УДК 627.4, 656.65

РАЗРАБОТКА РУСЛОВЫХ И ПОЙМЕННЫХ КАРЬЕРОВ НА Р. ВЕРХНЕЙ БЕЛОЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ДЕФОРМАЦИИ РУСЛА И УСЛОВИЯ СУДОХОДСТВА

Ю.Е. Воронина

Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия
yulez@yandex.ru

Поступила в редакцию 27.01.2025
После доработки 20.02.2025
Принята к публикации 25.02.2025

Аннотация. Аннотация. Ухудшение гидрологических и судоходных условий, снижение обеспеченности гарантированных глубин на р. Верхняя Белая является следствием активной работы по добыче нерудных строительных материалов на существующих карьерах. Карьерные разработки, проводимые в пойме реки, через некоторое время из-за ненадлежащего укрепления береговой полосы переходят в разряд русловых, тем самым начиная активно влиять на гидравлику потока. Из-за большого количества карьеров произошли значительные деформации русла реки. Система плес-перекат нарушена, и русло неспособно держать уровни воды на естественных отметках, что приводит к посадке уровня на участке. Для восстановления нормального хода русловых процессов и естественного уровня воды в реке необходимо длительное время и практически полный отказ от карьерных выработок в русле

Ключевые слова: русловой карьер, вертикальная деформация, уровень воды, судоходство

DOI: 10.71367/3034-4638-2025-2-2-58-67

Русло и пойма р. Верхняя Белая подвержены значительному антропогенному воздействию. К нему относится интенсивная добыча песчано-гравийной смеси (ПГС) из русла и на пойме, а также строительство мостовых переходов.

Добыча ПГС из русла проводится в течение многих десятилетий. Однако достоверной документации об объемах добычи и местоположении до 1983 г. не имеется. В настоящее время разработка карьеров ведется постоянно и с каждым годом интенсифицируется. На планах русловых съемок часть карьеров обозначены соответствующими подписями, некоторые карьеры не имеют ни названия, ни пояснения в виде надписи «карьер» (рис. 1). Однако характер изменения очертания русла ярко демонстрирует наличие грунта, извлекаемого из русла реки. Причем если в начальный период извлечение велось в пределах поймы, то в последующем разработка производилась уже в самом русле.

Для установления наличия в русле и на пойме Верхней Белой реальных карьерных разработок детально проанализированы планы русловых съемок за 2011, 2017 и 2023 гг. Анализ планов путем их сопоставления по годам позволил оценить реальные масштабы карьерных разработок в русле, как учтенных, так и «завуалированных», появившихся в русле реки по неизвестным причинам. Оценка проводилась при сравнении местоположения карьеров в плане и их приближенных параметров (длины, ширины и возможной глубины) за 2011–2023 гг. Кроме того, дана характеристика состояния карьерных участков за рассматриваемые годы с динамикой изменения параметров и возможными причинами этих изменений. Выборочные и наиболее значимые результаты анализа приведены в табл. 1 и на рис. 1–4.

Как выявлено по русловым съемкам до 2017 г., на участке р. Верхней Белой от устья р. Сим до устья р. Уфы карьерные разработки не ведутся на верхнем участке 46–76 км судового хода. Все выемки грунта производятся на нижнем участке, ближе к г. Уфе и основным потребителям. Однако в 2023 г. выявлен факт подготовки выпуклого берега русла к карьерной разработке на 68 км судового хода путем возведения заградительных сооружений и подготовки береговой полосы к последующим работам.

Таблица 1. Характеристика наиболее активных карьеров (Р — русловых, П — пойменных) на р. Верхней Белой от устья р. Сим до устья р. Уфы за 2011, 2017 и 2023 гг.

Table 1. Characteristics of the most active quarries (Р — channel, П — floodplain) on the Belaya River from the mouth of the Sim River to the mouth of the Ufa River for 2011, 2017 and 2023

№ п/п	Название карьера	Км судового хода	Положение относительно судового хода	Тип	Максимальная глубина по русловым съемкам, м			Приблизительные параметры в плане (длина, ширина), м			Состояние карьера, его изменения			Рис. №
					2011	2017	2023	2011	2017	2023	2011	2017	2023	–
1	–	76.5–46.5	Карьеры отсутствуют*											–
2	Без названия	46.0	слева	П/Р	1.7	11.0	9.21	300 × 200	600 × 200	600 × 200	След от пойменного карьера	Возможная повторная разработка. Переход из разряда П в Р	Повторная разработка верхней части на 4.5 м, в нижней части на 2.5 м. Средняя часть с потерей глубны на 1.8 м	1
3	ООО «Башстройресурс»	42.0 (41–43 км в 2023 г.)	слева/ посередине русла	П/Р	6.9	4.7	9.47–10.17	850 × 230	900 × 230	1800 × 230	П, врезанный в выпуклый берег	Полная срезка выпуклого берега, переход из разряда П в Р	Дополнительно две новые карьерные разработки по всей ширине русла на 41 и на 43 км с глубиной до 8 м	2
4	Без названия	31	посередине русла	Р	–	–	7.46	–	–	100 × 180	–	–	Новая карьерная разработка глубиной 5.5 м по всей ширине русла	3
5	МУП «Дирекция по строительству п. Нагаево»	29	справа	Р/П	2.5	2.5	–	660 × 100	700 × 210	–	След от пойменной части карьера. Значительная разработка русловой части со срезкой выпуклого берега	Занесенность русловой части карьера, значительная разработка пойменной, из-за чего размылся выпуклый бе-рег ниже по течению	Устройство системы полузапруд для возможного укрепления выпуклого берега, либо последующая разработка пойменного карьера	4

* В 2023 г. на 68 км судового хода выявлена подготовка к разработке руслового карьера у выпуклого берега.

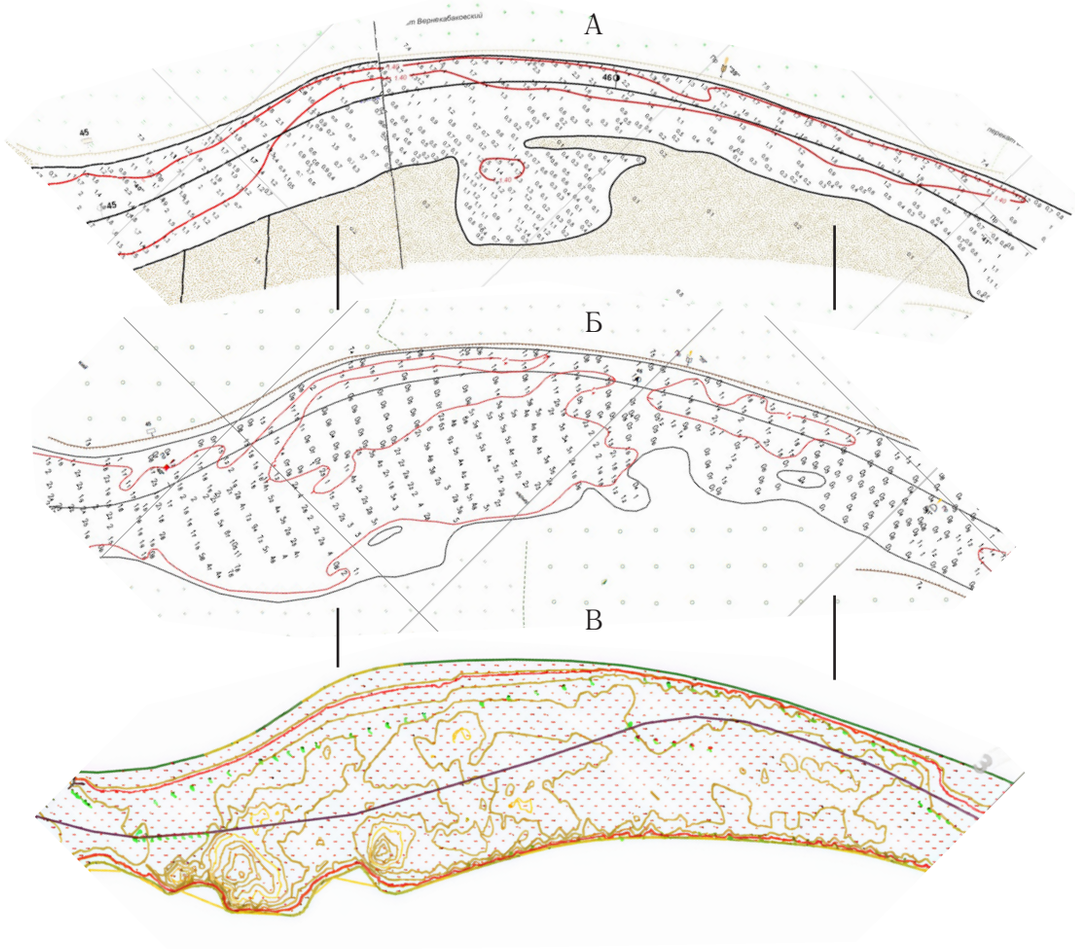

Рис. 1. Сопоставленные планы карьеров на 45–46 км судового хода: А – 2011 г.; Б – 2017 г.; В – 2023 г.

Fig. 1. Comparative plans of quarries at 45–46 km of the shipping lane: A – 2011; Б – 2017; В – 2023

В 2017 г. на участке в 46 км расположено 20 карьеров. К 2023 г. численность карьеров увеличена до 25, а на существующих карьерах ведется активное извлечение грунта с параметрами, значительно большими как в плане, так и по глубине.

По результатам анализа выявлено, что карьеры, изначально разрабатываемые в пойме реки без должного укрепления целика, а также пойменные карьеры, расположенные на крутых поворотах русла и имеющие значительные размеры, переходят в русловые естественным путем вследствие деформаций русла или повторных разработок в течение длительного срока (Оценка возможности разработки..., 2023).

К основным значимым результатам анализа можно отнести:

1. Плотность расположения карьеров на рассматриваемом участке Верхней Белой неравномерна. Все карьеры располагаются на 0–46 км судового хода. Таким образом, расстояние по длине реки между карьерами составляет от 0.5 до 9 км при средней величине 2.5 км.

2. Выявлено 40% (10 из 25) от общего числа карьеров, каким-либо образом не зафиксированных документально в привязке к картам реки, что скорее всего говорит о неправомерности извлечения грунта на участке. Кроме того, выявлено «злоупотребление» параметрами карьеров у организаций путем дополнительных разработок в середине русла реки (см. рис. 2, 3).

3. Все пойменные карьеры, располагаемые на выпуклых берегах излучин русла без должного укрепления целиков, изменили вид, перейдя в форму русловых карьеров (см. рис. 1), что оказывает значительное влияние на гидравлику потока, деформации русла и уровни воды.

4. Системы полузапруд до 2011 г. работали для поддержания глубин в русле р. В. Белая. В более поздний период новое устройство систем выправительных сооружений направлено лишь на рост

Рис. 2. Сопоставленные планы руслового карьера ООО «Башстройресурс» и пойменного карьера Сыркуль на 42 км судового хода: А – 2011 г.; Б – 2017 г.; В – 2023 г.; Г – предполагаемые границы карьера ООО «Башстройресурс» глубиной более 4 м (красные зоны); Д – космоснимок Google карьера Сыркуль, 2023 г.

Fig. 2. Comparative plans of the channel quarry of Bashstroyresurs LLC and the floodplain quarry Syrkul at 42 km of the shipping canal: А – 2011; Б – 2017; В – 2023; Г – the expected boundaries of the quarry of Bashstroyresurs LLC with a depth of more than 4 m (red zones); Д – Google satellite image of the Syrkul quarry, 2023

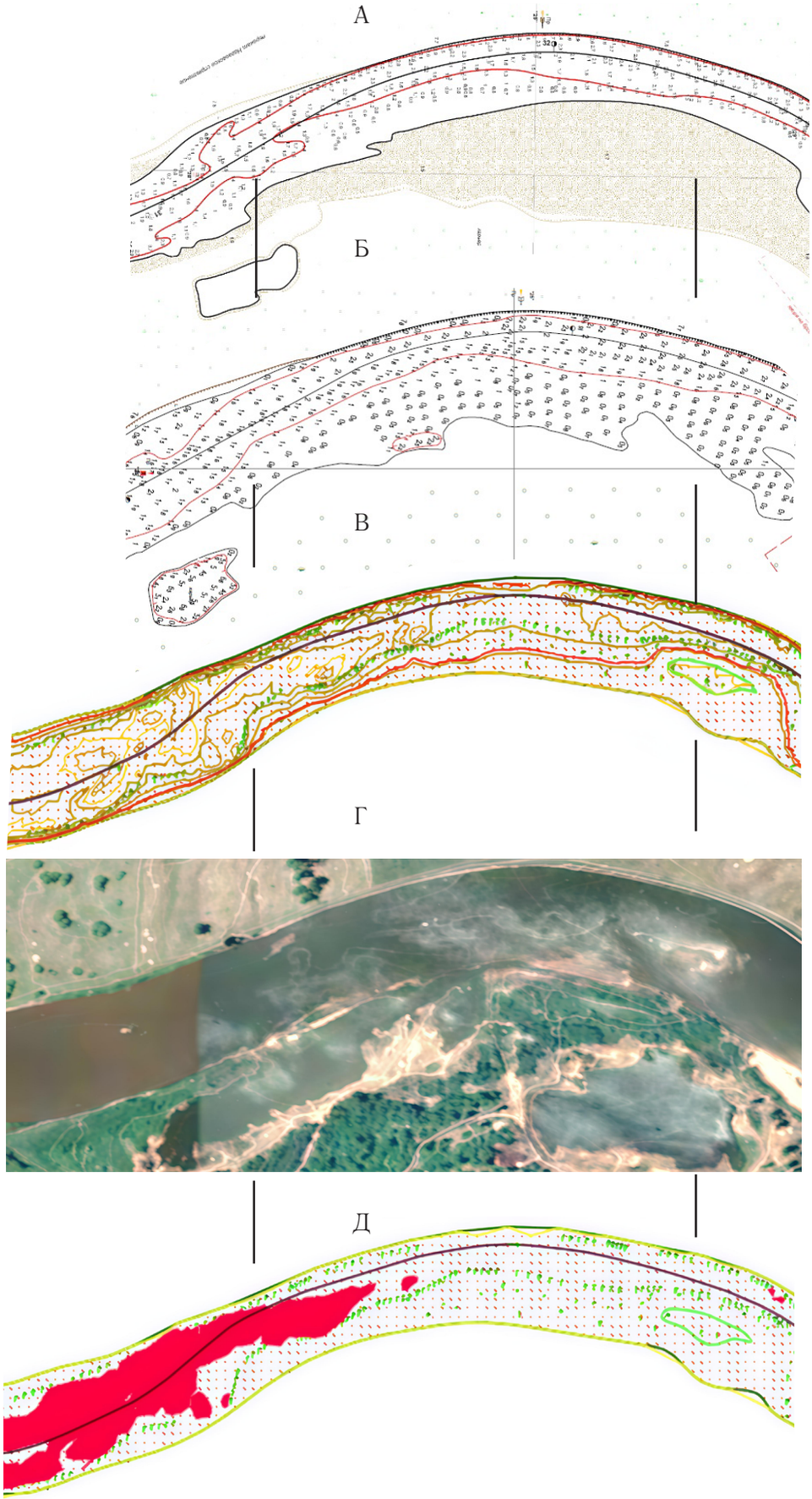

Рис. 3. Сопоставленные планы возможного руслового карьера у левого берега, пойменного карьера на 31–32 км судового хода и карьерной разработки в середине русла: А – 2011 г.; Б – 2017 г.; В – 2023 г.; Г – космоснимок Google пойменного карьера на 31–32 км за 2023 г.; Д – выявленные границы карьера по увеличенной глубине более 4 м (красные зоны)

Fig. 3. Comparative plans of a possible channel quarry near the left bank, a floodplain quarry at 31–32 km of the shipping channel and quarry development in the middle of the channel: А – 2011; Б – 2017; В – 2023; Г – Google satellite image of the floodplain quarry at 31–32 km in 2023; Д – identified quarry boundaries at increased depths of more than 4 m (red zones)

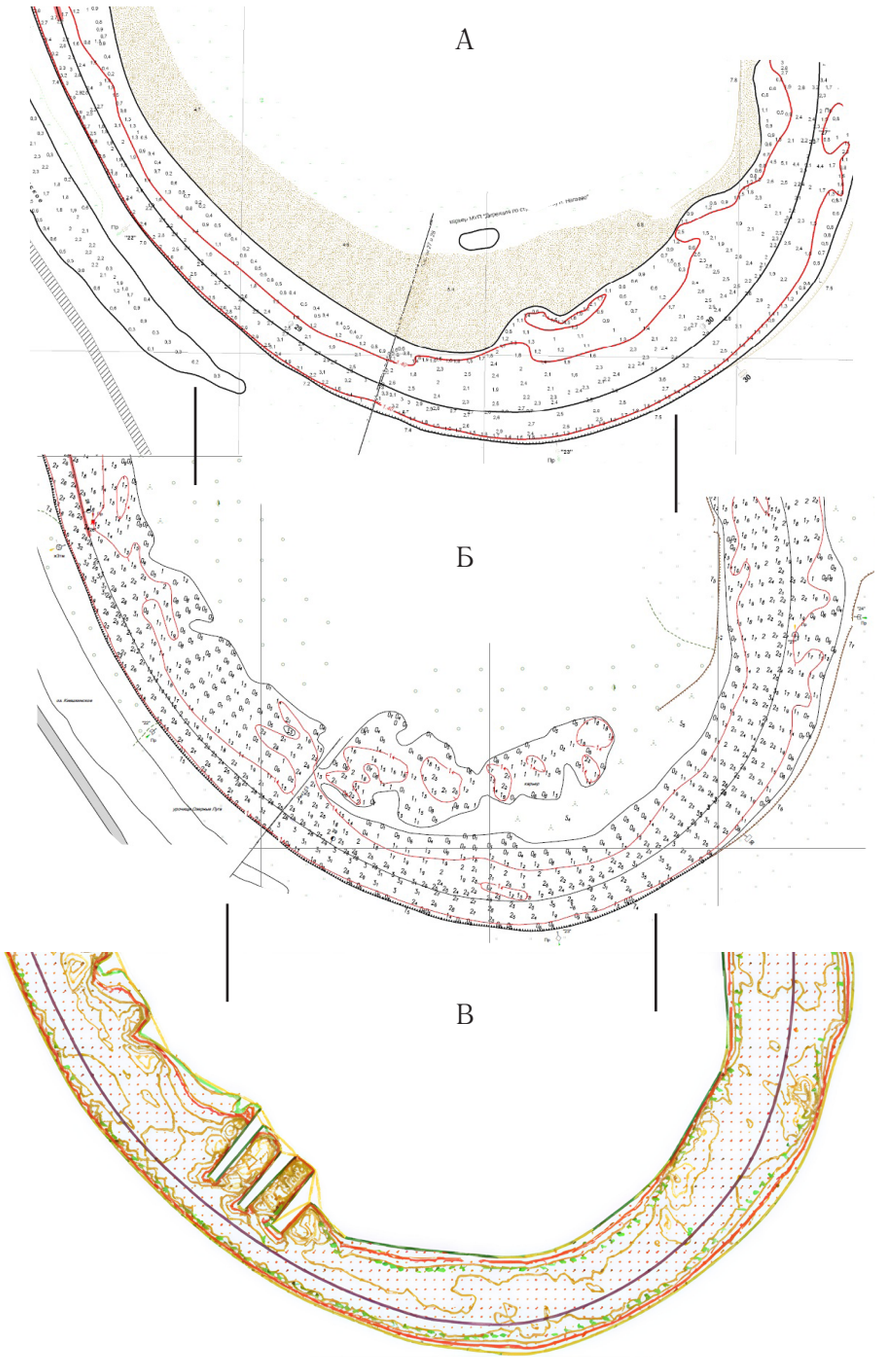

Рис. 4. Сопоставленный план карьера МУП «Дирекция по строительству п. Нагаево» на 30 км судового хода: А – 2011 г.; Б – 2017 г.; В – 2023 г.

Fig. 4. Comparative plan of the quarry of the Municipal Unitary Enterprise "Directorate for Construction of the Settlement of Nagaevo" at 30 km of the shipping canal: А – 2011; Б – 2017; В – 2023

выпуклых берегов излучин для их последующих разработок (см. рис. 4).

Построение совмещенных продольных профилей позволяет выявить вертикальные деформации русла, которые заключаются в намыве и размыве перекатов и изменении их отметок. Кроме того, по совмещенным продольным профилям можно оценить общее изменение в параметрах русла, связанное с его трансформацией (в системе «плёс–перекат»).

Для анализа вертикальных деформаций использовались планы русловых съемок р. Верхней Белой за характерные годы. Совмещенные продольные профили за 2011 и 2017 гг. показаны на рис. 5.

Анализ продольных профилей выявил преобладание зон размыва русла по отношению к зонам аккумуляции наносов. При этом аккумуляции наблюдаются на перекатных участках, а размыв дна – в глубоких плёсовых лощинах. Такие деформации, по-видимому, объясняются как оползанием откосов в карьерные ямы, расположенные близко к судовому ходу в районе плёсовых лощин, так и формированием нового трансформированного русла. При такой динамике изменений в продольных

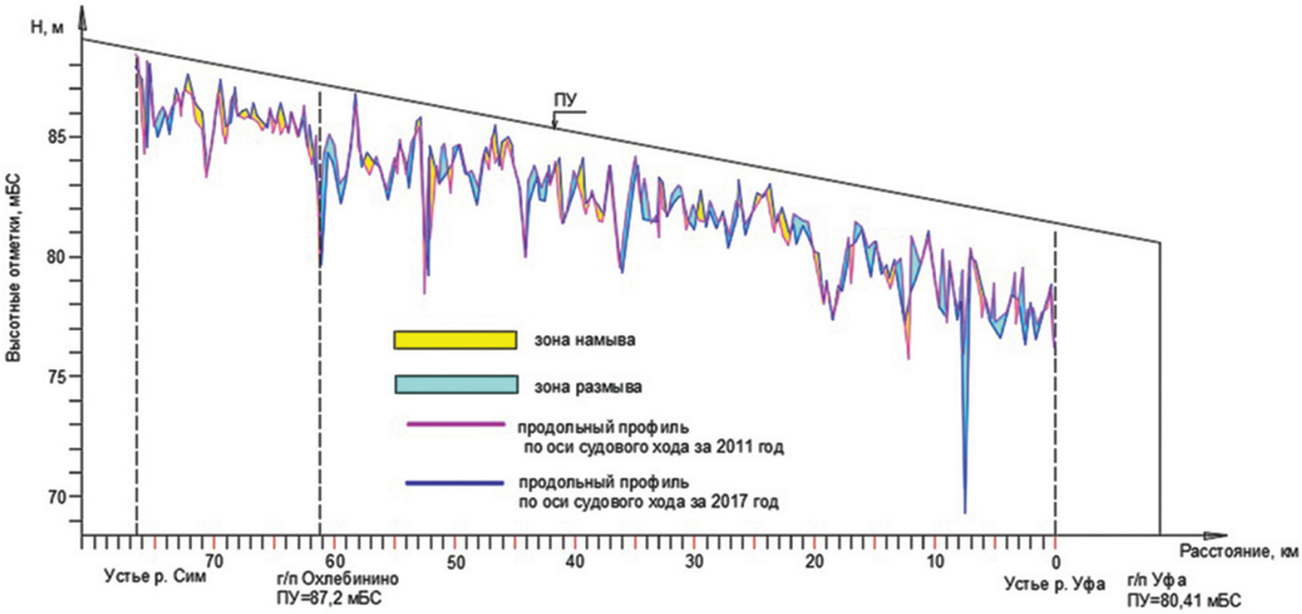

Рис. 5. Совмещенный продольный профиль русла р. Верхней Белой по оси судового хода от устья р. Уфы до устья р. Сим за 2011 и 2017 гг.

Fig. 5. Combined longitudinal profile of the Verkhnyaya Belaya River channel along the axis of the shipping channel from the mouth of the Ufa River to the mouth of the Sim River for 2011 and 2017

профилях создается ярко выраженное разделение русла по длине на отдельные участки, границами которых служат мелководные перекаты. Таким образом, русло трансформируется на так называемое каскадное разделение, где глубоководные участки с относительно малыми скоростями и соответственно небольшими уклонами свободной поверхности чередуются со сравнительно короткими участками переливов воды из одного искусственно созданного «бассейна» в другой, расположенный ниже по участку реки. Местами переливов служат мелководные перекаты, где вследствие значительного уменьшения площадей поперечного сечения в русле при прохождении одного и того же расхода, что и выше по течению, создаются большие скорости потока. Перекаты начинают работать как естественные подводные водосливы в стадии коротких лотков. Энергия потока в сжатом сечении переката недостаточна для плавного преодоления сопротивления на нем. Поток непосредственно за гребнем переката переходит из «бурного» состояния через прыжок-волну в спокойное состояние на участок ниже по течению. Описанная картина схожа по принципу движения потока через донный водослив, работающий в стадии отогнанного прыжка. Причем поток успокаивается, достигая максимальных глубоких мест за перекатами. Так, например, проходя перекат Нижнекиешкинский, расположенный на 24 км судового хода, поток, переливаясь через гребень, по инерции «добегает» до 18 км, после чего скорости замедляются и уклоны уменьшаются. Похожая картина наблюдается и на других мелководных перекатах.

В целом наибольшие деформации дна, связанные как с карьерными разработками, так и с естественными эрозионными процессами, наблюдаются на нижнем участке 0–18 км судового хода, где образуется нижний из каскадов «бассейна».

Сопоставление площадей зон размыва и намыва по совмещенному профилю (рис. 5) показало общее увеличение емкости русла по отметкам дна на 28% за шесть лет (2011–2017 гг.). Ввиду того, что дноуглубительные работы на транзите р. Верхней Белой ведутся эпизодически, не ежегодно, увеличение объема русла происходит в основном за счет карьерных разработок, интенсивно проводимых в реке.

Анализ совмещенного продольного профиля по оси судового хода за период 2017–2023 гг. (рис. 6) показал значительную разработку русла в глубину уже и в районе основного стрежня потока. Причем наиболее сильные деформации размыва наблюдаются на участке 9–46 км судового хода, где сосредоточены все русловые карьеры. Если за предыдущий период увеличение емкости русла по всей ширине реки составило 28%, то за второй период (с 2017 по 2023 г.) только по оси судового

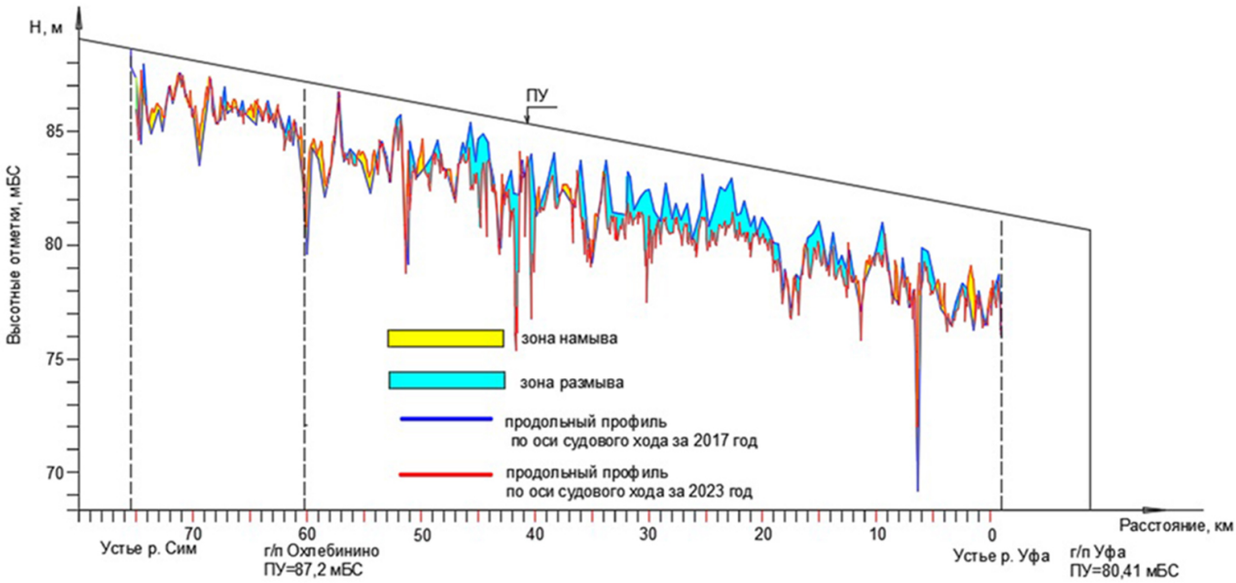

Рис. 6. Совмещенный продольный профиль русла р. Верхней Белой по оси судового хода от устья р. Уфы до устья р. Сим за 2017 и 2023 гг.

Fig. 6. Combined longitudinal profile of the Verkhnyaya Belaya River channel along the axis of the shipping channel from the mouth of the Ufa River to the mouth of the Sim River for 2017 and 2023

хода общее увеличение глубин было 33%, а при анализе изменения емкости всего русла на рассматриваемом участке 0–76 км судового хода выявлено, что оно увеличилось на 13%. Такое существенное увеличение параметров ложа реки является результатом чрезмерного неконтролируемого извлечения грунта при выполнении карьерных работ. Если раньше (до 2017 г.) карьеры увеличивали русло только за счет разработки береговой полосы, то в последнее время карьеры стали углублять и судовой ход, и русло в целом. Система «плёс–перекат» полностью нарушена, что неизбежно приводит к «неспособности» реки держать уровень воды на естественных отметках и к значительным его посадкам.

Пропускная способность водного пути определяет величину грузо- и судопропускной способности флота. По габаритам судового хода участок р. Верхней Белой от устья р. Уфы до устья р. Сим разделен на две части. Нижняя по течению часть 0–32 км относится к 3 классу рек с гарантированными габаритами по глубине 1.2 м, однако проектный уровень воды здесь не выдерживается и фактически глубины, назначаемые от указанного уровня, в период навигации не выдерживаются. В вышерасположенной части 32–76.5 км гарантированные габариты судового хода не установлены.

Полученное расчетным путем (Руководство..., 1978) значение возможной достигаемой судоходной глубины с учетом гидравлических особенностей русла в реальных условиях с учетом наличия всех русловых карьеров на участке составляет

$$T_{сх}^{max} = 1.215 \text{ м}.$$

Оно меньше, чем необходимая глубина 1.4 м (с учетом технологии дноуглубительных работ, связанных с переуглублением русла в виде запаса на неровность выработки – 0.15–0.2 м) (Инструкция..., 1989).

С учетом того, что длительное время на участке ведутся карьерные разработки, повлекшие за собой посадку уровня воды более чем на 1 м относительно проектного уровня, достижение и, самое главное, удержание гарантированных глубин судового хода 1.2 м на участке не представляется возможным. Достижение расчетного параметра глубины 1.4 м (с учетом запаса на неровность выработки) возможно лишь после длительного периода восстановления русла в его естественных параметрах. Появившаяся в результате интенсивных карьерных работ посадка привела к исчерпанию возможностей реки устойчиво выдерживать гарантированные для судоходства глубины на протяжении всего участка.

Соблюдение гидравлически допустимой глубины является сложной задачей восстановления естественного уровня воды на участке. Этого можно достичь лишь полным отказом от разработки русловых карьеров либо их сильным сокращением. В противном случае достичь и удержать судоходную глубину 1.2 м на всем участке от устья р. Уфы до устья р. Сим не получится.

При одномоментном значительном увеличении гарантированной глубины проявится локальное понижение уровня воды на отдельных перекатах участка с распространением вверх по течению практически на пять длин судоходных прорезей (Воронина, 2004). Тогда для нормализации соотношения «глубина — проектный уровень с нормируемой обеспеченностью» появится необходимость понижения проектного уровня. В итоге понижение отметки дна позволит увеличить транзитную глубину лишь в части от заявленной.

Задача определения целесообразности достижения максимально возможной глубины решается путем экономической оценки мероприятий по производству путевых работ на участке и технических возможностей хозяйствующих подразделений Администрации бассейна, а также полным контролем проводимых в русле карьерных работ как по местоположению, глубине разработки, так и по плановым параметрам.

Кроме того, влияние дноуглубительных работ может существенно возрасти при реализации программы по установлению гарантированной глубины на всем исследуемом участке р. В. Белая, поскольку они могут спровоцировать увеличение доли посадки уровня воды. С учетом этого одновременная интенсивная добыча НСМ из русла реки и проведение дноуглубительных работ невозможны из-за их совместного значительного влияния на уровенный режим.

Таким образом, на р. В. Белая для восстановления судоходства необходимо обеспечить минимизацию неблагоприятного воздействия добычных работ на состояние пойменно-руслового комплекса путем полного отказа от карьерных работ либо существенного их сокращения. Это должно способствовать восстановлению русла реки и повышению устойчивости судового хода в части обеспечения гарантированной глубины на нем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Оценка возможности разработки действующих карьеров и выделения участков для разведки и последующей разработки карьеров по добыче нерудных строительных материалов с учетом обеспечения устойчивости судового хода и недопустимости посадки уровня воды в существующих условиях на реке Верхняя Белая. Том 1. Отчет по НИР. Н. Новгород: ВГУВТ, 2023. 276 с.

Руководство по методам расчета планирования и оценке эффективности путевых работ на свободных реках. М.: Транспорт, 1978. 104 с.

Отчет о научно-исследовательской работе «Переработать руководство по проектированию коренного улучшения судоходных условий на затруднительных участках свободных рек (заключительный)». Л.: ЛИВТ. 1990. 418 с.

Инструкция по землечерпательным работам / Минречфлот РСФСР. М.: Транспорт, 1989. 64 с.

Воронина Ю.Е. Канализирование русел судоходных рек с целью повышения безопасности судоходства. Дисс. ... канд. техн. наук. Н. Новгород: ВГАВТ. 2004. 181 с.

ОБ АВТОРЕ

Воронина Юлия Евгеньевна, доцент, к.т.н., доцент кафедры водных путей и гидросооружений, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»)

603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: yulez@yandex.ru

DEVELOPMENT OF CHANNEL AND FLOODPLAIN QUARRY ON THE VERKHNYAYA BELAYA RIVER AND THEIR INFLUENCE ON CHANNEL DEFORMATIONS AND NAVIGATION CONDITIONS

Yu.E. Voronina

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. Active work on the extraction of non-metallic building materials in existing quarries leads to deterioration of hydrological and navigation conditions. On the upper part of the Belaya River, the provision of guaranteed depths is reduced. Significant deformations of the river bed occurred due to the large number of quarries. A long period of time and almost complete abandonment of quarry workings in the riverbed is needed to restoring the natural course of riverbed processes and the water level in the river.

Keywords: riverbed quarry, vertical deformation, water level, navigation

REFERENCES

Ocenka vozmozhnosti razrabotki dejstvuyushhix karʼerov i vyʼdeleniya uchastkov dlya razvedki i posleduyushhej razrabotki karʼerov po dobyʼche nerudnyʼx stroiteľnyʼx materialov s uchetom obespecheniya ustojchivosti sudovogo xoda i nedopustimosti posadki urovnya vodyʼ v sushhestvuyushhix usloviyax na reke Verhnyaya Belaya. Tom 1. Otchet po NIR. N. Novgorod: VGUVT, 2023. 276 s.

Rukovodstvo po metodam rascheta planirovaniya i ocenke eʼffektivnosti putevyʼx rabot na svobodnyʼx rekax. M.: Transport, 1978. 104 s.

Otchet o nauchno-issledovateľskoj rabote «Pererabotatʼ rukovodstvo po proektirovaniyu korennogo uluchsheniya sudoxodnyʼx uslovij na zatrudniteľnyʼx uchastkax svobodnyʼx rek (zaklyuchiteľnyʼj)». L.: LIVT. 1990. 418 s.

Instrukciya po zemlecherpateľnyʼm rabotam / Minrechfilot RSFSR. M.: Transport, 1989. 64 s.

Voronina Yu.E. Kanalizirovanie rusel sudoxodnyʼx rek s ceľyu povyʼshenie bezopasnosti sudoxodstva. Diss. ... kand. tex. nauk. N. Novgorod: VGAVT. 2004. 181 s.

ABOUT THE AUTHOR

Yulia E. Voronina, PhD in Associate Professor of the Department of waterways and hydraulic structures, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951