2012. 163 s.
3. Gendel'man M.M. Issledovanie svobodnogo meandrirovaniya rechnyh rusel (na primere nizhnego Irtysha) // Geomorfologiya. 1988. № 3. S. 38–46.
4. Inzhenerno-geograficheskie problemy proektirovaniya i ekspluatatsii krupnyh ravninnyh vodohranilishch. M.: Izd-vo Nauka, 1972. 240 s.
5. Klaven A.B., Vinogradov V.A., Kostyuchenko A.A. Neravnovesnye processy v formirovanii rechnyh rusel // Makkaveevskie chteniya. 2004. M.: Izd-vo Mosk. un-ta. 2005. S. 8–25.
6. Kondrat'ev N.E., Popov I.V., Snizhenko B.F. Osnove gidromorfologicheskoi teorii ruslovogo prozessa. L.: Gidrometeoizdat. 1982. 272 s.
7. Kurakova A.A., Chalov R.S. Morfodinamika rusla nizhnego Irtysha // Geomorfologiya. 2022. T. 53. № 4. S. 98–108.
8. Lelyavskij N.S. O rechnyh techeniyah i formirovanii rechnogo rusla. Tr. 2-go s''ezda inzhenerov-gidrotekhnikov v 1893 g. SPb.: 1893 (Voprosy gidrotekhniki svobodnyh rek. M.: Rechizdat, 1948. S. 18–136).
9. L'vovskaya E.A. Retrospektivnyj analiz, sovremennoe sostoyanie i ocenka vozmozhnyh izmenenij ruslovyh processov na bol'shikh reках severa ETR. Avtoref. dis. ... kand. geogr. nauk. M.: Izd-vo MGU. 2016. 30 s.
10. L'vovskaya E.A., Chalov R.S. Morfodinamika rusel bol'shikh rek severa ETR i prognoznnye ocenki ego izmenenij // Geomorfologiya. 2018. № 3. S. 3–23.
11. Magrickij D.V. Faktory i zakonornosti mnogoletnih izmenenij stoka vody, vzveshennyh nanosov i teploty Nizhnej Leny i Vilyuya // Vest. Mosk. un-ta. Ser. 5: Geografiya. 2015. № 6. S. 85–95.
12. Makkaveev N.I. Ruslo reki i erzia v ee basstine. M.: Izd-vo AN SSSR. 1955. 347 s.
13. Panin A.V., Sidorchuk A.Yu., Baslerov S.V., Borisova O.K., Kovalyuh N.N., SHERemeckaya E.D. Osnovnye etapy istorii rechnyh dolin centra Russkoj ravniny v pozdnem valdae i golocene: rezul'taty issledovanij v srednem techenii r. Sejm // Geomorfologiya. 2001. № 2. S. 19–34.
14. Panin A.V., Sidorchuk A.Yu., Chernov A.V. Makroizluchiny rek ETS i problemy paleogidrologicheskikh rekonstrukcij // Vodnye resursy. 1992. № 4. S. 93–96.
15. Popov I.V. Deformacii rechnyh rusel i gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo. L.: Gidrometeoizdat. 1965. 328 s.
16. Proektirovanie sudovyh hodov na svobodnyh reках / Tr. CNIEVT. 1964. Vyp. 36. 262 s.
17. Ruslovyie processy i vodnye puti na reках bassejna Severnoj Dviny. M.: Zhurnal RT. 2012. 492 s.
18. Ruslovyie processy na reках Altajskogo regiona. M.: Izd-vo MGU. 1996. 244 s.
19. Serebryakov A.A. Ruslovyie processy na sudohodnyh reках s zaregulirovannym stokom. M.: Izd-vo Transport. 1970. 128 s.
20. Sidorchuk A.Yu. Srednegolocenovyj etap ponizhennoj vodonosnosti rek i ego vyrazhenie v morfologii rechnyh izluchin // Drevnie i sovremennye doliny i reki: istoriya formirovaniya, erozionnye i ruslovyie processy. Volgograd: VGSPU. 2010. S. 106–117.
21. Frolova N.L., Magrickij D.V., Kireeva M.B., Grigor'ev V.Yu., Gel'fan A.N., Sazonov A.A., Shevchenko A.I. Stok rek Rossii pri proiskhodyashchih i prognoziruemym izmeneniyah klimata: obzor publikacij. 1. Ocenka izmenenij vodnogo rezhima rek Rossii po dannym nablyudenij // Vodnye resursy. 2022. T. 49. № 3. S. 251–269.
22. Chalov R.S. Ruslovedenie: teoriya, geografiya, praktika. T. 2. Morfodinamika rechnyh rusel. M.: Izd-vo KRASAND. 2011. 960 s.
23. Chalov R.S. Upravlenie ruslovymi processami kak vazhnejshij element effektivnosti ispol'zovaniya vodnyh resursov // Tr. Akad. problem vodohoz. nauk. 2014. Vyp. 12. S. 39–45.
24. Chalov R.S. Upravlenie ruslovymi processami, tekhnogennye vozdejstviya na rusla rek i problemy gidroekologicheskoy bezopasnosti // Vest. Udmurt. un-ta. Ser. Biologiya. Nauki o Zemle. 2022. T. 32. Vyp. 2. S. 184–191.
25. Chalov R.S., Zavadskiy A.S., Panin A.V. Rechnye izluchiny. M.: Izd-vo MGU. 2004. 371 s.
26. Chalov R.S., Kurakova A.A., Mihajlova N.M., Ruleva S.N. Razmyvy pojmennyh beregov i evolyuciya form rusel rek kak faktory perestrojki ruslovoj seti // Vest. Mosk. un-ta. Ser. 5: Geografiya. 2022. № 5. S. 29–40.
27. Chalov R.S., Pavlushkin S.V., Ruleva S.N. Tekhnogennye vozdejstviya na r. Ob' v predelakh Novosibirskoj aglomeracii i ih vliyanie na ruslovyie processy i vodnye puti // Vodnye puti i ruslovyie processy. Gidrotekhnicheskie sooruzheniya vodnyh putej. Vyp. 5. Ch. 1. SPb.: Izd-vo Gumrf im. dm. S.O. Makarova. 2021. S. 29–39.
28. Chalov R.S., Berkovich K.M., Rulyova S.N., Zavadskiy A.S., Golovlyov P.P., Golubcov G.B. Formirovanie, evolyuciya i vremennaya transformaciya parallel'no-rukavnyh razvetvlenij rechnyh rusel // Geographical Bulletin. 2020. № 4(55). S. 110–125.

29. Chalov R.S., Zavadskij A.S., Ruleva S.N., Kirik O.M., Prokop'ev V.P., Androsov I.M., Saharov A.I. Morfologiya, deformacii, vremennye izmeneniya rusla r. Leny i ih vliyanie na hozyajstvennyuyu infrastrukturu v rajone g.yakutska // Geomorfologiya. 2016. № 3. S. 22–35.
30. Chalov R.S., Kirik O.M., Il'yasov A.K., Botavin D.V. Vremennaya transformaciya slozhnorazvetvlennoogo rusla krupnejshej reki (na primere prialdanskogo uchastka r. Leny) // Geomorfologiya. 2014. № 1. S. 92–103.
31. Chalov S.R. Gidrologicheskie funkicii razvetvlennoogo rusla. Avtoref. dis. ... kand. geogr. nauk. M.: Izd-vo MGU, 2007. 25 s.
32. Chalov R.S. Vremennaya transformaciya morfodinamicheskikh tipov rusel bol'shikh ravninnykh rek // Vest. Mosk. un-ta. Ser. 5: Geografiya. 2018. № 3. S. 3–13.
33. Chalov R.S. Transformaciya razvetvlennykh rusel rek: faktory, usloviya, prichiny // Geomorfologiya. 2020. № 4. S. 15–33.
33. Chalov R.S., Kurakova A.A., Ruleva S.N. Formirovanie prorvannykh izluchin i obrazovanie razvetvlenij na meandriruyushchih rekah // Izv. RGO. 2022. T. 154. № 5–6. S. 73–85.
34. Chalov R.S., Rulyova S.N. Vliyanie pereformirovanij rusel na razvitie uzlov sliyaniya rek // Geografiya i prirodnye resursy. 2014. № 1. S. 161–168.
35. Chalov R.S., Chalov S.R. Diskretnye svojstva ruslovyykh processov i ih otrazhenie v morfodinamike rechnykh rusel // Izv. RAN. Seriya geograf. 2023. T. 87. № 2. S. 1–16.
36. Shancer E.V. Allyuvij ravninnykh rek umerennogo poyasa i ego znachenie dlya poznaniya zakonomernostej stroeniya i formirovaniya allyuvial'nykh svit // Trudy Geol. In-ta AN SSSR. Ser. Geologich. 1951. Vyp. 135. № 55. 275 s.
37. Shkol'nyj D.I., Chalov R.S., Semakov V.A., Saharov A.I. Perekatnyj uchastok Porgi v nizhnem techenii r. Yana: sovremennoe sostoyanie prognozyne ocenki, metody vypravleniya // Rechnoj transport (XXI vek). 2023. № 1. S. 18–22.
38. Babinski Z. Procesy korytowe Wisly ponizej zapory wodntj we Wloclawku / Dokumentacja geograficzna. Z. 1–2. 1982. 92 p.
39. Babinski Z. Wspolczesne procesy korytowedolnej Wisly / Prace geograficzne. № 157. Wroclaw-Warsawa-Krakow, 1997. 197 p.
40. Babieski Z. Wpiyw zapür procys korytowe rzek aluwialnych. Bydgoszcz: Wyd. Arad. 39. Bydgoskiej im. K. Wielkiego. 2002. 185 p.
41. Cotard L., Dupeyrat I., Gaulier E., Cared-Gailhardis E. Fluvial thermal erosion investigation altug a rapily river bank application to the Lena river (Central Sibeeria) // Earith Surface and Land-formes. 2003. V. 28. P. 1349–1359.

УДК 504.4.062.2;504.455

## МАЛЫЕ И СРЕДНИЕ ОЗЕРА: ХАРАКТЕРИСТИКИ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ ИХ РЕКРЕАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА (НА ПРИМЕРЕ ОЗЕР ПО ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН)

© 2023 г. А. М. Гареев<sup>а</sup>, \*, Е. Н. Сайфуллина<sup>а</sup>, \*\*, Э. М. Галеева<sup>а</sup>, \*\*\*

<sup>а</sup>Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

\*E-mail: aufar.gareev@mail.ru

\*\*E-mail: sayfullina-75@mail.ru

\*\*\*E-mail: elya.galeewa2012@yandex.ru

Поступила в редакцию 15.02.2023 г.

После доработки 07.04.2023 г.

Принята к публикации 02.06.2023 г.

В статье раскрыты основные характеристики функционирования малых и средних озер в настоящее время в условиях влияния совокупности естественных и антропогенных факторов, а также методические положения оценки их рекреационного потенциала. Показано то, что наиболее существенные негативные изменения в них происходят особенно в тех регионах, которые характеризуются высокими масштабами влияния хозяйственной деятельности на их водосборах. В составе основных факторов, влияющих на уровень эвтрофикации озер, соответственно, их использование в целях рекреации, принимают участие такие, как вынос растворенных и нерастворенных веществ с водосборов в сами водные объекты, заиление, изменение морфометрических характеристик и уменьшение интенсивности внешнего водообмена. В целях обоснования оптимальных параметров рекреационных нагрузок на изучаемые водные объекты осуществлен анализ применяемых в настоящее время методических подходов, выявлены их преимущества и недостатки, которые позволили обосновать новые подходы к оценке рекреационного потенциала водоемов.

*Ключевые слова:* озера, водосбор, соединения, уязвимость, деградация, гидролого-экологические условия, нагрузка, рекреационный потенциал

DOI: 10.31857/S0869607123020052, EDN: IDXOVI

### ВВЕДЕНИЕ

В условиях сложившейся социально-политической обстановки в Российской Федерации в настоящее время уделяется большое внимание развитию внутреннего туризма и оптимальному вовлечению различных природных комплексов, историко-культурных и других объектов в рекреационную сферу. В связи с чем преимущественное внимание авторами уделяется комплексной оценке туристско-рекреационного потенциала территорий. Следует обратить внимание, что характерные особенности, формирующиеся в малых и средних озерах в зависимости от влияния внешних и внутриводоемных процессов, не рассматриваются. В ряде работ уделяется внимание необходимости вовлечения озер в поле развития рекреационного потенциала региона в составе особо охраняемых природных территорий. Однако в них также не отражены положения, которые имеют исключительно важное значение с точки зрения оценки происходящих

негативных изменений в водоемах, включая показатели изменения трофического статуса, эвтрофикации, влияния внешних антропогенных факторов на снижение рекреационной привлекательности озер. Таким образом, не вовлеченность указанных положений в формирование единой структуры развития рекреационного потенциала регионов и страны в целом не позволяет обосновать выбор оптимальных видов и параметров мероприятий, направленных на улучшение гидролого-экологических условий в них (мелиорацию) на основании проведения конкретных мероприятий как на водосборе, так и в самом водном объекте непосредственно.

С учетом изложенного в данной работе уделено внимание всестороннему анализу особенностей влияния естественных и антропогенных факторов в многолетнем разрезе на изменение морфометрических характеристик, гидролого-экологических условий и трофического статуса озер с учетом возможностей их применения в целях оценки рекреационного потенциала. В составе внешних факторов рассмотрены особенности выноса растворенных и нерастворенных веществ с водосбора, а также закономерности, обусловленные глобальным изменением климата. Рекомендуемые нами методические положения мелиорации озер базируются на применении ранее опубликованных работ зарубежных и отечественных авторов, а также расчетах по определению произошедших изменений на водосборах озер в течение последних десятилетий, оценке трофического статуса и др. Они позволили обосновать конкретные мероприятия по мелиорации водоемов по территории Республики Башкортостан с учетом значимости внешних и внутриводоемных процессов. Эти положения должны учитываться и в ходе оценки их рекреационного потенциала.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве материалов, на которых базируется данное исследование, приняты опубликованные источники, отражающие особенности комплексной оценки значимости природно-территориальных комплексов, а также особо охраняемых территорий в формировании и учете рекреационного потенциала на примере различных субъектов Российской Федерации [3, 8, 11, 17]; методические положения, приведенные в ранее опубликованных работах, отражающие основные закономерности формирования и изменчивости экологических условий в озерах (трофического статуса) в зависимости от влияния внешних (аллохтонных) и внутриводоемных (автохтонных) процессов. Они имеют довольно продолжительный этап развития. Так, следует отметить то, что Р. Фолленвайдер (R. Vollenweider) [20], впервые предпринял попытку количественно увязать состояние трофности озера с приходом биогенных веществ (азота, фосфора) с водосбора на единицу площади водоема. Им была предложена модель бюджета фосфора, отражающая уровень трофии водоема в зависимости от его прихода, потерь, седиментации и расхода со стоком в зависимости от показателя проточности. Изложенные методические положения в последующем нашли развитие в работе П. Диллона и Ф. Риглера (P. Dillon, F. Rigler) [19], в которой были также учтены показатели средней глубины водоема, скорость внешнего водообмена и удержания фосфора в водоеме. В составе опубликованных работ в последние годы следует привести методику выбора приоритетных действий при реабилитации непроточных и малопроточных озер, предложенную А.Н. Поповым [16], публикации А.М. Гареева [4, 5] и др. Следует подчеркнуть то, что отличительной особенностью данного исследования является то, что учитывались характеристики активизации развития эрозионных процессов на водосборе, выноса нерастворенных и растворенных загрязняющих веществ в озера, приводящие к их заилению, изменению морфометрических характеристик (в т.ч. уменьшению средних глубин). Это является также одной из основных причин, обуславливающих изменение трофического статуса, соответственно, и привлекательности озер относительно развития рекреации и туризма [7, 10, 14]. Анализ материалов многолетних наблюдений за уровнем режимом

позволили выявить характер изменения морфометрических характеристик озера и в последующем учитывать его в ходе оценки изменения рекреационного потенциала изучаемых водных объектов и обоснования необходимых мероприятий, направленных на их мелиорацию.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

На основании анализа многочисленных опубликованных работ установлено то, что при оценке рекреационного потенциала ландшафтов характеристики изменения экологических условий в том числе и трофического статуса малых и средних озер в зависимости от влияния антропогенных факторов на водосборе не учитываются. При этом в качестве основных показателей принимаются такие, как красота и привлекательность, площадь зеркала, вхождение в состав особо охраняемых природных территорий и др. В тоже время, методические положения, раскрывающие характеристики неблагоприятных изменений, проявляющихся в виде заиления, зарастания, обмеления и эвтрофикации водоемов, достаточно хорошо раскрыты в исследованиях, посвященных их изучению. Таким образом, выявлено, что на современном этапе требуется необходимость интеграции полученных знаний и полномасштабного их применения не только в определении трофического статуса малых и средних озер, но и обосновании методов и путей их мелиорации с учетом специфики и масштабов влияния антропогенных факторов. Соответственно, рекреационные нагрузки, формирующиеся в настоящее время, а также рекреационный потенциал водоемов должны рассматриваться в составе основных факторов, обусловленных хозяйственной деятельностью человека. С учетом изложенного раскрыты методические положения, отражающие возможности рекреационного освоения озер и их водосборов с учетом недопустимости снижения трофического статуса (ухудшения гидролого-экологических характеристик). На примере территории Республики Башкортостан показано то, что полномасштабное использование многих водных объектов, в настоящее время относящихся к категории эвтрофных, может быть осуществлено только на основании проведения мелиоративных мероприятий в их бассейнах. С учетом изложенного рекомендованы методы проведения водоохранных мероприятий по бассейнам озер с учетом эффективности их влияния на изменение трофического статуса. Эти положения должны учитываться и по другим регионам страны.

## ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе анализа современных научно-методических подходов к оценке рекреационного потенциала территорий следует указать на то, что в ряде работ учитывается комплекс показателей, включая физико-географические характеристики, а также степень их освоенности в настоящее время. Так, М.В. Гудковских [8] по территории Тюменской области применил метод баланса, учитывающий необходимость расчета потенциала на основании сравнительного анализа характеристик современного туристского освоения территории, а также перспективных возможностей освоения площадей, ранее не подвергавшихся оценке туристско-рекреационных ресурсов. Характерной особенностью анализа исходной информации в указанной работе является то, что при этом учитывается довольно большая совокупность показателей, включая: исходные территориальные единицы, обоснование и отбор ключевых критериев, ранжирование оценочных шкал, блочную оценку и сверку результатов, итоговую интегральную оценку, бонитировку территории по степени туристского потенциала и построение карты туристского потенциала. В составе природного блока по водным объектам в указанной работе приведены лишь такие показатели, как озерность территории, морфометрические характеристики водных объектов, наличие месторождений лечебных

грязей, продолжительность купального сезона, наличие промысловых рыб, классы качества воды.

В методике определения ландшафтно-рекреационного потенциала региона, предложенной Ю.С. Вороновым [3], отражается необходимость также интегральной оценки ландшафта с учетом средних значений основных составляющих: рельефа, характеристик растительного покрова и водных объектов. При этом учитываются критерии градации ландшафтов по балльной оценке, что представляет собой лишь факт поверхностного учета характеристик составляющих факторов. В то же время, О.А. Корба рекреационный потенциал рассматривает как основу устойчивого территориального развития, уделяя внимание преимущественно критериям ресурсного ограничения [13].

Относительно изучения характеристик и оценки рекреационного потенциала непосредственно по водным объектам, в том числе озерам, следует отметить то, что при этом преимущественно уделяется внимание необходимости сохранения уникальных водных объектов в составе особо охраняемых природных территорий. Так, А.В. Дегтярь и др. [9] при научно-методическом обосновании сети особо охраняемых природных территорий Белгородской обл. уделяют внимание необходимости охраны озерно-болотных комплексов, а также водотоков в составе самих охраняемых территорий в целом. Аналогичный подход применен и в работе И.И. Зиганшина и Д.В. Иванова [11], в которой авторы подошли к оценке рекреационной емкости особо охраняемых озер как показатель эколого-туристского потенциала по территории Республики Татарстан. Характерно то, что в ходе оценок рекреационной емкости сославшись на публикации И.П. Шамардиной [18] и С.Э. Йоргенсена [12] они применили методику бонитировки рекреационного потенциала: рекреационная емкость водоемов зависит от площади зеркала водного объекта и количества отдыхающих на нем за сезон, с одной стороны, и объема содержащейся воды в водоеме, с другой. Характерные особенности эвтрофикации водоемов и какие-либо способы нормирования масштабов антропогенных нагрузок на них в указанной работе не рассмотрены.

Останавливаясь непосредственно по территории Республики Башкортостан, отметим то, что количество публикаций, посвященных изучению характеристик рекреационной привлекательности и рекреационной емкости озер, не многочисленно. Следует обратить внимание на работу Б.Н. Батанова и др. [2], в которой уделено внимание на значимость оценки химического состава озер. Так, ими показано то, что воды озер Башкирского Зауралья (за исключением озера Мулдаккуль) имеют в основном гидрокарбонатный кальциево-магниевый, кальциево-магниевый-натриевый, магниевый состав, геохимический тип I (содовый), минерализацию 0.20–0.87 г/л, рН 7.2–8.6. Реже их состав представлен как хлоридно-гидрокарбонатный гидрокарбонатно-сульфатный, сульфатно-гидрокарбонатный хлоридный магниевый-натриевый и натриевый. Минерализация последних типов достигает 3.89 г/л. Показано также то, что для рекреационных целей немаловажен тот факт, что многие из зауральских озер обладают значительными запасами сапропелей (до 100 млн т), пригодных в качестве лечебной грязи. Мощность их колеблется от 0.5 до 3–5 м. В настоящее время они используются в профилакториях городов Учалы и Баймак. Донные отложения озер имеют терригенный и биогенный генезис. Биогенные образования (сапропели), возникшие в результате сложных биохимических процессов, обнаружены во всех озерах тектонического генезиса. Сапропели высокозольные известковистые с влажностью 80–95% близки к оптимальной величине пелоидов, которые применяются для лечебных целей. Отдельные аспекты и характеристики использования водных объектов в целях рекреации рассмотрены и в работах Е.Н. Сайфуллиной [17], А.Ф. Нурмухаметовой, А.Ю. Хисаметдиновой [15] и др.

В то же время отметим то, что многочисленные озера республики, испытывающие продолжительную антропогенную нагрузку, включая поступление загрязняющих веществ с водосбора (пастбищ, пашен, сельских населенных пунктов и др.), также из ре-

креационных объектов, расположенных вдоль побережья самих водных объектов, в течение продолжительного времени характеризуются сложившимися высокими уровнями трофии. Следует отметить, что процессы эвтрофикации, и методические вопросы оценки трофического статуса озер республики были всесторонне изучены А.М. Гареевым еще в 90-х гг. XX в. [6]. Исследования базировались на обосновании применимости методических положений, использованных различными авторами по другим территориям бывшего СССР, и проведении полевых гидролого-экологических изысканий и определении сложившегося трофического статуса озер, расположенных в пределах Башкирского Предуралья и Зауралья. В последующем уточнялись ранее принятые методические положения и были обоснованы рекомендации по рациональному использованию и мелиорации озер как природных аквальных комплексов [4, 5].

Следует подчеркнуть, что уровень трофии выступает как один из основных показателей, отражающих экологические условия в озерах. Это обуславливается тем, что в связи с низкими показателями коэффициента внешнего водообмена, соответственно процессов смешения, разбавления и самоочищения вод в озерных системах, основами водного законодательства Российской Федерации сосредоточенный сброс сточных вод в них промышленными предприятиями и коммунально-бытовым хозяйством запрещен. В этих условиях увеличивающиеся масштабы влияния факторов, формирующихся на водосборе, включая сельскохозяйственные угодья (пашни, пастбища, животноводческие фермы и др.), количество жителей в сельских населенных пунктах и рекреационные нагрузки следует рассматривать в качестве основных факторов, влияющих на экологические условия и привлекательность водоемов для их использования в целях рекреации и туризма.

Следует обратить внимание на то, что классификация трофности водоемов по совокупности физико-химических и гидробиологических показателей, также статус олиготрофных, мезотрофных или эвтрофных озер может быть определен по таким показателям, как численность и биомасса фитопланктона, наличие диатомовых, сине-зеленых водорослей в % от общей численности, БПК<sub>5</sub>, хлорофилл "а", концентрации растворенного кислорода, аммония, нитритов, нитратов, суммы минеральных форм азота, минерального фосфора и кремния. Кроме того, в некоторых работах при оценке трофического статуса применяются показатели взаимосвязи между содержанием углерода растворенных органических веществ ( $C_{\text{ров}}$ ) и уровнем их трофии, а также в зависимости от уменьшения видов ракообразных (ветвистоусых и веслоногих рачков) и увеличения таксонов коловраток [1]. Отмечено, что эвтрофикация озер сопровождается уменьшением прозрачности в зависимости от нарастания биомассы фитопланктона и содержания хлорофилла "а" и увеличением Ph. Это свидетельствует о росте первичной продукции.

Как правило, экологические условия в водоемах формируются в условиях совокупного влияния всех факторов, относящихся к внешним (аллохтонным). Специфика их влияния на прохождение внутриводоемных (автохтонных) процессов зависит от характеристик самих водных объектов, включая такие важные показатели, как интенсивность внешнего водообмена, объем воды, площадь водного зеркала, средние глубины и т.д. Как мы обратили внимание, эти характеристики в ряде перечисленных ранее работ, направленных на оценку рекреационной значимости озер, в полной мере не учитываются. Это в принципе отражает недостаточную их обоснованность применительно к оценке показателей формирования и изменчивости экологических условий в озерах по трофическому статусу. В свою очередь, формирование и сохранность в течение продолжительного времени неблагоприятных экологических условий в большом количестве озер обуславливает необходимость не только оценки трофического статуса, но и применения методов, направленных на улучшение экологических условий (мелиорацию) посредством обоснования видов и масштабов, а также проведения тех или иных конкретных мероприятий как на водосборе, так и в самом водном объек-

те. При этом показатели рекреационной нагрузки должны рассматриваться в составе основных антропогенных факторов.

С учетом изложенного следует более подробно остановиться на оценке значимости подходов, направленных на обоснование восстановления оптимальных экологических условий в водных объектах с учетом особенностей влияния внешних и внутриводоемных факторов. С этой точки зрения наибольший интерес представляют исследования, проведенные Р. Фолленвайдером (R. Vollenweider), который впервые предпринял попытку количественно увязать состояние трофности озера с приходом биогенных веществ (азота, фосфора) с водосбора на единицу площади водоема [20]. Им была предложена модель бюджета фосфора, отражающая уровень эвтрофикации водоема в зависимости от его прихода, потерь, седиментации и расхода со стоком в зависимости от показателя проточности. Изложенные методические положения в последующем нашли развитие в работах П. Диллона и Ф. Риглера (P. Dillon, F. Rigler), которые количественные связи в системе водосбор – озеро выразили с учетом показателей средней глубины водоема, скорости водообмена и удержания фосфора в нем [19]. Ими была предложена формула

$$[P] = P_o (1 - R) / (h_{cp} K_{усл}),$$

где  $[P]$  – концентрация общего фосфора в воде водоема,  $г/м^3$ ;  $P_o$  – фосфорная нагрузка,  $г/(м^2 \cdot год)$ ;  $R$  – коэффициент удержания фосфора;  $K_{усл}$  – коэффициент условного водообмена;  $h_{cp}$  – средняя глубина, м.

Изложенные методические положения по озерам Южного Предуралья и Зауралья были впервые применены А.М. Гареевым [6], который провел расчеты по всем основным озерам, включая Асылкуль, Кандрыкуль, Белое, расположенным в Предуралье и Калкан, Ургун, Бол. Учалы, Карагайлы, Мисиле, Узункуль, Карабалыкты, Сабакты, Банное, Суртанды, Мулдаккуль, Чебаркуль, Атавды – в Зауралье. На основании применения модифицированной диаграммы Р. Фолленвайдера им был определен трофический статус указанных озер и показано, что основное их количество относилось к категории эвтрофных (Асылкуль, Калкан, Ургун, Бол. Учалы, Карагайлы, Узункуль, Карабалыкты, Мулдаккуль, Атавды). К олиготрофным (наиболее чистым) относились озера Банное и Чебаркуль, что было обусловлено, соответственно, наибольшей средней глубиной озера и относительно низким температурным режимом, а также высокими показателями проточности. Остальные озера – Белое, Кандрыкуль, Сабакты занимали промежуточное положение (мезотрофный статус).

Следует обратить внимание на то, что в настоящее время в бассейнах озер остается на высоком уровне вынос биогенных веществ с поверхности пастбищ и пашен. Происходят процессы интенсивного обмеления и заиления водных объектов, что связано и с активным развитием эрозионных процессов на водосборах. Несмотря на то, что после развала Советского Союза наблюдается некоторое уменьшение площадей эродированных земель, поступление продуктов смыва почв в озера в большом количестве продолжается. Это подтверждается и исследованиями Л.Ф. Литвина и др. [14], О.П. Ермолаева [10] и др. На указанные процессы накладывается и влияние факторов, обусловленных глобальным изменением климата. Так, на основании анализа материалов многолетних наблюдений за уровнями воды по оз. Асылкуль можно заметить то, что после установления маловодной фазы с начала 2000-х гг. по настоящее время снижение уровней воды в нем произошло в среднем на 2 м. Это отражено на рис. 1.

Как видно из указанного рисунка, изменение уровней воды, соответственно объемов озера и его средних глубин происходит циклично. В то же время, в течение последних десятилетий обнаруживается влияние регионального отклика глобального изменения климата, что отражается и на изменении составляющих уравнения водного баланса в бассейне водного объекта [4]. Наблюдения, проведенные нами в 2018–2020 гг., свидетельствуют о том, что аналогичные изменения характерны и по другим озерам изучаемой территории (Тауккуль, Ургун, Узункуль, Атавды и др.). В то же время, по от-



**Рис. 1.** Многолетняя изменчивость уровней воды в оз. Асылыкуль.

**Fig 1.** Long-term water level variability in the lake Asylykul'.

дельным озерам, таким как Асылыкуль, Канрыкуль в Предуралье и Банное (Яктыкуль) в Зауралье произошло резкое увеличение рекреационных нагрузок, что требует необходимости учета факта изменения влияющих факторов и определения трофического статуса озер при сложившихся условиях в настоящее время непосредственно.

Обобщение и анализ имеющихся методических положений, а также оценка происходящих изменений на основании проведения натурных наблюдений на водных объектах позволили нам обосновать методические положения оценки рекреационного потенциала малых и средних озер с учетом особенностей влияния указанных естественных и антропогенных факторов. Они осуществлялись на основании применения модифицированной диаграммы, предложенной Р. Фолленвайдером [20]. Как было показано ранее, она была использована также А.М. Гареевым [6] при оценке уровня трофии озер в пределах изучаемой территории по 2-м методам: на основании применения приведенных расчетных формул, а также оценки фактического трофического статуса озера. В данной работе на примере оз. Асылыкуль показаны полученные результаты, отражающие характер изменения трофического статуса озер к настоящему времени. Так, на рис. 2 показаны точки, характеризующие его трофический статус в 90-х гг. XX в. (1) и в 2020 г. (2). При этом учитывались показатели изменения морфометрических характеристик озера в расчетном интервале времени, с одной стороны, и рекреационных нагрузок, с другой. Как видно из указанного рисунка, озеро Асылыкуль, характеризовавшееся в прошлом расположением трофического статуса в переходной зоне (от мезотрофного к эвтрофному), в настоящее время отличается однозначным расположением в эвтрофной (в неблагоприятной) зоне. Аналогичные изменения были выявлены и по озерам Белое, Калкан, Ургун и Сабакты. В озерах Кандрыкуль и Банное, несмотря на произошедшие изменения морфометрических характеристик, трофический статус сохранился в пределах зон, что было характерно и в предшествующий период времени. Так, они в настоящее время соответственно относятся к категориям мезотрофных и олиготрофных озер.

Исходя из изложенного, следует констатировать то, что вопросы перспективного развития рекреации и туризма в малых и средних озерах должны рассматриваться в совокупности естественных и антропогенных факторов, формирующихся в их бассей-

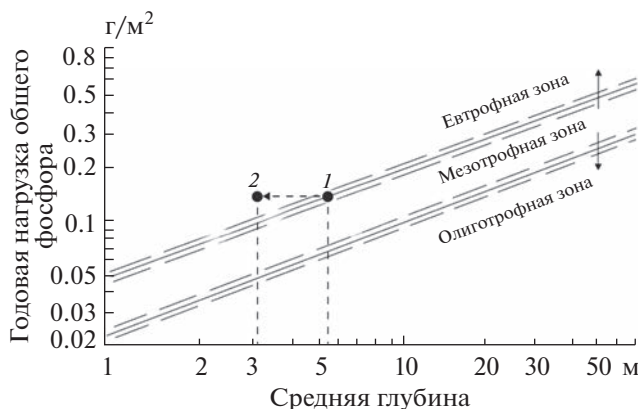


Рис. 2. Зависимость уровня трофии от фосфорной нагрузки и средней глубины озера Асылыкуль.

Fig 2. Dependence of the level of a trophic status on a phosphorous load and average depth of the lake Asylykul'.

нах и влияющих на них непосредственно. В свою очередь, потенциал, отражающий возможности дальнейшего развития рекреации и туризма, должен базироваться на сохранении, в дальнейшем и улучшении (мелиорации) экологических условий в них, принимая во внимание изложенные методические положения и реальные характеристики, отраженные на рис. 2.

Следует подчеркнуть то, что улучшение экологических условий в водоемах может быть осуществлено на основании оптимизации соотношений фосфорной нагрузки и средней глубины. При этом способы и виды мелиорации водоемов должны учитывать как сокращение поступления загрязняющих веществ биогенного происхождения (по фосфору) с водосбора в результате проведения комплекса водоохраных мероприятий, так и увеличения показателей средних глубин. Особое значение имеет предотвращение (минимизация) поступления биогенных элементов с сельскохозяйственных угодий и зон рекреаций. Однако оно связано с большими различиями в поведении основных эвтрофирующих веществ — соединений фосфора и азота в процессе стока в зависимости от их физико-химических особенностей.

В качестве основных мероприятий, направленных на экологическую реабилитацию малых и средних непроточных озер, соответственно, формирование более высокого статуса по рекреационному потенциалу следует привести:

- 1) оптимальное проведение организационно-хозяйственных мероприятий в бассейнах озер;
- 2) развитие водоохранной лесомелиорации на водосборах;
- 3) применение противоэрозионной агротехники и гидротехники;
- 4) устройство прибрежных водоохраных зон.

В структуру прибрежной водоохранной зоны должна входить система полос насаждений, которые могут сочетаться в разных вариантах в зависимости от местных условий. Прибрежная и прибрежно-водная растительность русловых полос извлекает из воды биогенные вещества и тем самым задерживает их поступление в водотоки и водоемы. Водорегулирующая полоса, расположенная на первой надпойменной террасе, выполняет наиболее важные функции перехвата поверхностного стока с сельскохозяйственных угодий и перевода его в грунтовый, задержания удобрений и продуктов эрозии почв. Тем самым, она выполняет роль природных барьеров на путях миграции загрязняющих веществ на водосборе. Склоновые насаждения должны располагаться на всех хорошо выраженных надпойменных склонах, не пригодных для сельскохозяй-

ственного использования. Эти насаждения предотвращают развитие эрозии на наиболее подверженных разрушению формах рельефа.

Верховые насаждения располагаются выше склоновых — там, где это соответствует местным условиям, выполняя в основном те же функции. Между полосами могут располагаться сельскохозяйственные угодья.

На водосборах многих озер Башкортостана развита рекреационная деятельность, как организованная (Кандрыкуль, Банное, Шамсутдин, Ургун и др.), так и неорганизованная. В связи с этим актуален вопрос о предотвращении выноса и поступления в водоемы биогенных элементов из рекреационных зон, поскольку эти вещества либо смываются с побережий в воду, либо, если зона отдыха благоустроена, поступают в водоем через канализационную систему. В последнем случае задача может решаться путем полной очистки сточных вод, прекращения их сбросов в водоемы и отведения за пределы водосбора, что пока затруднительно.

В случае же поступления в водоемы рассеянных стоков с прибрежных территорий, интенсивно освоенных неорганизованными отдыхающими, одной из мер их уменьшения может стать благоустройство участков с размещением контейнеров для сбора мусора, отходов, облегчающее в дальнейшем их вывоз за пределы водосбора.

Оптимальный метод снижения уровня трофии озер может быть выбран с учетом создания проточности, удаления донных отложений и макрофитов, предотвращения внешнего загрязнения, технического изъятия фитопланктона из водоема, создания экосистемы с высокой продукцией рыб-макрофитофагов и рыб-фитопланктофагов или повышения их уровней. Определение метода восстановления эвтрофных озер целесообразно осуществлять в конкретных условиях с учетом возможного эффекта проводимых мероприятий. Например, на основании планирования и проведения тех или иных мероприятий на водосборе можно рассчитать общее сокращение поступления фосфора, а затем с помощью имеющихся диаграмм и схем определить прогностический уровень трофии озера [4–6]. При недостаточности суммарного эффекта проводимых мероприятий можно предусмотреть проведение дноуглубительных работ и др.

В условиях достаточно резкого сокращения максимальных расходов воды во время весеннего половодья и ухудшения экологических условий в пойменных озерах восстановление их гидролого-экологического режима может быть осуществлено за счет оптимального проведения системы технических мероприятий, включая русловое зарегулирование речного стока и обеспечение выхода воды на пойму, переброску стока и др. Это, например, имеет отношение к ряду озер, расположенных в паводково-пойменных комплексах р. Белой в пределах Кармаскалинского, Уфимского, Благовещенского, Бирского и других районов. Однако эти мероприятия в Республике Башкортостан в настоящее время проводятся в крайне ограниченных масштабах.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании анализа результатов выполненного исследования следует подчеркнуть то, что при оценке рекреационного потенциала ландшафтов, в том числе малых и средних озер, особенности изменения экологических условий в водоемах во многих опубликованных работах не учитываются. Предлагаемые в ряде работ рекомендации по увеличению количества отдыхающих без проведения соответствующего гидролого-экологических обоснования масштабов их возможного влияния на состояние водных объектов в ближайшей и отдаленной перспективах могут привести к неблагоприятным ситуациям. С учетом изложенного в работе предложены методические подходы, направленные на оценку особенностей и масштабов влияния на озера совокупности естественных и антропогенных факторов. Показано то, что при этом необходимо изучать влияние как внешних, так и внутриводоемных процессов, обратив внимание на значимость экологической реабилитации водоемов как фактор, обеспечивающий ста-

бильное пользование ими, в том числе и в рекреационных целях. На примере озер, расположенных по территории Республики Башкортостан, раскрыты тенденции изменения их трофического статуса в зависимости от влияния естественных и антропогенных факторов. Подчеркнуто то, что в составе естественных наибольшее значение имеет влияние регионального отклика глобального изменения климата, антропогенных — продуктов эрозионной деятельности на водосборе, вынос нерастворенных и растворенных соединений, способствующих заилению, зарастанию и заболачиванию озер и снижение их рекреационной привлекательности. С учетом изложенного рекомендованы методы экологической реабилитации озер, что является весомым аргументом в формировании более высокого уровня рекреационного потенциала в изменяющихся социально-политических и климатических условиях.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антропогенное воздействие на малые озера. Л.: Наука, 1980. 174 с.
2. Батанов Б.Н., Абдрахманов Р.Ф., Мустафин Р.Ф. Озера и водохранилища Башкирского Зауралья, использование их в народном хозяйстве. Вестник БГАУ, 2016. № 3. С. 7–12.
3. Воронов Ю.С. Методика определения ландшафтно-рекреационного потенциала туристского региона. Смоленск, 2017. 7 с.
4. Гареев А.М. Охрана вод суши. Уфа. РИЦ БашГУ, 2021. 336 с.
5. Гареев А.М. Реки, озера и болотные комплексы Республики Башкортостан. Уфа. Гилем, 2012. 246 с.
6. Гареев А.М. Оптимизация водоохранных мероприятий в бассейне реки (географо-экологический аспект). С.Пб.: Гидрометеиздат, 1995. 190 с.
7. Гареев А.М., Хабибуллин И.Л. Естественные и антропогенные факторы активизации развития эрозионных процессов. Уфа. РИЦ БашГУ, 2010. 122 с.
8. Гудковских М.В. Методика комплексной оценки туристско-рекреационного потенциала // Географический вестник. 2017. № 1(40). С. 102–116.
9. Дегтярь А.В., Григорьев О.И. Развитие сети особо охраняемых территорий Белгородской области // Научный результат. Технологии бизнеса и сервиса. Т. 2. № 4. 2016. С. 18–29.
10. Ермолаев О.П. Новая оценка интенсивности эрозии на европейской территории России // Тридцать седьмое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов (г. Рязань, 3–7 октября 2022 г.): Доклады и сообщения. М.МГУ, 2022. С. 15–23.
11. Зиганшин И.И., Иванов Д.В. Рекреационная емкость как показатель эколого-туристского потенциала особо охраняемых озер Республики Татарстан // Территориальная и прикладная экология. 2017. № 1. С. 95–10.
12. Йоргенсен С.Э. Управление озерными системами. М.: Агропромиздат, 1985. 160 с.
13. Корба О.А. Рекреационный потенциал как основа устойчивого территориального развития. Пятигорск. ПГЛУ, 2014. 9 с.
14. Литвин Л.Ф., Кирюхина З.П., Краснов С.Ф., Добровольская Н.Г. География динамики земельной эрозии почв на европейской территории России // Почвоведение. 2017. № 11. С. 1390–1400.
15. Нурмухаметова А.Ф., Хисаметдинова А.Ю. Озеро Талкас: рекреационный потенциал и развитие оздоровительного туризма // Устойчивое развитие территорий: теория и практика. Материалы IX Всероссийской научно-практической конференции. Сибай, 2018. С. 240–242.
16. Попов А.Н. Выбор приоритетных действий, направленных на экологическую реабилитацию непроточных и слабопроточных озер // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. № 5. 2017. С. 68–89.
17. Сайфуллина Е.Н. Возможности рационального использования природного парка “Аслы-Куль” в рекреационно-туристской деятельности. Вестник АН РБ, 2018. Т. 29. № 4. С. 80–86.
18. Шамардина И.П. Борьба с антропогенной эвтрофикацией водоемов // Общая экология. Биоценология. Гидробиология. 1975. Т. 2. С. 61–99.
19. Dillon P., Rigler K. A simple method for predicting the capacity of a lake for development based on lake trophic status // J. Fish Res. Board Can., 1975. Vol. 32. № 9. P. 1519–1531.
20. Vollenweider R.A. Input – output models with special reference to the phosphorus loading concept in limnology // Schweiz. Z. Hydrol, 1975. Bd. 37. № 1. S. 53–84.

**Small and Medium-Sized Lakes: Characteristics of their Functioning at Present  
and Methodological Issues of their Recreational Potential Assessment  
(on the Example of Lakes on the Territory of the Republic of Bashkortostan)**

**A. M. Gareev<sup>1, \*</sup>, E. N. Sayfullina<sup>1, \*\*</sup>, and E. M. Galeeva<sup>1, \*\*\*</sup>**

<sup>1</sup>*Ufim University of Science and Technology (UUNiT), Ufa, Russia*

<sup>\*</sup>*E-mail: aufar.gareev@mail.ru*

<sup>\*\*</sup>*E-mail: sayfullina-75@mail.ru*

<sup>\*\*\*</sup>*E-mail: elya.galeeva2012@yandex.ru*

**Abstract**—The article reveals the main characteristics of the functioning of small and medium-sized lakes at present under the influence of a set of natural and anthropogenic factors, as well as methodological provisions for assessing their recreational potential. It is shown that the most significant negative changes in them occur especially in those regions which are characterised by high scales of influence of economic activity confined on their catchments. The main factors influencing the level of eutrophication of lakes and, consequently, their use for recreation purposes include such factors as the removal of dissolved and undissolved substances from catchments into water bodies themselves, siltation, changes in morphometric characteristics and reduction in the intensity of external water exchange. In order to justify the optimal parameters of recreational loads on the studied water bodies, the analysis of currently used methodological approaches was carried out, their advantages and disadvantages were revealed, which allowed to justify new approaches to the assessment of recreational potential of water bodies.

**Keywords:** lakes, catchment, connections, vulnerability, degradation, hydrological and ecological conditions, load, recreational potential

## REFERENCES

1. Antropogennoe vozdejstvie na malye ozero. L. Nauka, 1980.174 s.
2. Batanov B.N., Abdrahmanov R.F., Mustafin R.F. Ozero i vodohranilishcha Bashkirskogo Zaural'ya, ispol'zovanie ih v narodnom hozyajstve. Vestnik BGOU, 2016. № 3. S. 7–12.
3. Voronov Yu.S. Metodika opredeleniya landshaftno-rekreacionnogo potentsiala turistskogo regiona. Smolensk, 2017. 7 s.
4. Gareev A.M. Ohrana vod sushi. Ufa. RIC BashGU, 2021. 336 s.
5. Gareev A.M. Reki, ozero i bolotnye komplekсы Respubliki Bashkortostan. Ufa. Gilem, 2012. 246 s.
6. Gareev A.M. Optimizaciya vodoohrannykh meropriyatij v bassejne reki (geografo-ekologicheskij aspekt). S.Pb.: Gidrometeoizdat, 1995.190 s.
7. Gareev A.M., Habibullin I.L. Estestvennye i antropogennye faktory aktivizacii razvitiya erozionnykh processov. Ufa. RIC BashGU, 2010. 122 s.
8. Gudkovskih M.V. Metodika kompleksnoj ocenki turistsko-rekreacionnogo potentsiala // Geograficheskij vestnik. 2017. № 1(40). S. 102–116.
9. Degtyar' A.V., Grigor'ev O.I. Razvitie seti osobo ohranyaemykh territorij Belgorodskoj oblasti // Nauchnyj rezul'tat. Tekhnologii biznesa i servisa. T. 2. № 4. 2016. S. 18–29.
10. Ermolaev O.P. Novaya ocenka intensivnosti erozii na evropejskoj territorii Rossii // Tridcat' sed'moe plenarnoe mezhdunarodnoe koordinacionnoe soveshchanie po probleme erozionnykh, ruslovykh i ust'evykh processov (g. Ryazan', 3–7 oktyabrya 2022 g.): Doklady i soobshcheniya. M.MGU, 2022. S. 15–23.
11. Ziganshin I.I., Ivanov D.V. Rekreatcionnaya emkost' kak pokazatel' ekologo-turistskogo potentsiala osobo ohranyaemykh ozer Respubliki Tatarstan // Territorial'naya i prikladnaya ekologiya. № 1. 2017. S. 95–10.
12. Jorgensen S.E. Upravlenie ozernymi sistemami. M.: Agropromizdat, 1985.160 s.
13. Korba O.A. Rekreatcionnyj potentsial kak osnova ustojchivogo territorial'nogo razvitiya. Pyatigorsk. PGLU, 2014. 9 s.
14. Litvin L.F., Kiryuhina Z.P., Krasnov S.F., Dobrovol'skaya N.G. Geografiya dinamiki zemledeľcheskoj erozii pochv na evropejskoj territorii Rossii // Pochvovedenie. 2017. № 11. S. 1390–1400.
15. Nurmuhametova A.F., Hisametdinova A.Yu. Ozero Talkas: rekreatcionnyj potentsial i razvitie ozdorovitel'nogo turizma // Ustojchivoe razvitie territorij: teoriya i praktika. Materialy 1H Vse-rossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii.Sibaj, 2018. S. 240–242.

16. Popov A.N. Vybory prioritnykh deystvij, napravlennykh na ekologicheskuyu reabilitaciju neprotochnykh i slaboprotochnykh ozer // *Vodnoe hozjajstvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie*. № 5. 2017. S. 68–89.
17. Sajfullina E.N. Vozmozhnosti racional'nogo ispol'zovaniya prirodnogo parka "Asly-Kul" v rekreacionno-turistskoj deyatel'nosti. *Vestnik AN RB*, 2018. Tom 29. № 4. S. 80–86.
18. Shamardina I.P. Bor'ba s antropogennoj evtrofikaciej vodoemov // *Obshchaya ekologiya. Biocenologiya. Gidrobiologiya*. 1975. T. 2. S. 61–99.
19. Dillon P., Rigler K. A simple method for predicting the capacity of a lake for development based on lake trophic status // *J. Fish Res. Board Can.*, 1975. Vol. 32. № 9. P. 1519–1531.
20. Vollenweider R.A. Input – output models with special reference to the phosphorus loading concept in limnology // *Schweiz. Z. Hydrol*, 1975. Bd. 37. № 1. S. 53–84.