

УДК 627.4, 574.65
DOI: 10.37890/jwt.vi72.297

Обоснование гидравлической возможности установления гарантированных габаритов судового хода на участке р. Кама от с. Бондюг до пгт Керчевский

М.В. Шестова¹
М.А. Решетников¹
ORCID: 0000-0002-8492-0052

¹*Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия*

Аннотация. Установление гарантированных габаритов судового хода требует системного подхода. Увеличение глубины водотока вызывает посадку уровня воды, что может отрицательно сказаться на уровненом режиме водного объекта и экологической обстановке региона. Для участка реки Кама от с. Бондюг до пгт. Керчевский проведены исследования возможности установления гарантированной глубины 1,3 м для экспедиционного и навигационного периодов. В рамках исследований выявлена возможность установления гарантированных габаритов на Верхней Каме от с. Бондюг до пгт. Керчевский с учетом проведения дноуглубительных и выправительных работ только на продленный экспедиционный период навигации.

Ключевые слова: гидрологический режим, гарантированные габариты, судоходные условия, дноуглубительные работы, выправительные работы, лимитирующий перекап, посадка уровня воды.

Substantiation of the hydraulic possibility of establishing guaranteed ship's course dimensions on the Kama section from the village of Bondyug to the village Kerchevsky

Marina V. Shestova¹
Maksim A. Reshetnikov¹
ORCID: 0000-0002-8492-0052

¹*Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia*

Abstract. The establishment of guaranteed ship's course dimensions requires a systematic approach. An increase in the watercourse depth causes water level landing, which can negatively affect the level regime of the water body and the ecological situation of the region. For the section of the Kama River from the village of Bondyug to the village Kerchevsky the authors conducted the research of the possibility of establishing a guaranteed depth of 1.3 m for the expedition and navigation periods. As part of the research, the possibility of establishing guaranteed dimensions on the Upper Kama from the village of Bondyug to the village Kerchevsky was revealed with regard to dredging and straightening works only for the extended expedition period of navigation.

Keywords: hydrological regime, guaranteed dimensions, navigable conditions, dredging, straightening, limiting rolling, landing of the water level.

Введение

Объектом исследования являлся участок р. Кама от с. Бондюг до пгт. Керчевский протяженностью 77 км (рис. 1). В настоящее время судоходство на исследуемом участке осуществляется лишь в весенний полноводный период после очищения реки ото льда. При этом участок пути используется для вывоза продуктов лесопереработки, буксировки леса в плотках в период до 25 суток. Гарантированные габариты судового хода на исследуемом участке р.Кама не установлены и не поддерживаются. При этом потенциал и потребность в увеличении объемов грузоперевозок в регионе имеется.

В ходе выполнения исследований был предложен вариант с продлением навигации до 50 суток и для этого временного промежутка были обоснованы гарантированные габариты: глубина 1,3 м, ширина 60 м, радиус закругления 600 м. В качестве проектного уровня воды был принят и обоснован расчетный уровень воды 80% обеспеченности.

Для обеспечения гарантированных габаритов судового хода на исследуемом участке был разработан комплекс путевых работ, включающий дноуглубление и возведение выправительных сооружений. При этом было выделено восемь проблемных водных узлов на следующих километрах судового хода р. Кама: 7-11, 23, 28-35, 41, 43-46, 51-53, 56 и 75-77 км. Для каждого из восьми затруднительных участков разработана схема коренного улучшения судоходных условий, включающая проведение дноуглубительных или выправительных работ.

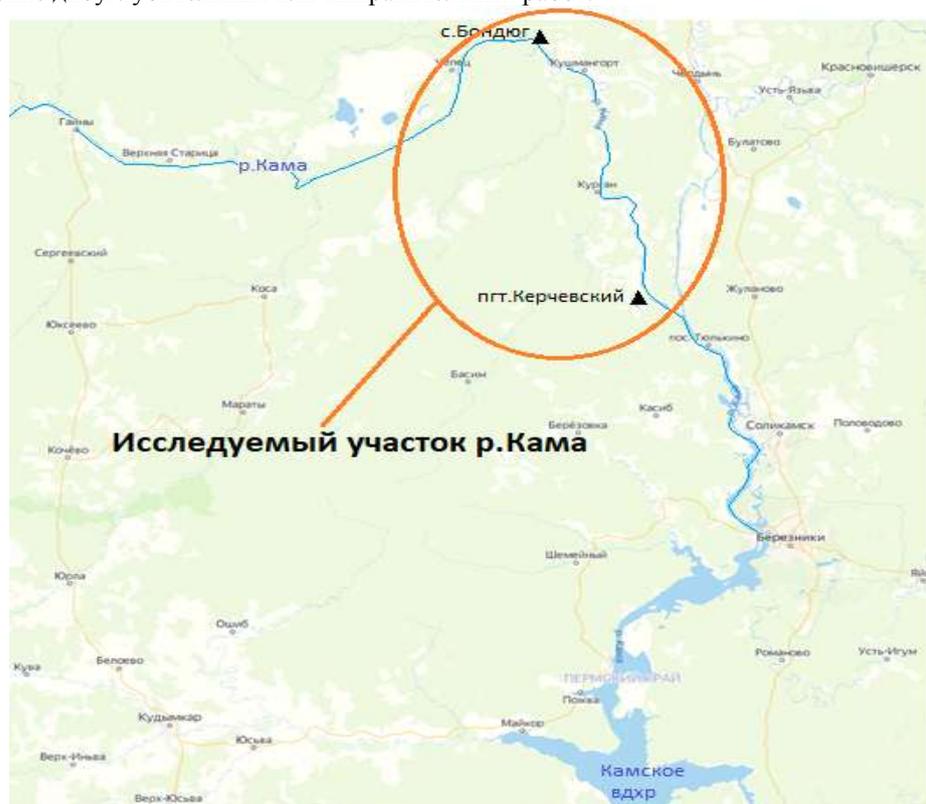


Рис. 1. Ситуационный план бассейна р. Кама

Однако определяющим в предложенном проекте улучшения судоходных условий на исследуемом участке р.Кама является обоснование гидравлической возможности установления гарантированных габаритов с учетом проведения дноуглубительных и выправительных работ и, в первую очередь, это касается прогноза возможной посадки уровня воды в пределах участка, где эти работы производятся. Оценка влияния на уровень воды в пределах участка, где эти работы производятся. Оценка влияния на уровень воды в пределах участка, где эти работы производятся. Оценка влияния на уровень воды в пределах участка, где эти работы производятся.

- 1 - гарантированные габариты поддерживаются в продленном экспедиционном периоде навигации (до 50 суток).
- 2 - гарантированные габариты обеспечиваются в течение всей навигации при осуществлении меженных расходов воды.

Оценка влияния дноуглубительных работ на гидрологический режим реки

В качестве исходного планового материала для выяснения конфигураций поперечных сечений русла и определения расстояний между ними были использованы планы русловых съемок, выполненные Бельским РВПиС в 2021г.

Расчетный участок реки Кама (с. Бондюг - пгт. Керчевский) общей протяженностью 77 км был разбит на расчетные участки различной длины 82 сечениями. Нумерация сечений производилась снизу вверх против течения; начальное сечение №1 расположено на 2,43 км (г/п Керчевский), а №82 – на 77км (г/п Бондюг).

Проектные габариты прорезей (глубина и ширина) назначены в зависимости от объемов извлекаемого грунта и определены по расчетным сечениям с учетом отметки уровня воды 80% обеспеченности. Параметры расчетных сечений также определялись с учетом проектируемых выправительных сооружений.

Для расчетов на всем протяжении рассматриваемого участка р. Кама от с. Бондюг до пгт. Керчевский принят постоянный расход воды, равный 238 м³/с. Данное значение было определено по кривой связи расходов и уровня воды по г/п Бондюг и соответствует уровню воды 80% обеспеченности (+70 см) в экспедиционный период навигации (рис. 2).

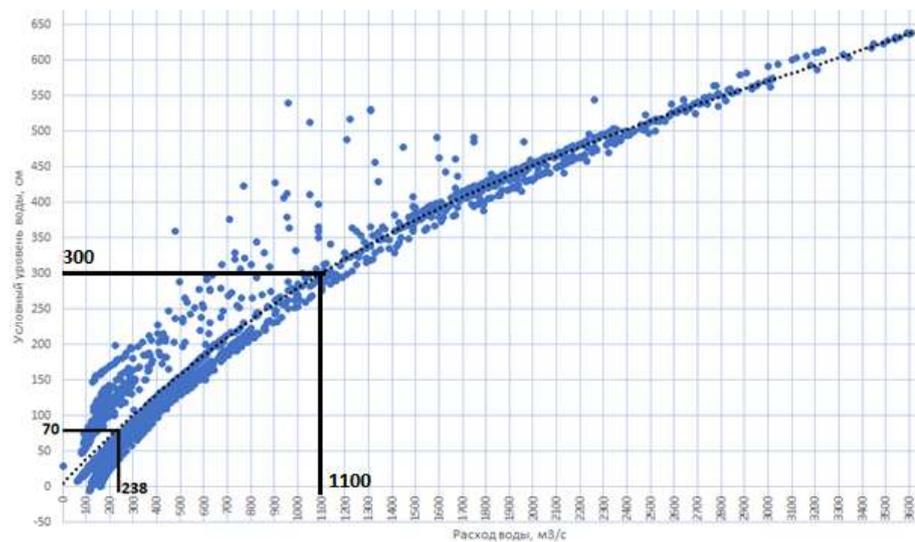


Рис. 2. Кривая зависимости уровней воды по г/п Бондюг (за период апрель-август)

Коэффициент шероховатости был определен осредненно для всего участка на основании данных гранулометрического состава донных отложений и принят равным 0,025.

Гидравлические расчеты возможной посадки уровня воды при производстве дноуглубительных и выправительных работ выполнялись по программе «Пережат», разработанной в ВГАВТ [1, 2]. Программа позволяет определить посадку уровня воды в реке на рассматриваемом участке при разработке дноуглубительной прорези, а также с учетом стеснения русла выправительными сооружениями и прохождении расчетного расхода воды. При исследовании были учтены нормативные документы и опыт предыдущих исследований [4, 5, 6, 7, 8].

Движение потока воды в реке считается установившимся. Русло реки не размывается потоком воды и не деформируется, движение потока воды в русле реки описывается дифференциальным уравнением движения:

$$\frac{dZ}{dl} - \frac{U^2}{C^2 R} - \frac{1 + \xi}{2g} \frac{\delta U^2}{\delta l} = 0 \quad (1)$$

и уравнением неразрывности потока:

$$Q = B \cdot U \cdot h, \quad (2)$$

где: Z – отметка свободной поверхности, l – продольная координата, U – скорость течения, h – средняя глубина потока в сечении, Q – расход воды, B – ширина реки по зеркалу, g – ускорение свободного падения, ξ – коэффициент местных сопротивлений, C – коэффициент Шези, R – гидравлический радиус.

Величина коэффициента местных сопротивлений на участках расширения потока определяется с использованием теоремы Борда:

$$\xi = \frac{\left[\frac{U_1}{U_2} - 1 \right]^2}{1 - \left[\frac{U_1}{U_2} \right]^2}, \quad (3)$$

где: U_1 и U_2 – средние скорости течения, соответственно в верхнем и нижнем сечениях расчетного участка, в пределах которого произошло расширение потока.

Для выполнения расчетов рассматриваемый участок реки делится поперечными сечениями на расчетные участки. Длина каждого расчетного участка не должна превышать 3-4 кратной ширины реки на участке и корректируется с учетом местных условий, а именно: ширина реки на расчетном участке должна быть по возможности постоянной; площадь живого потока в поперечных сечениях по верхней и нижней границам расчетного участка должна быть, по возможности, постоянной.

Посадка уровня воды при дноуглублении (устройстве прорези) определяется по формуле:

$$\Delta Z_i = Z_{pi} - Z_{ri}, \quad (4)$$

где: Z_{pi} – отметка проектного уровня воды в расчетном створе, Z_{ri} – отметка расчетного уровня воды в расчетном створе после устройства прорези.

Отметки проектного уровня воды должны быть известны, отметки расчетного уровня воды после разработки прорези вычисляются.

Величина коэффициента шероховатости русла может определяться двумя способами, в зависимости от полноты исходных данных. При наличии данных о кривой свободной поверхности, значения коэффициента шероховатости определяются по отдельным участкам русла по формуле (5):

$$n_i = \frac{B_{cp} h_{cp}^{5/3}}{Q} \sqrt{\frac{\Delta Z - (1 + \xi) \frac{\Delta U^2}{2g}}{\Delta l_i}}, \quad (5)$$

где B_{cp} и h_{cp} – осредненные по длине участка значения ширины и средней глубины потока воды в расчетных сечениях, $\frac{\Delta U^2}{2g}$ – приращение кинетической энергии на участке, ΔZ – падение кривой свободной поверхности на участке Δl_i .

Результаты расчетов

При оценке первого варианта (гарантированные габариты поддерживаются в продленном экспедиционном периоде навигации (до 50 суток)) были получены следующие результаты. В районе с.Бондюг прогнозируемая посадка уровня воды составит 0,45 см. Максимальная величина понижения уровня воды получена на 45,7 км (по старому судовому ходу) и составляет 6,67 см. При этом прогнозируемая глубина на отдельных лимитирующих перекатах (от 1,23 до 1,29 м) меньше рекомендуемой гарантированной глубины 1,3 м. Однако максимальная осадка принятого расчетного судна в плотовом составе, работающего на перевозках по Верхней Каме в продленном периоде экспедиционного вывода плотов, составляет 1,22 м. Это дает основание для осуществления планируемых проектных работ по выправлению русла и его дноуглублению. Графическое изображение результатов расчетов положения кривых свободной поверхности воды представлены на рисунке 3.

Анализ полученных результатов показал, что резерва для дальнейшего понижения уровней воды на участке практически нет, и он исчерпан при выполнении путевых работ для достижения гарантированной глубины 1,3 м в экспедиционном периоде. Поэтому возможность установления гарантированной глубины 1,3 м в течение всей физической навигации будет определяться значением посадки уровня воды в данном периоде.

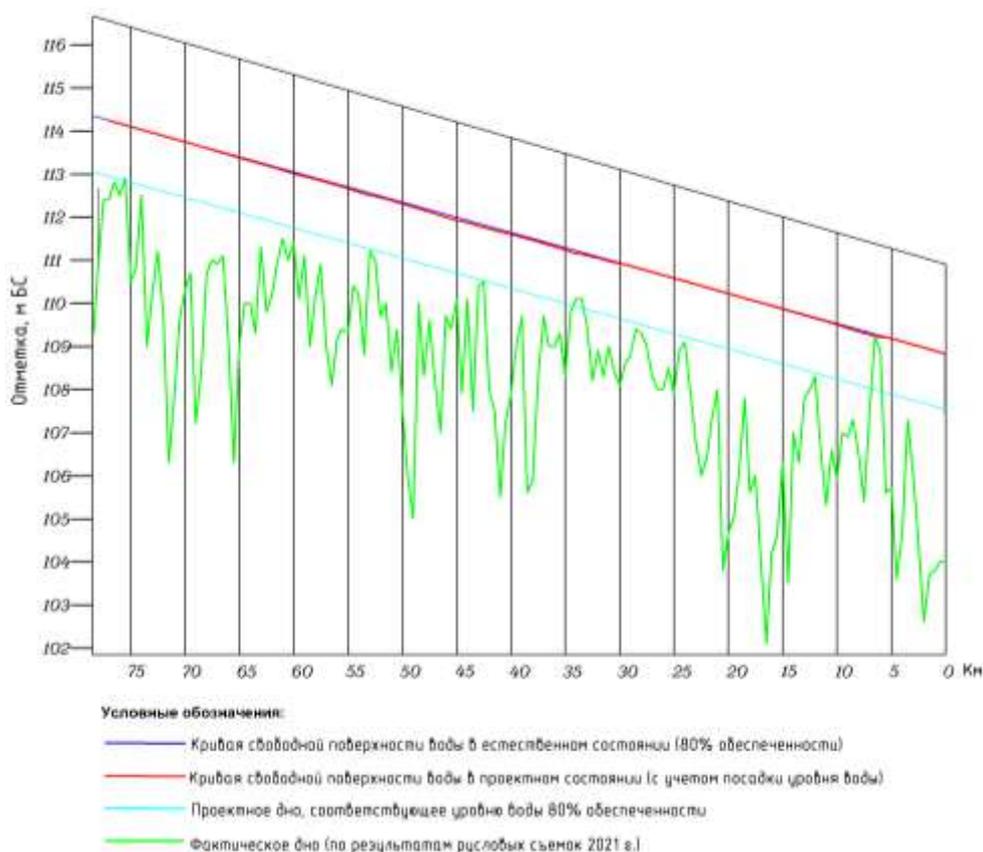


Рис. 3. Кривая свободной поверхности воды до и после выполнения дноуглубительных и выправительных работ в экспедиционный период навигации

При оценке второго варианта (гарантированные габариты обеспечиваются в течение всей навигации при осуществлении меженных расходов воды) был выполнен укрупненный расчет возможной посадки уровня воды от производства дноуглубительных работ. Предварительно объем дноуглубительных работ при этом составит порядка 785 тыс. м³ (рис. 4).

В качестве расчетной была принята кривая свободной поверхности воды с абсолютными отметками на г/п Бондюг - 113,84 мБС, на г/п Керчевский – 107,78 мБС (рис.4). Положение проектного дна на рисунке 4 определено с учетом глубины разработки, равной 1,3 м. Принятые условия соответствуют уровню и меженным расходам воды в целом по навигации.

Посадка уровня воды при выполнении дноуглубительных работ в условиях продления навигации в районе с. Бондюг составит 12,41 см. Максимальная величина посадки уровня воды прогнозируется на 45,7 км (по старому судовому ходу) и составит 38,5 см. При этом минимальные прогнозируемые глубины на лимитирующих перекатах могут составить порядка 0,93-1,15 м. В свою очередь это свидетельствуют о невозможности поддержания гарантированной глубины в течение всей навигации при меженных расходах воды.

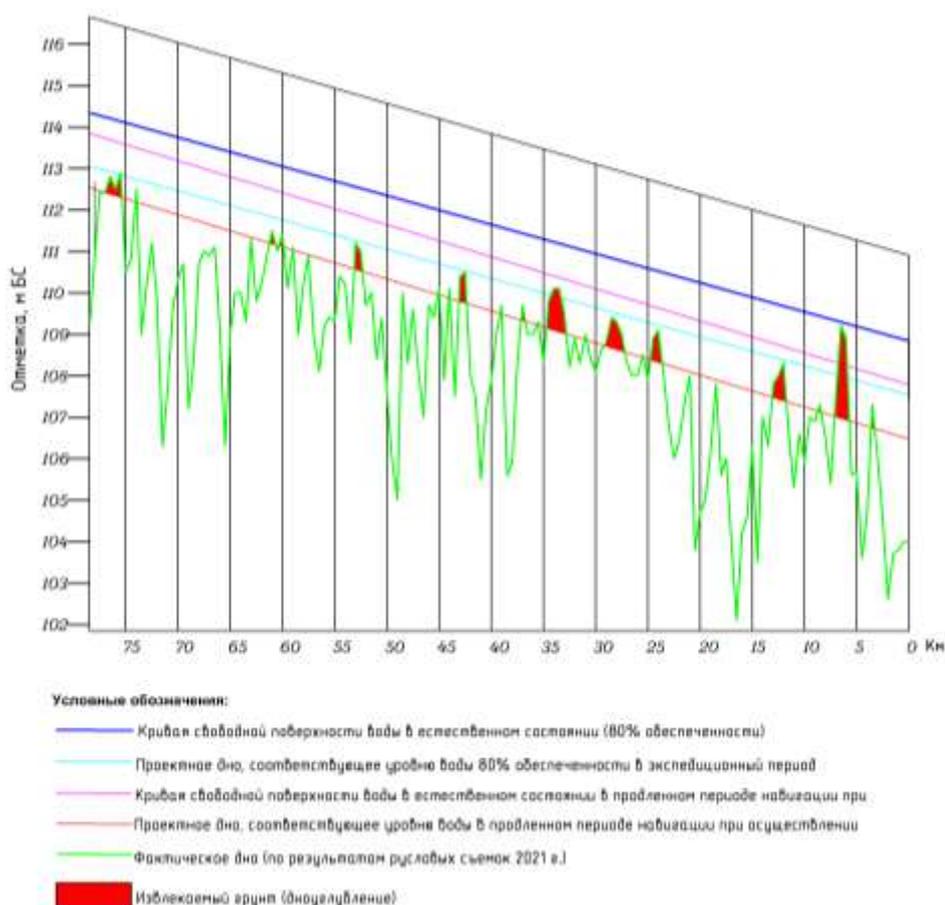


Рис. 4. Определение объемов дноуглубительных работ

Полученные результаты по достижению и поддержанию гарантированной глубины $T_c=1,3$ м на участке с. Бондюг - пгт. Керчевский в разных временных периодах показали, что рекомендуемая гарантированная глубина может быть выдержана лишь в продленном экспедиционном периоде вывода плотов, а в течение всей навигации не выдерживается.

Заключение

Таким образом, обобщая результаты выполненных исследований, сделан вывод о гидравлической возможности установления гарантированных габаритов на Верхней Каме от с. Бондюг до пгт. Керчевский с учетом проведения дноуглубительных и выправительных работ только на продленный экспедиционный период навигации и невозможности ее поддержания в течение всей навигации при осуществлении меженных расходов воды.

Вариант установления гарантированных габаритов на весь период навигации приведет к значительному росту объемов дноуглубительных работ. Их укрупненный расчет на участке р.Кама (с. Бондюг - пгт. Керчевский) при условии поддержания

гарантированной глубины в течение всей навигации показал, что полный объем дноуглубления составит порядка 785 тыс. м³.

Список литературы

1. Гладков, Г.Л. Оценка воздействия на окружающую среду инженерных мероприятий на судоходных реках: Учебное пособие для вузов / Г.Л.Гладков, М.В.Журавлев, Ю.П.Соколов. - СПб, Изд-во А.Кардакова 2005. – 241 с.
2. Гришанин К.В. Основы динамики русловых потоков. – М.: Транспорт, 1990. 319 с.
3. СТО 52.08.31-2012. Добыча НСМ в водных объектах. Учет руслового процесса и рекомендации по проектированию и эксплуатации русловых карьеров /Министерство природных ресурсов и экологии РФ/. СПб, 2010 г.
4. Чалов Р.С., Павлушкин С.В., Беркович К.М. Техногенная трансформация русла р. Обь в нижнем бьефе Новосибирского гидроузла и её влияние на состояние водного пути // РЕЧНОЙ ТРАНСПОРТ (XXI ВЕК). – 2021. – № 4. – С. 30-35. – ISSN 1729–4258
5. Влияние добычи НСМ на русловой режим и судоходные условия на нижней Каме // Совершенствование проектирования, реконструкции содержания воднотранспортных гидротехнических сооружений, организации производства путевых работ (Сб. Трудов ЛИВТа). – 1992. – С. 126–145.
6. Ситнов А.Н. Особенности разработки пойменных карьеров НСМ в меандрирующих руслах рек (на примере р. Белая) / А.Н. Ситнов, М.В. Шестова, Ю.Е. Воронина // Труды 22-го международного научно–промышленного форума «Великие реки – 2020». – Н. Новгород: ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2020. – С. 42. – ISBN 978-5-901722-67-1
7. Беркович К. М. Природно-ориентированные подходы к добыче аллювиальных строительных материалов из речных русел и пойм / К. М. Беркович, Л. В. Злотина, Л. А. Турыкин // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о земле. – 2012. – № 3. – С. 3–13. – ISSN 2412-9518
8. Lagasse P. F., Winkey B. R., Simmons D. B. Impacts of gravel mining on river system stability // J. of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering Division, American Society of Civil Engineers. 1980. Vol. 106. P. 398-404.

References

1. Gladkov, G.L. Otsenka vozdeistviya na okruzhayushchuyu sredu inzhenernykh meropriyatii na sudokhodnykh rekakh: Uchebnoe posobie dlya vuzov / G.L.Gladkov, M.V.Zhuravlev, YU.P.Sokolov. - SPb, Izd-vo A.Kardakova 2005. – 241 s.
2. Grishanin K.V. Osnovy dinamiki ruslovykh potokov. – M.: Transport, 1990. 319 s.
3. STO 52.08.31-2012. Dobycha NSM v vodnykh ob'ektakh. Uchet ruslovogo protsessa i rekomendatsii po proektirovaniyu i ehksploatatsii ruslovykh kar'erov /Ministerstvo prirodnykh resursov i ehkologii RF/. SPb, 2010 g.
4. Chalov, R.S., Pavlushkin, S.V., Berkovich, K.M., Ruleva, S.N. "Tekhnogennaya transformatsiya rusla r. Ob' v nizhnem b'efe Novosibirskogo gidrouzla i eyo vliyanie na sostoyanie vodnogo puti" RECHNOJ TRANSPORT (XXI VEK).– 2021. – № 4. – P. 30-35. – ISSN 1729–4258
5. Vliyanie dobychi NSM na ruslovoi rezhim i sudokhodnye usloviya na nizhnei Kame // Sovershenstvovanie proektirovaniya, rekonstruktsii sodержaniya vodnotransportnykh gidrotekhnicheskikh sooruzhenii, organizatsii proizvodstva putevykh rabot (Sb. Trudov LIVTa). – 1992. – S. 126–145.
6. Sitnov, A.N. «Features of development of NSM floodplain quarries in meandering river beds (using the example of the Belaya river)» V sbornike: Trudy 22-go mezhdunarodnogo nauchno-promyshlennogo foruma «Velikie reki-2020».
7. K. M. Berkovich, L. V. Zlotina, L. A. Turykin "Prirodno-orientirovannye podhody k dobyche allyuvial'nykh stroitel'nykh materialov iz rechnykh rusel i pojim" Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Biologiya. Nauki o zemle. – 2012. – № 3. – pp. 3–13. – ISSN 2412-9518
8. Lagasse P. F., Winkey B. R., Simmons D. B. Impacts of gravel mining on river system stability // J. of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering Division, American Society of Civil Engineers. 1980. Vol. 106. P. 398-404.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Шестова Марина Вадимовна 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: shestowam@yandex.ru

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

Решетников Максим Алексеевич, к.т.н.,
старший преподаватель кафедры водных путей
и гидросооружений, Волжский
государственный университет водного
транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г.
Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail:
serfskiwind@gmail.com

Maksim A. Reshetnikov Ph.D. in Engineering
Science, senior lecturer of the Department of
waterways and hydraulic structures, Volga
State University of Water Transport, 5,
Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Статья поступила в редакцию 29.04.2022; опубликована онлайн 20.09.2022
Received 29.04.2022; published online 20.09.2022.