

ПОРТЫ, ПОРТОВОЕ ХОЗЯЙСТВО И ТРАНСПОРТНАЯ ЛОГИСТИКА

PORTS, PORT INFRASTRUCTURE AND TRANSPORT LOGISTICS

Научная статья
УДК 627.4
<https://doi.org/10.24143/2073-1574-2023-1-72-79>
EDN SZNJPG

Численное моделирование участка реки в трехмерной постановке задачи для корректировки параметров проектируемых русловых карьеров

*Вера Валерьевна Агеева^{1✉}, Екатерина Андреевна Люкина²,
Дмитрий Алексеевич Мильцын³, Анна Алексеевна Ханова⁴*

^{1, 2}*Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет,
Нижний Новгород, Россия, sbag.nn@yandex.ru[✉]*

³*Волжский государственный университет водного транспорта,
Нижний Новгород, Россия*

⁴*Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия*

Аннотация. Добыча аллювиальных песчано-гравийных материалов, являясь крупной отраслью промышленности, получила широкое развитие во многих регионах России, что оказывает все возрастающее влияние на русловые процессы в виде изменения морфологического строения речных русел и пойм под действием меняющейся гидравлики потока. Изменения в гидрологическом режиме и морфологии русла реки могут протекать и в негативном ключе, прогрессировать с течением времени и на значительном расстоянии от участков добычи, о чем свидетельствуют имеющиеся примеры и что указывает на необходимость их всестороннего изучения. Проблемами влияния антропогенного изменения речных русел занимаются ведущие высшие учебные заведения и научно-исследовательские организации в области гидрологии, водного транспорта и рыбного хозяйства. Обобщая имеющийся опыт, предлагается спрогнозировать влияние потенциального карьера на гидрологические условия и в целом морфологию участка реки путем численного моделирования русловых процессов в трехмерной постановке задачи. Рассмотрены и смоделированы разные технологические схемы отработки карьера, выбран и обоснован наиболее приемлемый (щадящий) вариант с точки зрения минимизации негативного влияния на окружающую среду. С целью контроля полученных численным моделированием результатов были выполнены исследования способами, рекомендованными нормативной литературой. Анализ полученных результатов выявил их большую сходимость. Окончательные результаты исследований были сравнены с допустимыми параметрами, представленными в нормативных документах, даны рекомендации, связанные с корректировкой технологии отработки карьера с целью минимизации его негативного воздействия на русловые процессы и сложившуюся транспортную логику.

Ключевые слова: песчано-гравийные материалы, русловой карьер, антропогенные нарушения русловых процессов, гидрологический режим реки, твердый сток, посадка уровня воды, моделирование речного потока

Для цитирования: Агеева В. В., Люкина Е. А., Мильцын Д. А., Ханова А. А. Численное моделирование участка реки в трехмерной постановке задачи для корректировки параметров проектируемых русловых карьеров // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2023. № 1. С. 72–79. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2023-1-72-79>. EDN SZNJPG.

Original article

Numerical modeling river section in 3-D problem formulation for adjusting parameters of projected channel quarries

Vera V. Ageeva^{1✉}, Ekaterina A. Lyukina², Dmitry A. Miltsin³, Anna A. Khanova⁴

^{1,2}Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering,
Nizhny Novgorod, Russia, sbag.nn@yandex.ru✉

³Volga State University of Water Transport,
Nizhny Novgorod, Russia

⁴Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia

Abstract. Extraction of alluvial sand and gravel materials is a large industry. It has been widely developed in many regions of Russia, which has an increasing impact on the riverbed processes in the form of changes in the morphological structure of riverbeds and floodplains under the influence of changing flow hydraulics. Changes in the hydrological regime and morphology of the riverbed can bring negative effects and progress over time, as well as at a considerable distance from the mining sites, as can be seen from the examples, which indicates the need for their comprehensive study. Leading higher educational institutions and research organizations in the field of hydrology, water transport and fisheries study the problems of the impact of anthropogenic changes in river beds. Summarizing the experience, it is recommended to predict the impact of a potential quarry on the hydrological conditions and morphology of the whole river section by numerical modeling of the channels in 3-D problem formulation. Different technological schemes of open pit mining are considered and modeled, the most acceptable (sparing) option minimizing the negative impact on the environment is selected and justified. In order to control the results obtained by numerical simulation, studies were also carried out using the methods recommended by the regulatory literature. Analysis of the results revealed their great convergence. The final results of the research were compared with the allowable parameters in the regulatory documents, recommendations were made on improving the quarry mining technology for minimizing its negative impact on the channel processes and the resulting transport logistics.

Keywords: sand and gravel materials, riverbed quarry, man-induced disturbance of fluvial processes, river hydrological regime, sediment runoff, water level landing, modeling the river flow

For citation: Ageeva V. V., Lyukina E. A., Miltsin D. A., Khanova A. A. Numerical modeling river section in 3-D problem formulation for adjusting parameters of projected channel quarries. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2023;1:72-79. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2023-1-72-79>. EDN SZNJPG.

Введение

Приоритетной для использования в строительной отрасли является песчано-гравийная смесь (ПГС), добытая из русловых карьеров, поскольку аллювиальные отложения рек являются наиболее качественным строительным материалом. Песок, ПГС, гравий, добытые путем разработки залежей русел рек, всегда отличались своим однородным составом, поскольку содержание глины, камней и посторонних включений в них было минимальным. Такой качественный и относительно недорогой материал используется в промышленном и дорожном строительстве, в сельскохозяйственных и декоративных работах, на производстве и благоустройстве территорий. Однако именно такие карьеры, нарушающие естественную морфологию русла и транспорт наносов, оказывают наибольшее, часто негативное влияние, которое может прогрессировать с течением времени и на значительном расстоянии от участков добычи [1, 2].

Влияние карьеров, образованных с целью добычи песчано-гравийных материалов (ПГМ), на природную обстановку, на судоходные и гидрологические условия определяется их местоположением на дне речной долины: в русле, на отмелях, на пойме. Разработка карьеров в русле реки или на ее пойме оказывает прямое воздействие на ее состояние, которое подробно описывается в различных источниках [3, 4] и связано с образованием искусственных выемок, изменением скоростей и направлений течений, посадкой уровня и т. д. [5, 6]. Последствия разработки карьеров непосредственно влияют на расположенные вблизи гидротехнические и другие водохозяйственные сооружения, места нерестилищ и, кроме того, могут усложнить условия судоходства, а в некоторых случаях сделать его невозможным, нарушив сложившуюся транспортную логику.

Материалы исследования

В данной работе рассматривается потенциальный карьер, который предполагается разместить на

участке 38÷39 км реки Белой. Учитывая расположение карьера на внутренних водных путях (ВВП) федерального значения Российской Федерации согласно [7], возможность его отработки необходимо согласовывать с администрацией бассейна [8] в порядке [9]. С целью обоснования возможности добычи на ВВП и выдачи проверяющим органам исчерпывающих данных о последствиях разработки ПГМ вышеописанные негативные факторы

необходимо оценить путем проведения комплекса исследований и расчетов [3, 10, 11].

На рассматриваемом участке реки Белой и вблизи него русло довольно извилистое, встречаются крутые изгибы, песчаные отмели, косы, острова, перекаты. Ширина русла в районе карьера колеблется в диапазоне 80÷430 м. Основным типом руслового процесса здесь является свободное меандрирование [4] (рис. 1).

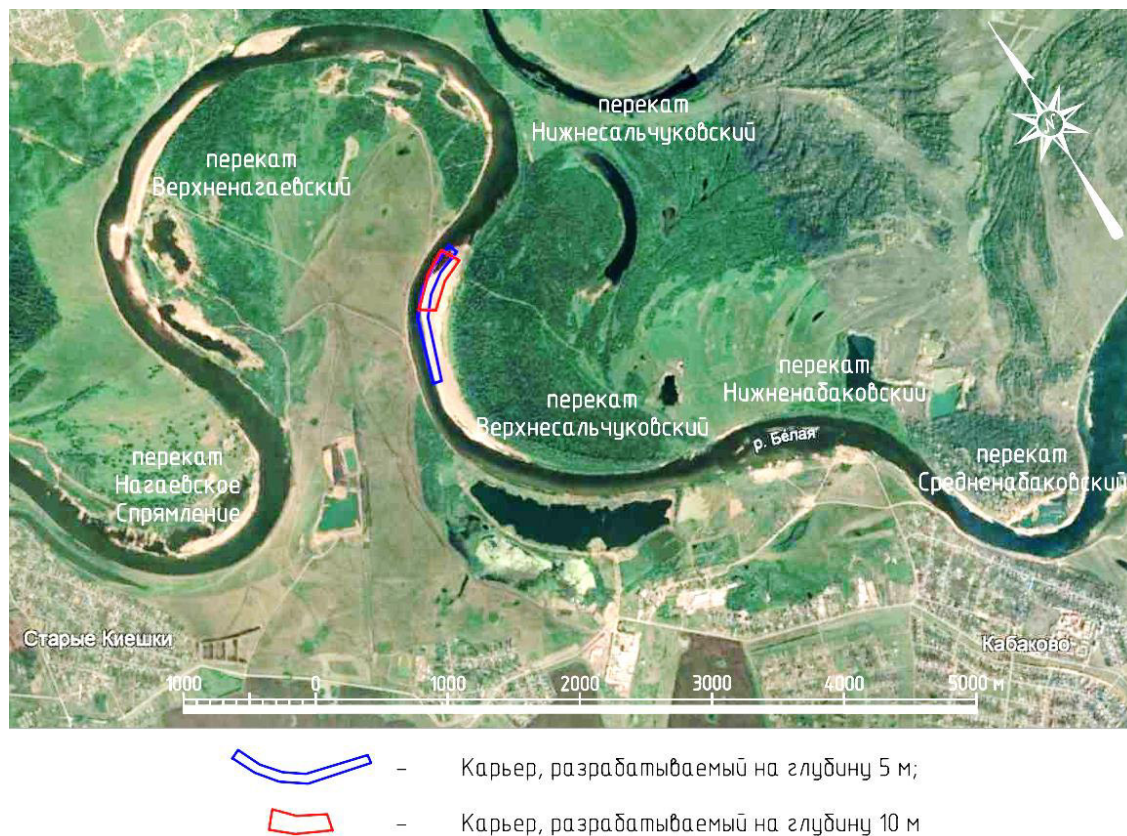


Рис. 1. Схема расположения карьеров

Fig. 1. Quarry layout

Водный режим характерен для равнинных рек восточно-европейского типа с одновысоким весенним половодьем и довольно устойчивым ходом уровней в летний и зимний периоды. Река Белая в створе карьера относится к категории больших рек в соответствии с положениями методики гидрографического районирования территории РФ, утвержденной Приказом Министерства природных ресурсов РФ от 25.04.2007 № 112 [12], т. к. площадь бассейна составляет более 50 тыс. км². Сведения о гидрологическом режиме реки (о расходах, уровнях, ледоставе) были приняты по опорным водомерному и гидрологическому постам «Охлебино» и «Уфа», между которыми располагается карьер. Отметка условного проектного уровня во-

ды в районе карьера определяется интерполяцией между этими постами и составляет 84,89 м (БС).

Ранее на рассматриваемом в работе участке реки проводились исследования, в которых рассматривался карьер, расположенный на правом берегу реки Белой в Кармаскалинском районе Республики Башкортостан. Его местоположение показано на рис. 1 (синим цветом). Карьер планировалось расположить на внутренней части излучины, что соответствует рекомендациям нормативной литературы [4]. По данному карьеру в ходе исследования были определены следующие параметры отработки:

– протяженность карьера составляет 1 100 м, ширина – до 75 м, глубина отработки – 5 м, запланированный объем выемки – 330 тыс. м³, из них

планируемые к извлечению с учетом экологических условий – 180 тыс. м³;

– рассматривается два варианта добычи: с полной разработкой карьера, с разработкой карьера отдельными блоками с сохранением природоохранных целиков;

– при полной единовременной разработке карьера посадка уровня составит 14,4 см, что превышает допустимое значение в 10 см [2], следовательно, разработка карьера по данному варианту оказывает значительное негативное влияние на уровень реки и является недопустимой;

– гидравлические расчеты по второму варианту определили, что посадка уровня составит не более 5,5 см, что не окажет значительного негативного влияния на гидрологию реки и условия судоходства на ней;

– предлагается вести разработку карьера отдельными блоками с сохранением природоохранных целиков шириной 80÷100 м и глубиной разработки 5 м.

В ходе проведения геологических изысканий были получены следующие данные:

– на южной части месторождения выявлено низкое содержание гравия в ПГС, что сделало разработку этого участка нерентабельной;

– содержание гравийной составляющей до глубины 6÷8 м составляет 20 %, с глубиной до 10 м содержание гравия увеличивается до 80 %, а далее снова уменьшается.

В связи с этим экономически целесообразно разрабатывать карьер с целью добычи ПГС на глубину не менее 10 м. Для обоснования возможности такой добычи было принято решение выполнить дополнительные исследования, результаты которых приводятся ниже.

Новое местоположение карьера приведено также на рис. 1 (красным цветом). Запланированный объем выемки равен 271,48 тыс. м³, глубина отработки соответствует мощности полезной толщи в 10 м. Новый карьер имеет меньшие границы, меньшую площадь и (с некоторым исключением) является частью старого карьера, охватывая 2 его целика и 3 выемочных места. Предлагается разрабатывать карьер, сохраняя природоохранные целики.

Вариант единовременной отработки карьера без оставления природоохранных целиков не рассматривается, т. к. предварительные расчеты степени влияния карьера на режим уровней воды при такой схеме отработки на этом участке русла реки Белой показали неприемлемый результат.

Твердый сток. Расчеты твердого стока выполняются по формуле Б. Ф. Снищенко и З. Д. Копалиани, рекомендуемой [3, 4], для оценки заносимости руслового карьера влекомыми (донными) наносами при грядовом движении этих наносов.

В результате расчетов получен удельный точный расход донных наносов. Умножение его на ширину русла и продолжительность (в сутках) расходов с заданными глубинами и скоростями позволяет аналитически определить объем стока донных наносов. Согласно результатам расчетов средний годовой объем поступления донных наносов реки Белой на участке расположения карьера составляет 121 тыс. м³.

Расчет смещения верхней кромки, выполненный в соответствии с [4], определил, что скорость смещения верхней кромки карьера при его разработке составит 25,8 м в год. Такой показатель обусловлен расположением карьера на пляже излучины свободного меандрирования в стороне от основного русла с малыми глубинами и скоростями течения. На полное заиливание карьера потребуется 18,2 года (при его единовременной выемке).

Габариты карьера. Габариты и объемы карьера, время заполнения его наносами соответствуют нормам [4]. Ширина карьера – 129 м, что составляет 30 % ширины русла в половодье (430 м) в районе расположения участка ПГС. Длина выемки соответствует средней ширине русла реки. Время занесения карьера составит 18,2 лет (менее 20 лет). Отношение предельного значения объема карьера (W_K) в сравнении с годовым стоком донных наносов (W_T) составит 2,3 (менее 20).

Сопоставление материалов карт. Для выявления общих тенденций развития русла производится совмещение планов. В процессе сопоставления материалов карт, русловых изыскательских съемок различных годов и геоинформационных систем была проведена оценка многолетних деформаций и перестроений русла за 11 лет (с 2011 по 2022 г.). По совмещенному плану (рис. 2) можно сделать следующие выводы:

– в результате естественных деформаций, характерных для меандрирования, увеличилась длина реки и, как следствие, изменился километраж судового хода на рассматриваемом участке;

– выше по течению русловые перестроения выражаются размывом левого берега на ширину 30 м и интенсивным намывом правого на 35 м, который приводит к уменьшению естественной ширины русла;

– в районе карьера правый берег «врезается» в русло в среднем на 70 м, при этом левый берег размывается на 25 м;

– ширина русла также претерпела некоторые изменения: по принятой условной проектной изобате она варьируется от 100 до 180 м, в 2022 г. – от 23 до 220 м; по нулевой изобате в 2011 г. – от 150 до 270 м, в 2022 г. – от 80 до 230 м.

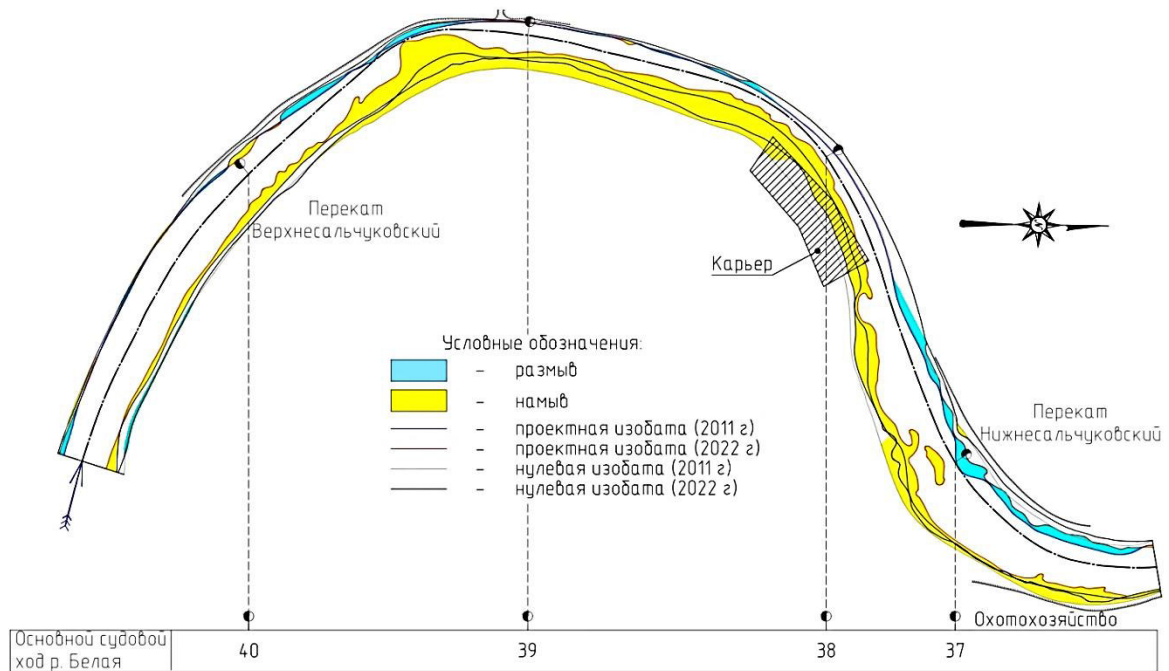


Рис. 2. Совмещенный план участка реки Белая на период 2011–2022 гг.

Fig. 2. Combined plan for the section of the Belaya River for 2011–2022

Моделирование речного потока. В связи со сложной морфологией русла, а также неполной разработкой карьера с сохранением природоохранных целиков для оценки планового положения струй течений предлагается обратиться к математическому моделированию в трехмерной постановке. Методы численного моделирования основываются на системах уравнений движения жидкости и гидравлики потока и, как следствие, наиболее полно отражают особенности структуры речного потока.

Решение задачи моделирования речного потока предлагается выполнить с использованием математической модели, основанной на решении полной трехмерной системы уравнений Навье – Стокса. Система уравнений дополняется уравнением неразрывности потока. Для описания турбулентных явлений в речном потоке используется зарекомендовавшая себя высокорейнольдсовая $k-\epsilon$ модель турбулентности. Эффективная вязкость в системе уравнений Навье – Стокса определяется согласно данной модели турбулентности. Система уравнений Навье – Стокса решается методом контрольных объемов, согласно которому вся расчетная область разбивается на простые трехмерные геометрические объекты. Расчетная область участка реки формируется в виде твердотельной CAD-модели, подготовленной на основе гидрографических съемок.

В качестве граничных используются четыре условия: входная область потока; выходная область потока; дно реки – условие непротекания; свободная поверхность воды – условие симметрии. Задача численного моделирования решается для участка русла реки Белой в районе потенциального карьера между двумя живыми сечениями, перпендикулярными к динамической оси потока, в границах которого можно достоверно судить о характере распределения скоростей.

Расчеты проводятся для двух вариантов: до разработки карьера (рис. 3, а; рис. 4, а) и после разработки карьера (рис. 3, б; рис. 4, б).

Анализируя результаты численного моделирования, можно сделать вывод, что в естественном состоянии при проектном уровне воды распределение поверхностных скоростей течения соответствует распределению скоростей при повороте русла. Скорости течения у левого берега значительно выше, чем у правого. Линии тока в естественном состоянии речного потока распределяются неравномерно.

Сложившаяся ситуация наглядно иллюстрирует тенденцию к размыву левого и намыву правого берегов реки Белой. Это будет способствовать естественному, постепенному искривлению русла, а соответственно, и судового хода реки Белой на рассматриваемом участке.

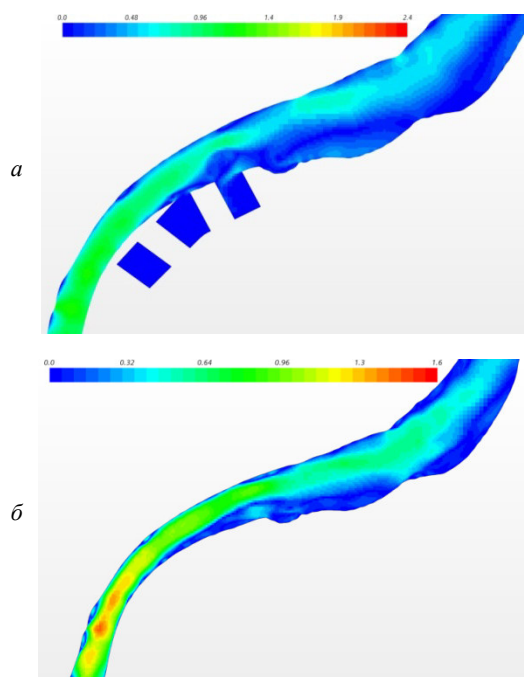


Рис. 3. Распределение поверхностных скоростей течений речного потока: *a* – в естественном состоянии русла до разработки карьера; *б* – после разработки карьера

Fig. 3. Distribution of surface velocities of the of the river flow currents: *a* – in the natural state of the channel before quarrying; *b* – after quarrying

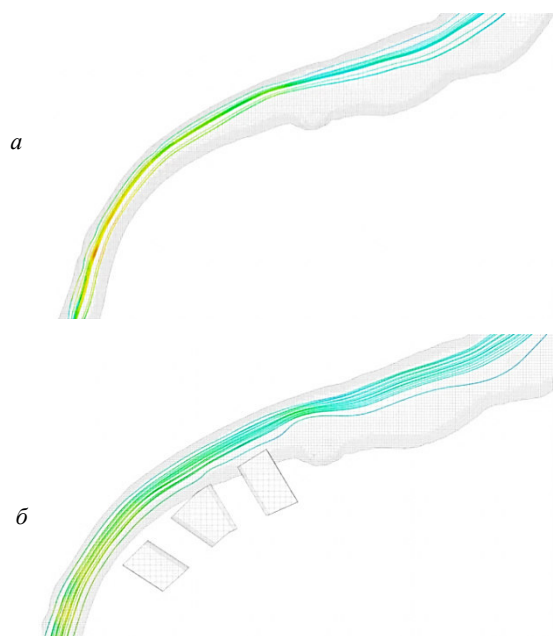


Рис. 4. Распределение линий тока: *a* – в естественном состоянии русла до разработки карьера; *б* – после разработки карьера

Fig. 4. Distribution of current lines: *a* – in the natural state of the channel before quarrying; *b* – after quarrying

Представленные результаты коррелируют с данными, полученными при оценке многолетних деформаций речного русла на основе результатов совмещенных планов.

Посадка уровня. Методика гидравлических расчетов посадки уровня воды, изложенная в [4, 11], содержит следующие предпосылки и математические зависимости:

- движение потока воды в реке считается установившимся;
- русло реки относительно длительный период считается стабильным и не деформируется;
- движение потока воды в русле реки описывается системой дифференциальных уравнений движения.

Результаты гидравлических расчетов доказали, что посадка уровня воды составит 13 см при единовременной (в пределах одной навигации) разработке участка ПГС на полную мощность (10,0 м) с оставлением природоохранных целиков, что превышает общепринятый критериальный показатель, равный 10 см [2] и принимаемый для оценки допустимости разработки карьеров на реках согласно рекомендациям ФГБУ «Государственный гидрологический институт» и Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. Исходя из этого, разработка карьера по такому варианту недопустима, т. к. влечет за собой значительное негативное влияние на гидрологические условия участка.

Приняв за значение посадки уровня воды критическое значение 10 см, вычисляется критический объем выемки полезного ископаемого из русла, который составит ~ 208,83 тыс. м³. С целью отработки всего запланированного объема в 271,48 тыс. м³ расчет критической выемки (с точки зрения посадки уровня) корректируется с учетом его заносимости. По результатам расчета минимальное время разработки карьера составит 2 года, а максимально допустимый объем блока в пределах одной навигации при единовременной выемке ~ 135,74 тыс. м³ на полную мощность 10,0 м с оставлением природоохранных целиков. При этом максимальная посадка уровня составит 4,9 см.

Заключение

Потенциальный карьер расположен на внутренней части излучины, которая подвергается намыву. Принятая разработка карьера блоками с оставлением природоохранных целиков соответствует схеме [4, с. 81]. Такое местоположение карьера замедлит темпы искривления русла, что благоприятно скажется и на судоходных условиях, транспортной логистике. Это подтверждается проведенным численным моделированием (см. рис. 3, б): целики

не позволяют стрелу потока переместиться к правому берегу в область карьера.

Размещение карьера в границах, рекомендованных в данной работе, и соблюдение технологии отработки (оставление природоохранных целиков) не окажет значительного негативного влияния на гидрологический режим участка реки по сравнению с существующим режимом. Неправильные течения (свальные, вихревые и т. д.) в русле реки Белой в районе карьера (после его отработки) возникать не будут, а заключаться будут лишь в перемешивании слоев по глубине потока в районе карьера.

Список источников

1. Беркович К. М., Злотина Л. В., Ильясов А. К., Тuryкин Л. А. Исследование воздействия руслового карьера (РК) нерудных строительных материалов (НСМ) на режим переката на верхней Оке // Реч. трансп. (XXI век). 2016. № 4. С. 42–47.
2. Гладков Г. Л., Журавлев М. В., Соколов Ю. П. Оценка воздействия на окружающую среду инженерных мероприятий на судоходных реках. СПб.: Изд-во А. Карданова, 2005. 241 с.
3. Рекомендации по прогнозу деформаций речных русел на участках размещения карьеров и в нижних бьефах гидроузлов. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 127 с.
4. СТО 52.08.31-2012. Добыча нерудных строительных материалов в водных объектах. Учет руслового процесса и рекомендации по проектированию и эксплуатации русловых карьеров. СПб.: Глобус, 2012. 140 с.
5. Агеева В. В., Люкина Е. А., Матюгин М. А. Мероприятия по снижению негативного воздействия на гидрологические и судоходные условия реки при разработке руслового карьера выправительными сооружениями // Науч. проблемы вод. трансп. 2022. Вып. 71. С. 199–212.
6. Ситнов А. Н., Шестова М. В., Воронина Ю. Е. Прогноз русловых деформаций и особенности разработки пойменных карьеров нерудных строительных материалов в меандрирующих руслах рек с учетом безопасности условий судоходства (на примере р. Белая) // Науч. проблемы вод. трансп. 2020. Вып. 65. С. 179–188.
7. Об утверждении перечня внутренних водных путей Российской Федерации. Распоряжение Правительства РФ

С целью уменьшения посадки уровня необходимо предусмотреть отработку карьера навигационными блоками с учетом заносимости на полную мощность с оставлением природоохранных целиков. Объем навигационного блока не должен превышать 135,74 тыс. м³. Срок отработки карьера должен быть не менее двух лет.

Проведенные расчеты и их анализ позволяют сделать вывод о допустимости влияния рассматриваемого карьера согласно требованиями СТО 52.08.31-2012 [4].

от 19.12.2002 № 1800-п. URL: <https://www.law.ru/npd/doc/docid/901836096/modid/99> (дата обращения: 17.01.2023).

8. Кодекс внутреннего водного транспорта Российской Федерации от 07.03.2001 № 24-ФЗ. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=417031> (дата обращения: 17.01.2023).

9. О внесении изменений в приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 13 февраля 2013 г. № 36 «Об утверждении требований к тахографам, устанавливаемым на транспортные средства, категорий и видов транспортных средств, оснащаемых тахографами, правил использования, обслуживания и контроля работы тахографов, установленных на транспортные средства»: Приказ Министерства транспорта РФ от 20.02.2017 № 55. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71569792/> (дата обращения: 17.01.2023).

10. Чалов Р. С. Русловые процессы (русловедение). М.: Инфра-М, 2016. 565 с.

11. Методика расчета понижения уровня воды при добыче нерудных строительных материалов / М-во реч. флота РСФСР, Гл. упр. портов. М.: Транспорт, 1984. 21 с.

12. Об утверждении Методики гидрографического районирования территории Российской Федерации: Приказ Министерства природных ресурсов РФ от 25.04.2007 № 112. URL: <https://www.ecoindustry.ru/ndocs/view/1551.html> (дата обращения: 17.01.2023).

References

1. Berkovich K. M., Zlotina L. V., I'iasov A. K., Turykin L. A. Issledovanie vozdeistviia ruslovogo kar'era (RK) nerudnykh stroitel'nykh materialov (NSM) na rezhim perekata na verkhnei Oke [Investigation of impact of channel quarry (CQ) of non-metallic building materials (NCM) on rolling regime in upper Oka river]. *Rechnoi transport (XXI vek)*, 2016, no. 4, pp. 42-47.
2. Gladkov G. L., Zhuravlev M. V., Sokolov Iu. P. *Otsenka vozdeistviia na okruzhaiushchuiu sredu inzhenernykh meropriiatii na sudokhodnykh rekakh* [Environmental impact assessment of engineering measures on navigable rivers]. Saint-Petersburg, Izd-vo A. Kardanova, 2005. 241 p.
3. *Rekomendatsii po prognozu deformatsii rechnykh rusel na uchastkakh razmeshcheniia kar'erov i v nizhnikh b'efakh gidrouzlov* [Recommendations on predicting deformations

of river channels in quarries and downstreams of hydrosystems]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1988. 127 p.

4. *STO 52.08.31-2012. Dobycha nerudnykh stroitel'nykh materialov v vodnykh ob'ektakh. Uchet ruslovogo protsessa i rekomendatsii po proektirovaniu i ekspluatatsii ruslovykh kar'erov* [STO 52.08.31-2012. Production of non-metallic building materials in water bodies. Accounting for the channel process and recommendations for design and operation of channel open pits]. Saint-Petersburg, Globus Publ., 2012. 140 p.

5. Ageeva V. V., Liukina E. A., Matiugin M. A. *Meropriiatii po snizheniiu negativnogo vozdeistviia na gidrologicheskie i sudokhodnye usloviia reki pri razrabotke ruslovogo kar'era vypravitel'nyimi sooruzheniiami* [Measures to reduce negative impact on hydrological and navigable river conditions during development of channel quarry with correc-

tive structures]. *Nauchnye problemy vodnogo transporta*, 2022, iss. 71, pp. 199-212.

6. Sitnov A. N., Shestova M. V., Voronina Iu. E. Prognoz ruslovykh deformatsii i osobennosti razrabotki poimennykh kar'erov nerudnykh stroitel'nykh materialov v meandruiushchikh ruslakh rek s uchetom bezopasnosti uslovii sudokhodstva (na primere r. Belaia) [Forecasting channel deformations and characteristics of development of floodplain quarries of non-metallic building materials in meandering riverbeds subject to safety of navigation conditions (case of Belaya river)]. *Nauchnye problemy vodnogo transporta*, 2020, iss. 65, pp. 179-188.

7. *Ob utverzhenii perechnia vnutrennikh vodnykh putei Rossiiskoi Federatsii: Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 19.12.2002 № 1800-r* [On approval of the list of inland waterways of the Russian Federation: Decree of the Government of the Russian Federation dated 12/19/2002 No. 1800-r]. Available at: <https://www.law.ru/npd/doc/docid/901836096/modid/99> (accessed: 17.01.2023).

8. *Kodeks vnutrennego vodnogo transporta Rossiiskoi Federatsii ot 07.03.2001 № 24-FZ* [Code of Inland Water Transport of the Russian Federation dated 07.03.2001 No. 24-FZ]. Available at: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=417031> (accessed: 17.01.2023).

9. *O vnesenii izmenenii v prikaz Ministerstva transporta Rossiiskoi Federatsii ot 13 fevralia 2013 g. № 36 «Ob utverzhenii trebovaniy k takhografam, ustanavlivaemym na transportnye sredstva, kategorii i vidov transportnykh sredstv,*

osnashchaemykh takhografami, pravil ispol'zovaniia, obsluzhivaniia i kontrolya raboty takhografov, ustanovlennykh na transportnye sredstva»: Prikaz Ministerstva transporta RF ot 20.02.2017 № 55 [On amendments to the order of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated February 13, 2013 No. 36 "On approval of the requirements for tachographs installed on vehicles, categories and types of vehicles equipped with tachographs, rules for the use, maintenance and control of the operation of tachographs established for vehicles": Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation of February 20, 2017 No. 55]. Available at: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71569792/> (accessed: 17.01.2023).

10. Chalov R. S. *Ruslovye protsessy (ruslovedenie)* [Chalov R. S. Channel processes (channel science)]. Moscow, Infra-M Publ., 2016. 565 p.

11. *Metodika rascheta ponizheniia urovnei vody pri dobyche nerudnykh stroitel'nykh materialov* [Methods of calculating decrease in water levels during extraction of non-metallic building materials]. Ministerstvo rechnogo flota RSFSR, Glavnoe upravlenie portov. Moscow, Transport Publ., 1984. 21 p.

12. *Ob utverzhenii Metodiki gidrograficheskogo raionirovaniia territorii Rossiiskoi Federatsii: Prikaz Ministerstva prirodnykh resursov RF ot 25.04.2007 № 112* [On approval of the Methods of hydrographic zoning of the territory of the Russian Federation: Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated April 25, 2007 No. 112]. Available at: <https://www.ecoindustry.ru/ndocs/view/1551.html> (accessed: 17.01.2023).

Статья поступила в редакцию 18.01.2023; одобрена после рецензирования 30.01.2023; принята к публикации 16.02.2023
The article was submitted 18.01.2023; approved after reviewing 30.01.2023; accepted for publication 16.02.2023

Информация об авторах / Information about the authors

Вера Валерьевна Агеева – кандидат технических наук; доцент кафедры гидравлики; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет; sbag.nn@yandex.ru

Екатерина Андреевна Люкина – студент специальности «Строительство уникальных зданий и сооружений»; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет; luykinakatya@yandex.ru

Дмитрий Алексеевич Мильцын – кандидат технических наук; доцент кафедры водных путей и гидросооружений; Волжский государственный университет водного транспорта; miltsinda@mail.ru

Анна Алексеевна Ханова – доктор технических наук; профессор кафедры прикладной информатики; Астраханский государственный технический университет; akhanova@mail.ru

Vera V. Ageeva – Candidate of Sciences in Technology; Assistant Professor of the Department of Hydraulics; Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering; sbag.nn@yandex.ru

Ekaterina A. Lyukina – Student of Specialty Construction of Unique Buildings and Structures; Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering; luykinakatya@yandex.ru

Dmitry A. Miltsin – Candidate of Sciences in Technology; Assistant Professor of the Department of Waterways and Hydraulic Structures; Volga State University of Water Transport; miltsinda@mail.ru

Anna A. Khanova – Doctor of Sciences in Technology; Professor of the Department of Applied Informatics; Astrakhan State Technical University; akhanova@mail.ru

