

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, ВОДНЫЕ ПУТИ СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

DOI: 10.21821/2309-5180-2026-18-1-7-17

EDN IRLDCM

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF QUARRYING ON NAVIGABLE CONDITIONS IN DOWNSTREAM OF THE CHEBOKSARY HYDROELECTRIC COMPLEX

P. V. Belyakov, P. S. Rzhakovskaya, S. V. Konopatsky

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

This study addresses the operation of unsupported hydroelectric facilities, including the Cheboksary hydroelectric complex, which can cause significant changes in the hydrological and channel regimes of the downstream sections, leading to progressive channel erosion and reductions in water levels. A comprehensive assessment is presented of the impact of non-metallic building material extraction on the channel morphology and navigable conditions of the Volga River between km 1187.0 and 1255.0 downstream of the Cheboksary hydroelectric complex. The methodology is based on two-dimensional mathematical modeling of sediment transport and flow characteristics using the Saint-Venant equation system in the FLOOD software package. Modeling was performed for two states of the channel: the actual (existing) and the design state (considering full quarry development). Results indicate that quarry development has a limited effect on the level regime. The Sidelnikovskoye field exerts the greatest influence on flow hydraulics, where current velocities along the navigable channel are reduced by half, and local bottom deformations are observed in some areas. Development of other fields causes reduced current velocities without inducing washouts, as the velocities in these areas remain below the calculated non-washout threshold. The analysis suggests that under current conditions, channel quarrying for the extraction of non-metallic building materials will not produce adverse effects, will not further reduce water levels, will not exacerbate channel erosion, and will not deteriorate navigable conditions in this section of the Volga River.

Keywords: channel deformation, flow velocity, water discharge, sediment transport, sediment flow rate, mathematical modeling, quarrying, downstream, navigable conditions, hydroelectric complex.

For citation:

Belyakov, Pakhom V., P. S. Rzhakovskaya and S. V. Konopatsky. "Assessment of the impact of quarrying on navigable conditions in downstream of the Cheboksary hydroelectric complex." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 18.1 (2026): 7–17. DOI: 10.21821/2309-5180-2026-18-1-7-17.

УДК: 556.536

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАЗРАБОТКИ КАРЬЕРОВ НА СУДОХОДНЫЕ УСЛОВИЯ В НИЖНЕМ БЬЕФЕ ЧЕБОКСАРСКОГО ГИДРОУЗЛА

П. В. Беляков, П. С. Ржаковская, С. В. Конопацкий

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Темой исследования является вопрос эксплуатации бесподпорных гидроузлов, к которым относится Чебоксарский гидроузел, так как возможные изменения некоторых режимов его работы приводят к значительным изменениям гидрологического и руслового режимов в нижних бьефах, вызывая прогрессирующую эрозию русла и понижение уровней воды. В статье выполнена комплексная оценка влияния добычи нерудных строительных материалов на русловые и судоходные условия участка реки Волги

в нижнем бьефе Чебоксарского гидроузла (на участке 1187,0–1255,0 км судового хода). Методология работы основана на двумерном математическом моделировании характеристик течения и транспорта наносов с применением системы уравнений Сен-Венана в программном комплексе FLOOD. Моделирование проведено для двух состояний русла: бытового (фактического) и проектного (с учетом полной отработки карьеров). Результаты расчетов показали, что разработка карьеров не окажет значительного влияния на уровенный режим. Наибольшее воздействие на гидравлику потока оказывает месторождение «Сидельниковское», где скорости течения на судовом ходу снижаются вдвое, а на отдельных участках наблюдаются локальные деформации дна. При этом разработка других месторождений приводит к снижению скоростей течения, не вызывая размывов, так как скорость на этих участках не превышает расчетных значений неразмывающей скорости. Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что в существующих условиях разработка русловых карьеров с целью добычи нерудных строительных материалов не вызовет негативных последствий: не приведет к дополнительному понижению уровней воды, не усилит эрозионные процессы в русле и не приведет к ухудшению условий судоходства на данном участке реки Волги.

Ключевые слова: русловые переформирования, скорость течения воды, расход воды, транспорт наносов, расход наносов, математическое моделирование, разработка карьера, нижний бьеф, судоходные условия, гидроузел.

Для цитирования:

Беляков П. В. Оценка влияния разработки карьеров на судоходные условия в нижнем бьефе чебоксарского гидроузла / П. В. Беляков, П. С. Ржаковская, С. В. Конопацкий // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2026. — Т. 18. — № 1. — С. 7–17. DOI: 10.21821/2309-5180-2026-18-1-7-17. — EDN IRLDCM.

Введение (Introduction)

Эксплуатация бесподпорных гидроузлов приводит к значительным изменениям гидрологического и руслового режимов в нижних бьефах. Основной проблемой является развитие эрозии русла, которая прогрессирует с момента ввода объекта в эксплуатацию [1]. Это вызывает необратимое понижение уровней воды и, как следствие, ухудшение условий судоходства. Ключевым фактором, усиливающим эрозию, является режим работы ГЭС, особенно в периоды межени, когда суточное и недельное регулирование стока создает неустановившийся режим течения. Наличие данного фактора нарушает стабильную зависимость между расходами и уровнями воды. Пиковые попусковые расходы увеличивают скорости течения, что активизирует перемещение наносов. В результате усиливается заносимость дноуглубительных прорезей и снижается устойчивость судового хода, а также добыча строительных материалов в нижних бьефах, которая дополнительно нарушает естественный баланс русла и интенсифицирует процессы размыва [2].

Чебоксарский гидроузел как завершающая ступень Волжского гидроэнергетического каскада проектировался и строился с целью создания в европейской части России единого глубоководного пути с гарантированной глубиной судового хода, равной 4 м. Однако Чебоксарское водохранилище осуществляет лишь суточное регулирование стока в целях энергетики. Повышение уровня водохранилища выше отметки 63,0–63,3 м БС происходит в основном во время половодья.

Целью настоящей работы является оценка влияния разработки карьеров нерудных строительных материалов на уровенный и русловый режимы, а также судоходные условия участка реки Волги 1185,0–1250,0 км по судовому ходу. Задачей является выполнение расчетного обоснования в процессе моделирования гидравлических характеристик потока [3] при расчетных уровнях (на верхней границе расчетной области $Z_{\text{верхн}} = 50,00$ м БС; на нижней границе расчетной области $Z_{\text{нижн}} = 49,30$ м БС) и расходе воды $Q = 2000$ м³/с.

При проектном уровне воды гидравлические расчеты выполнялись на основании данных, характеризующих рельеф русла и поймы по материалам батиметрических съемок и лоцманских карт (рис. 1).

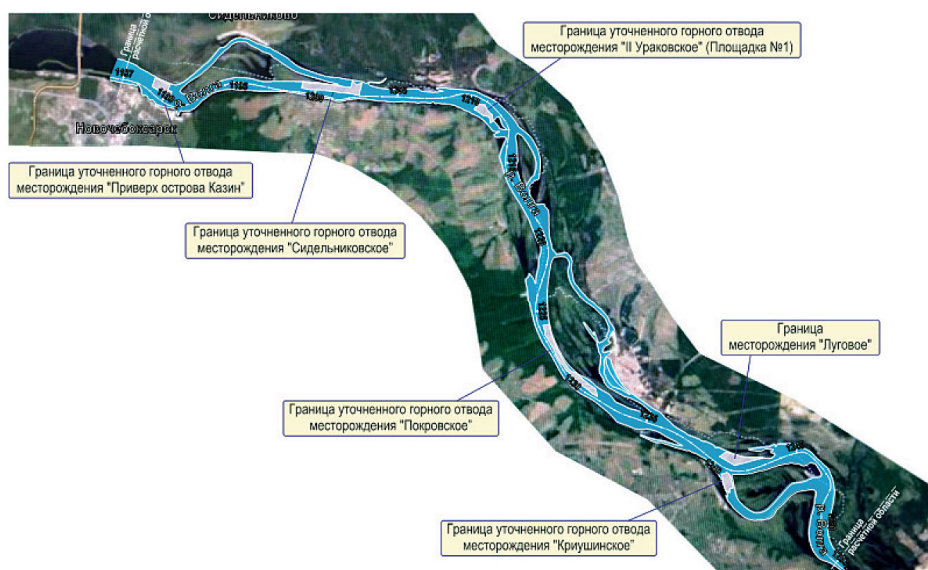


Рис. 1. Схема участка реки Волги в нижнем бьефе Чебоксарского гидроузла с границами моделируемой области

В работе исследовано влияние месторождений нерудных строительных материалов «Приверх острова Казин», «Сидельниковское», «Покровское», «Луговое» и «Криушинское», планируемых к разработке на уровенный и русловой режимы в нижнем бьефе Чебоксарского гидроузла.

Методы и материалы (Methods and Materials)

По результатам предварительной оценки на участке реки Волги были получены расчетные значения расходов и уровней воды, характеризующие гидрологический и русловой режимы, поскольку, согласно имеющимся данным, наибольшие изменения гидравлических характеристик (уровней воды и скоростей течения) наблюдаются в меженные периоды в результате дноуглубительных и добычных работ.

Гидравлические расчеты для сравнительной оценки режима реки были выполнены для двух состояний: бытового (естественного) и проектного (с учетом полной отработки намеченных русловых карьеров)¹. Для оценки влияния разработки карьеров на уровенный режим и русловые деформации было проведено математическое моделирование характеристик течения и транспорта наносов в двумерной постановке с применением системы уравнений Сен-Венана в программном комплексе FLOOD, апробированном на практике при проектировании инженерных воднотранспортных мероприятий [4], [5]. Указанная система включает уравнение неустановившегося движения воды в реке, а также уравнения неразрывности и деформаций. Система уравнений замыкается эмпирическими зависимостями для коэффициента Шези и расхода наносов при соответствующих начальных и граничных условиях, характеризующих гидравлико-морфометрические и гидрологические особенности участка.

На рис. 2 приведены результаты расчета отметок свободной поверхности по длине исследуемого участка для бытового и проектного состояний русла. Результаты гидравлических расчетов в бытовом состоянии русла показывают, что при проектном уровне воды на верхнем участке Куйбышевского водохранилища, находящемся в зоне переменного подпора, наблюдаются малые уклоны свободной поверхности. При этом на верхнем участке расчетной области от створа гидроузла до н. п. Ураково, средний уклон свободной поверхности составляет величину около 1,36 см/км. На нижерасположенном участке реки средний уклон равен 0,76 см/км, т. е. почти в два раза меньше, чем на приплотинном участке в нижнем бьефе гидроузла.

¹ Добыча нерудных строительных материалов в водных объектах. Учет руслового процесса и рекомендации по проектированию и эксплуатации русловых карьеров. СТО ФГБУ «ГГИ» 52.08–2012.

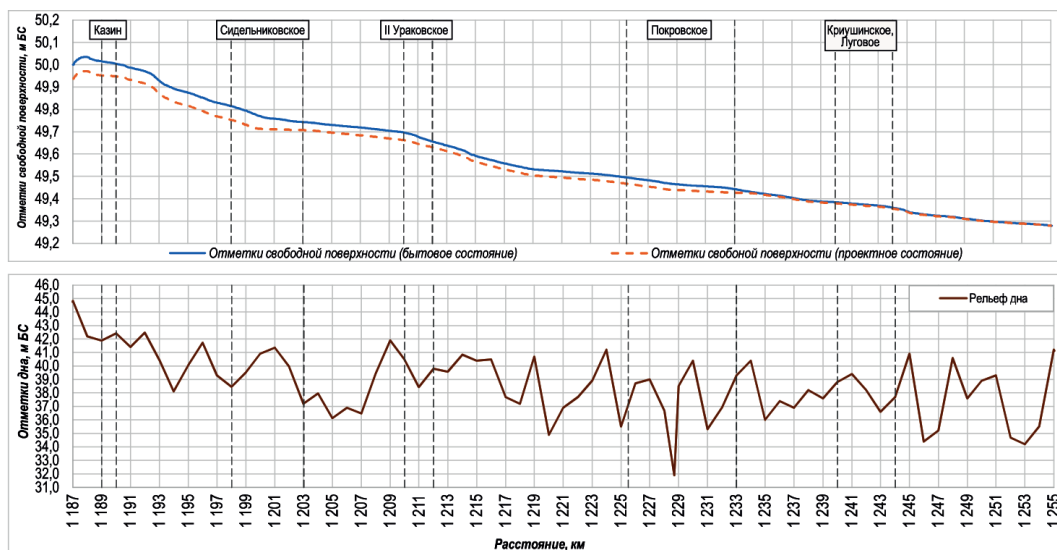


Рис. 2. Продольные профили отметок свободной поверхности и отметок дна по оси судового хода

Проведенные расчеты отметок свободной поверхности воды (см. рис. 2) показали, что при существующих естественных уклонах русла разработка намеченных по длине реки карьеров окажет незначительное воздействие на положение уровней воды. Основным последствием является формирование локальных понижений уровня в районе верхнего уступа карьера. На участке реки, расположенном выше карьера, формируется кривая спада уровней воды и происходит частичная компенсация снижения уровней воды. По длине реки, снизу вверх против течения воды, происходит суммирование локальных понижений отметок уровней воды в карьерах.

На верхней границе расчетной области в районе оголовка дамбы нижнего подходного канала к Чебоксарским шлюзам суммарное понижение уровня воды при разработке всех карьеров остается несущественным и составляет около 6,2 см. Исследования² подтверждают, что компенсация (восстановление) понижений уровней на межкарьерных участках выражена слабо. Согласно имеющимся данным, степень восстановления уровня воды находится в прямой зависимости от величины уклона водной поверхности и длины участка, и в обратной зависимости от глубины потока. В случае одновременной разработки карьеров в отведенных границах месторождений на данном участке реки Волги в нижнем бьефе Чебоксарского гидроузла максимальная величина снижения уровней воды в районе подходного канала к шлюзам останется в пределах точности измерения глубин на судовом ходу.

Как показали результаты выполненных гидравлических расчетов по оценке влияния карьеров нерудных строительных материалов на уреченный режим реки, наибольшее снижение уровней воды произойдет в результате разработки месторождения «Сидельниковское». Данное месторождение имеет относительно большую длину и расположено на участке реки выше н. п. Ураково, где уклоны свободной поверхности больше, чем на нижерасположенном участке. Влияние трех нижерасположенных месторождений на уреченный режим реки оказалось незначительным. В реальных условиях при разработке двух верхних месторождений – «Приверх острова Казин» и «Сидельниковское» – наряду с увеличением емкости русла в границах разрабатываемых месторождений на положение уровней воды будут оказывать влияние сезонные и многолетние переформирования, происходящие в русле реки.

Интенсивность и направленность русловых переформирований определяются величиной скорости течения воды и знаком конвективного ускорения ($\partial V / \partial L$)-производной от изменения

² Руководство по улучшению судоходных условий на свободных реках. СПб.; ЛИВТ, 1992. 312 с.

скорости по длине потока. При этом, если скорость течения воды оказывается больше неразмывающей скорости течения и возрастает по длине реки, т. е. $\partial V / \partial L > 0$, то на данном участке следует ожидать размыв русла и, наоборот, при отрицательных конвективных ускорениях на участке, когда скорость уменьшается по длине, происходит отложение наносов.

На рис. 3 представлены совмещенные продольные профили средних скоростей течения на судовом ходу, соответствующие бытовому и проектному состояниям русла, а также профиль неразмывающей скорости течения, рассчитанный по методике В. Н. Гончарова.

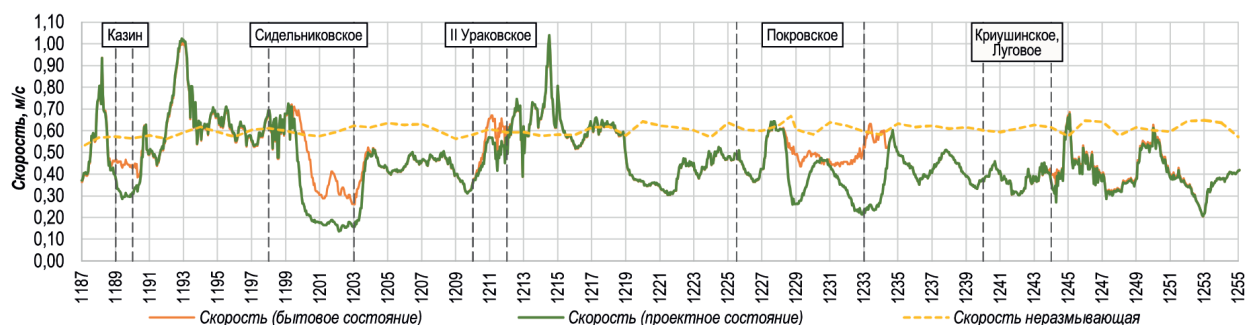


Рис. 3. Продольные профили средних скоростей течения воды по оси судового хода

Результаты выполненных расчетов позволяют оценить гидравлические характеристики потока и свидетельствуют о том, что при проектном уровне воды средние скорости течения на судовом ходу в пределах моделируемого участка варьируются в диапазоне 0,4–0,5 м/с. В верхней части исследуемого участка на некоторых отрезках русла скорость потока незначительно превышает неразмывающую скорость, что указывает на ограниченные деформации в русле. На участке ниже н. п. Ураково до нижней границы расчетной области скорость течения на судовом ходу не превышает неразмывающую скорость. Разработка месторождений нерудных строительных материалов окажет влияние на гидравлические характеристики потока, приведя к снижению скоростей течения на судовом ходу в зоне влияния разрабатываемых карьеров. Результаты расчетов скоростей течения воды для бытового и проектного состояний русла представлены на совмещенных поперечных сечениях для каждого из разрабатываемых карьеров на рис. 4.

На рис. 4, а показано поперечное сечение русла в районе месторождения «Приверх острова Казин». Полученные результаты показывают, что разработка карьера, занимающего часть ширины русла реки, приведет к уменьшению скорости течения на всем участке в районе расположения руслового карьера. В пределах судового хода наблюдается снижение скорости течения приблизительно на 40 % относительно бытовых условий русла.

На рис. 4, б показано поперечное сечение русла в районе месторождения «Сидельниковское». Месторождение «Сидельниковское» расположено в основном рукаве на участке разветвления русла реки, в нижней части Воложки Новинская. В связи с малой пропускной способностью несудоходной Сидельниковской воложки в межень разработка данного месторождения скажется на гидравлических характеристиках потока преимущественно в основном русле реки. Руслевой карьер перераспределяет расход воды в свою пользу. На судовом ходу после его разработки скорость течения воды снизится в два раза.

На рис. 4, в показано поперечное сечение русла в районе месторождения «II Ураковское», расположенного на правобережном побочне у выпуклого берега в основном рукаве в районе переката Демешкинский. Гидравлическая картина речного потока на данном участке является благоприятной для судоходства. Влияние карьера практически локализуется в границах месторождения и не скажется на скоростном режиме на судовом ходу. Разрабатываемый карьер будет способствовать аккумулярованию наносов со стороны судового хода в направлении выпуклого берега и снижению интенсивности роста правобережного побочня [6].

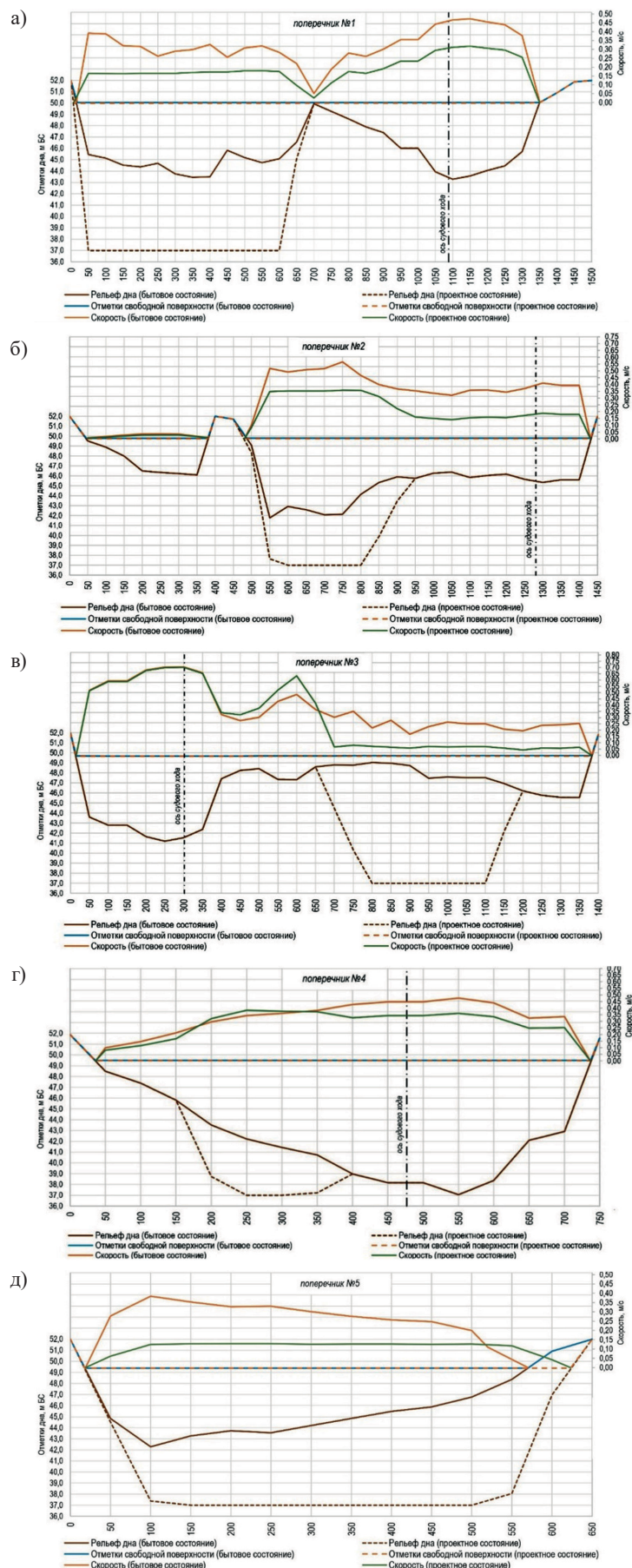


Рис. 4. Поперечное сечение русла на участках месторождений: а — «Приверх острова Казин»; б — «Сидельниковское»; в — «П Ураковское»; г — «Покровское»; д — «Криушинское»

На рис. 4, *з* показано поперечное сечение русла в районе месторождения «Покровское». Это месторождение расположено узкой полосой вдоль левого берега в районе переката Кушниковский. На рассматриваемом участке речной поток протекает вдоль правого прижимного вогнутого берега, где к настоящему времени сформировались судоходные глубины до 15,0–17,1 м при нормальном подпорном уровне воды. В бытовом состоянии в межень средняя скорость течения воды на судовом ходу составляет приблизительно 0,45 м/с. Разработка карьера приведет к некоторому перераспределению расхода воды, что впоследствии вызовет снижение скорости течения на судовом ходу примерно до 0,35 м/с.

На рис. 4, *д* показано поперечное сечение русла в районе месторождения «Криушинское». Месторождение расположено в истоке Криушинской воложки. Данный участок при условии обеспечения в навигационный период отметки 49,0 м БС в верхнем бьефе Самарского гидроузла находится в зоне постоянного подпора от Куйбышевского водохранилища [7]. Скорости течения на судовом ходу в зоне влияния карьера (см. рис. 3) составляют 0,3–0,4 м/с, не превышая значений неразмывающих скоростей. В этих условиях деформаций дна не происходит. Разработка месторождения не приведет к изменению гидравлических характеристик потока на участке разветвления и не повлияет на судоходные условия. Анализ скоростного режима потока по длине судового хода на рассматриваемом на рис. 3 участке реки показал, что при проектном уровне воды деформации дна возможны только в границах месторождения «Сидельниковское». В зоне влияния всех остальных карьеров скорости течения оказались меньше неразмывающих величин, и деформаций дна в ходе выполнения гидравлических расчетов не выявлено.

На рис. 5 показаны фрагменты результатов математического моделирования гидравлических характеристик потока в пределах месторождения «Сидельниковское» для бытового и проектного состояний.

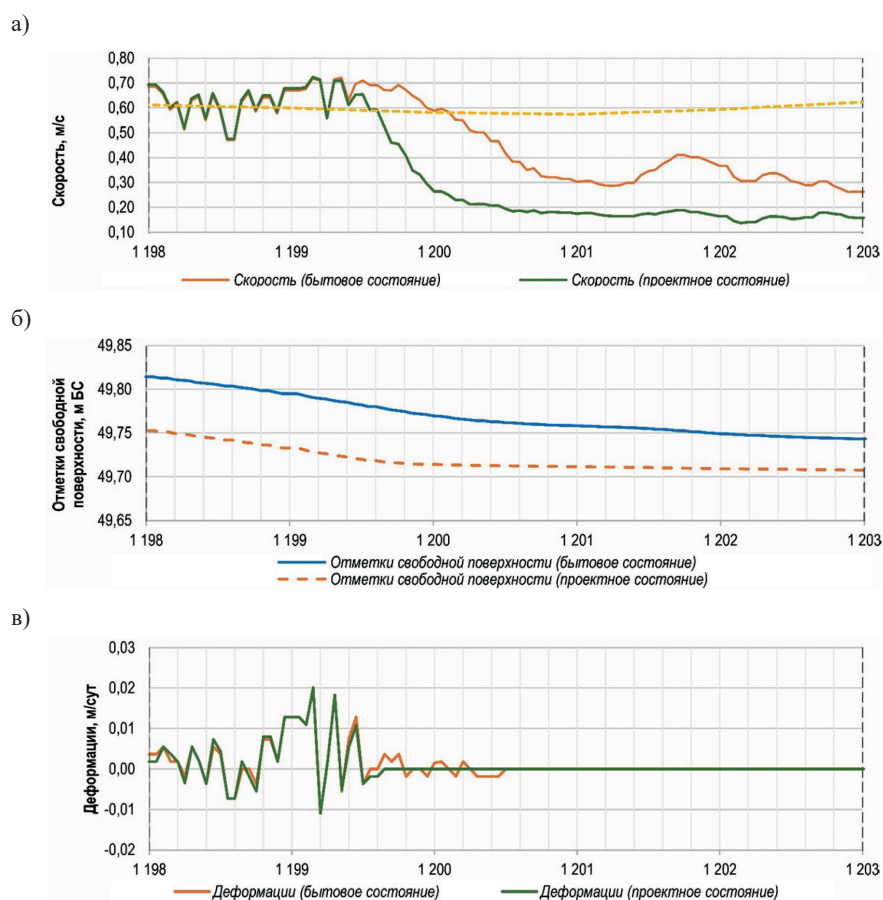


Рис. 5. Совмещенные профили: *а* — средней на вертикали скорости течения на судовом ходу, неразмывающей скорости течения; *б* — профилей свободной поверхности; *в* — скорости начальной деформации дна

Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что в верхней части судового хода в пределах месторождения средние на вертикали скорости течения воды на некоторых участках незначительно превышают неразмывающую скорость. Превышение составляет порядка 0,1 м/с. В то же время в нижней части карьера скорости течения оказались меньше значений неразмывающей скорости. По результатам выполненных расчетов в верхней части участка наблюдаются знакопеременные деформации дна с максимальной интенсивностью до 2 см/сут. В проектном состоянии после полной отработки карьера протяженность участка русла, подверженного деформациям, сократилась на 400 м, а интенсивность деформаций снизилась.

Результаты (Results)

Проведенные исследования заносимости русловых карьеров на реках показали, что заполнение отработанных емкостей больших карьеров речным аллювием происходит за счет двух основных факторов: в результате перемещения верхового уступа карьера и поступления наносов со стороны боковых кромок выемки. В соответствии с этим нижняя часть руслового карьера, разрабатываемого на месторождении «Сидельниковское», будет заполняться наносами со стороны правого откоса выемки в результате отвлечения аллювия со стороны судового хода в основном русле реки, а также со стороны левой кромки карьера за счет наносов, поступающих из Сидельниковской воложки. С течением времени, по мере заполнения карьера наносами, глубины на участке реки вблизи карьера будут постепенно выравниваться, т. е. произойдет дальнейшее понижение отметок дна на судовом ходу, в том числе в границах Морпосадского переката. Границы горного отвода месторождения «II Ураковское» определены на правобережном побочне в вершине излучины реки Волги в интервале значений 1210–1212 км судового хода.

В соответствии с основными положениями гидроморфологической теории руслового процесса [8] специфика развития руслового процесса на таких участках заключается в том, что в районе выпуклого берега речной излучины происходит отложение наносов. В свою очередь, противоположный вогнутый берег реки размывается потоком, что приводит к прогрессирующему искривлению судового хода, расположенного у прижимного берега. Об этом, в частности, свидетельствует сопоставление материалов Лоцманских карт за 2006 и 2022 гг., откуда следует, что на участке 1208,7–1210,0 км, расположенном выше границы месторождения, происходит рост в размерах правобережного побочня и его перемещение в направлении судового хода со стороны правой кромки. Для обеспечения безопасности судоходства на данном участке при подходе к нему сверху по течению реки установлен буй на правой кромке судового хода.

Выполненные в настоящей работе расчеты гидравлических характеристик потока реки Волги в районе данного месторождения (рис. 6) показали, что в результате разработки руслового карьера скорость течения воды в его границах существенно снизится. Донные струи речного потока в районе перемычки, расположенной между основным руслом и русловым карьером, направлены в сторону отработанного карьера (проектное состояние с учетом полной отработки карьеров на месторождениях 1187–2053 км по судовому ходу), что будет способствовать отложению наносов в использованные емкости за пределами судового хода. В настоящее время на участке судового хода 1210–1212 км реки Волги минимальная глубина составляет 7,2 м.

Расположенные в нижнем бьефе Чебоксарского гидроузла «Сидельниковское», «II Ураковское» и «Покровское» месторождения расположены на однорукавных участках русла реки Волги в непосредственной близости от основного судового хода. Режим русловых переформирований в зоне влияния этих карьеров будет заключаться в том, что по мере их отработки и последующей заносимости речными наносами будет происходить постепенное выравнивание глубин в русле реки с общим трендом на понижение отметок дна, в том числе в границах судового хода. С течением времени, после полной отработки карьеров, судовые ходы приобретут более прямолинейные очертания, уменьшится их кривизна и появится возможность снять имеющиеся ограничения на обгон и расхождение судов и составов.

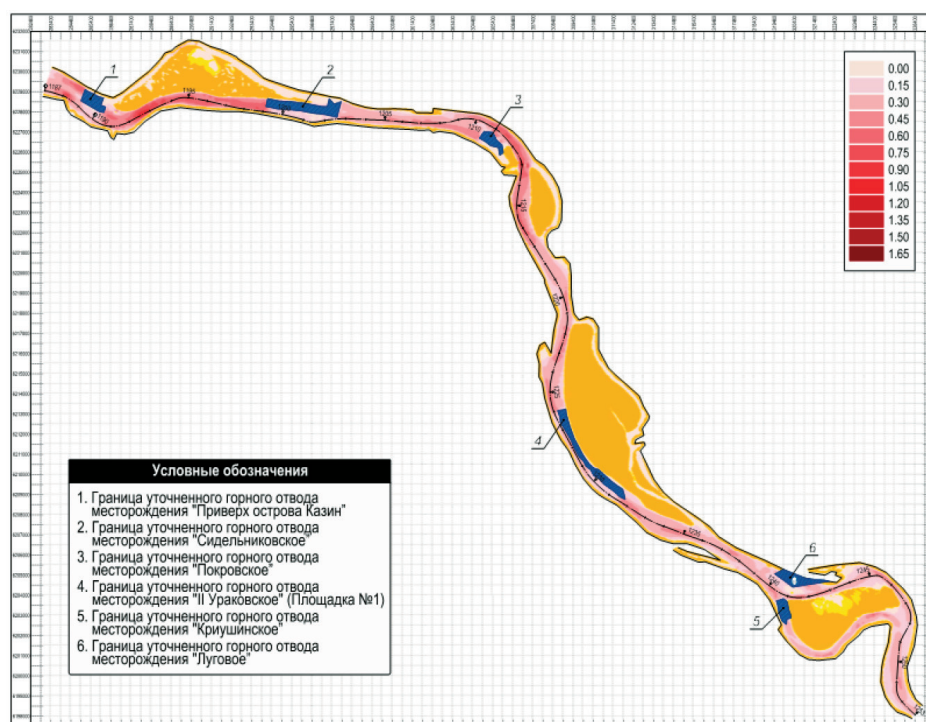


Рис. 6. Поле средних скоростей течения воды
по данным компьютерной обработки, м/с (проектное состояние)

Аналогичную картину влияния разработки карьеров на гидравлические характеристики речного потока, переформирования русла реки и условия содержания судовых ходов следует ожидать при отработке других месторождений, рассмотренных в настоящей работе. В соответствии с требованиями действующего законодательства недропользователю рекомендуется осуществлять локальный мониторинг дна и берегов водного объекта на участках разработки карьеров.

Выводы (Summary)

На основе проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. С момента ввода Чебоксарского гидроузла в эксплуатацию в нижнем бьефе активизировались эрозионные процессы, что привело к одностороннему понижению отметок дна на судовом ходу. До 2006 г. средняя глубина на судовом ходу ежегодно увеличивалась на 4,4 см. За последний анализируемый отрезок времени (с 2006 по 2022 гг.) на участке наблюдались незначительные знакопеременные деформации. На верхнем 30-километровом отрезке водного пути, расположенном от створа Чебоксарского гидроузла до н. п. Ураково, наблюдалась тенденция понижения отметок дна на судовом ходу со средней интенсивностью около 1,1 см в год.

2. Результаты математического моделирования скоростей течения воды и деформаций русла реки на рассматриваемом участке реки Волги показали, что при проектном уровне воды в нижнем бьефе гидроузла в границах расчетной области на участке наблюдаются минимальные значения скоростей течения воды и незначительные уклоны свободной поверхности [9].

3. Влияние разработки русловых карьеров на данном участке в этих условиях не приведет к дополнительному снижению уровня воды, интенсификации эрозионных процессов и необходимости корректировки планового положения судового хода в нижнем бьефе Чебоксарского гидроузла [10].

4. Эксплуатация месторождений нерудных строительных материалов в нижнем бьефе Чебоксарского гидроузла при соблюдении стандартной технологической схемы разработки и запланированных объемов добычи из месторождений не внесет значимых изменений в естественный водный и русловой режимы [11].

5. Освоение запланированных к разработке карьеров не приведет к ухудшению условий судоходства на данном участке реки Волги. В зоне влияния карьеров не потребуется проведения дополнительных русловыправительных и дноуглубительных работ при содержании транзитных судовых ходов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гладков Г. Л. Гидроморфология русел судоходных рек / Г. Л. Гладков, Р. С. Чалов, К. М. Беркович. — Санкт-Петербург: Лань, 2023. — 432 с. — EDN WIKSCS.
2. Агеев С. Н. Улучшение судоходных условий на участках расположения русловых карьеров нерудных строительных материалов: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук; специальность: 05.22.17 «Водные пути сообщения и гидрография» / С. Н. Агеев. — Новосибирск: НГАСУ, 1998. — 102 с. — EDN NFMCBV.
3. Соболев С. В. Взгляд в завтра: транспортный гидроузел на Р. Волге / С. В. Соболев, А. В. Февралев // Приволжский научный журнал. — 2020. — № 4(56). — С. 174–180. — EDN VJOZUQ.
4. Беликов В. В. Модели мелкой воды в задачах речной гидродинамики / В. В. Беликов, А. И. Алексюк. — Москва: Российская Академия наук, 2020. — 346 с. — EDN UYFXSP.
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2002610941 Российская Федерация. Комплекс программ для расчета речных течений (FLOOD) / Беляков П. В., Милитеев А. Н. — № 2002610689; заявл. 25.04.2002; опубл. 13.06.2002.
6. Гладков Г. Л. Гидравлические характеристики речного потока и условия транспорта наносов в нижнем бьефе гидроузла / Г. Л. Гладков, П. С. Ржаковская // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2023. — Т. 15. — № 3. — С. 344–358. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-3-344-358. — EDN KNHYGH.
7. Ильина А. А. Гидрологические и экологические проблемы Чебоксарского и Куйбышевского водохранилищ Чебоксарского участка Чувашской Республики / А. А. Ильина, И. В. Никонорова, В. Н. Ильин, Е. А. Никитина // Успехи современного естествознания. — 2023. — № 6. — С. 34–39. DOI: 10.17513/use.38050. — EDN JFIWHY.
8. Кондратьев Н. Е. Основы гидроморфологической теории руслового процесса / Н. Е. Кондратьев, И. В. Попов, Б. Ф. Смищенко. — Л: Гидрометеиздат, 1982. — 272 с.
9. Агеева В. В. Численное моделирование участка реки в трехмерной постановке задачи для корректировки параметров проектируемых русловых карьеров / В. В. Агеева, Е. А. Люкина, Д. А. Мильцын, А. А. Ханова // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2023. — № 1. — С. 72–79. DOI: 10.24143/2073-1574-2023-1-72-79. — EDN SZNJPG.
10. Беркович К. М. Разработка русловых карьеров в подвижных руслах рек: реакция, последствия и перспективы / К. М. Беркович, Л. В. Злотина, Л. А. Турыкин // Известия Русского географического общества. — 2023. — Т. 155. — № 1. — С. 13–20. DOI: 10.31857/S0869607123010032. — EDN HCVANJ.
11. Чалов Р. С. Гидролого-географические аспекты управления русловыми процессами / Р. С. Чалов // Вестник Московского университета. Серия 5: География. — 2019. — № 6. — С. 11–19. — EDN VBVDXX.

REFERENCES

1. Gladkov, G. L., and R. S. Chalov, K. M. Berkovich. *Hydromorphology of navigable river beds*. — 4th ed., Erased — St. Petersburg: Doe, 2023.
2. Ageev, S. N. *Uluchshenie sudokhodnykh usloviy na uchastkakh raspolzheniya ruslovykh kar'rov nerudnykh stroitel'nykh materialov*. PhD diss. Novosibirsk, 1998.
3. Sobol', S. V. and A. V. Fevrale. "A look into tomorrow: a transport hub on the Volga river." *Privolzhsky Scientific Journal* 4(56) (2020): 174–180.
4. Belikov, V. V. and A. I. Alekseyuk. *Modeli melkoy vody v zadachakh rechnoy gidrodinamiki*. Moskva: Rossiyskaya akademiya nauk, 2020: 346.
5. Belikov, V. V. and Militeev A. N. RU 2 002 610 941. *Kompleks programm dlya rascheta rechnykh techeniy (FLOOD)*. Russian Federation, assignee. Publ. June 13.

6. Gladkov, G. L. and P. S. Rzhakovskaya. "Hydraulic characteristics of the river flow and sediment transport conditions in the downstream pool of the hydroelectric complex." *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 15.3 (2023): 344–358. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-3-344-358.

7. Il'ina, A. A., I. V. Nikonorova, V. N. Il'in and E. A. Nikitina. "Hydrological and ecological problems of cheboksary and kuibyshev reservoirs of cheboksary section of the chuvash republic." *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* 6 (2023): 34–39. DOI: 10.17513/use.38050.

8. Kondrat'ev, N. E., I. V. Popov and B. F. Snischenko. *Osnovy gidromorfologicheskoy teorii ruslovogo protsesssa*. L: Gidrometeoizdat, 1982: 272.

9. Ageeva, V. V., E. A. Lyukina, D. A. Mil'tsyn and A. A. Khanova. "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* 1 (2023): 72–79. DOI: 10.24143/2073-1574-2023-1-72-79.

10. Berkovich, K. M., L. V. Zlotina and L. A. Turykin. "In-stream mining in alluvial river channels: response, consequences and perspectives." *Bulletin of The Russian Geographical Society* 155.1 (2023): 13–20. DOI: 10.31857/S0869607123010032.

11. Chalov, R. S. "Hydrological and geographical aspects of channel processes management." *Lomonosov Geography Journal* 6 (2019): 11–19.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Беляков Пахом Витальевич —

кандидат технических наук

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»

198035, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7

e-mail: belyakovpv@gumrf.ru

Ржаковская Полина Сергеевна —

аспирант, старший преподаватель

Научный руководитель: Гладков Геннадий
Леонидович

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»

198035, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7

e-mail: przhakovskaya@mail.ru

Конопацкий Сергей Васильевич —

старший преподаватель

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»

198035, Российская Федерация,
г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7

e-mail: konopackijsv@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Belyakov, Pakhom V. —

PhD in Technical Sciences

Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping

5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg,
198035, Russian Federation

e-mail: belyakovpv@gumrf.ru

Rzhakovskaya, Polina S. —

Postgraduate, senior lecturer

Supervisor: Gladkov, Gennadii L
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping

5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg,
198035, Russian Federation

e-mail: przhakovskaya@mail.ru

Konopatsky, Sergey V. —

Senior lecturer

Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping

5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg,
198035, Russian Federation

e-mail: konopackijsv@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию: 01 декабря 2025 г.

Received: Dec. 1, 2025