



ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО СУДОХОДСТВА НА РУСЛОВОМ УЧАСТКЕ ВОЛГИ В НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Ю.А. МАМАЕВ*, С.В. КОЗЛОВСКИЙ, А.А. ЯСТРЕБОВ

ФГБУН «Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева» Российской академии наук
13, Уланский переулок, стр. 2, а/я 145, г. Москва 101000, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В структуре Единой глубоководной системы водных путей европейской части Российской Федерации рассматривается русловый участок р. Волги между городами Городец и Нижний Новгород с порогами, которые ограничивают параметры судового хода крупнотоннажных судов.

Цель. Обоснование необходимости разработки проектных решений, обеспечивающих устойчивое судоходство на данном лимитирующем участке реки в течение всего навигационного периода.

Материалы и методы. Анализ инженерно-геологических и геоэкологических условий района, включающего лимитирующий русловый участок Волги.

Результаты. Дается характеристика инженерно-геологических и геоэкологических условий района. Приводится краткое описание отдельных проектных предложений, в том числе двух приоритетных проектов строительства: низконапорного гидроузла и судоходного канала со сравнительной оценкой природно-техногенных факторов, возникающих при их реализации.

Заключение. Важным этапом развития Единой глубоководной системы водных путей европейской части РФ должна стать реализация проекта строительства канала Волго-Дон 2 для пополнения стока р. Дон из Волги с целью улучшения условий судоходства, гидромелиорации земель, водоснабжения населенных пунктов, выработки электроэнергии.

Ключевые слова: глубоководная система водных путей, лимитирующий участок Волги, инженерно-геологические условия, полигоны отходов, экологическая обстановка, низконапорный гидроузел, судоходный канал

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Мамаев Ю.А., Козловский С.В., Ястребов А.А. Геоэкологическое обоснование проекта обеспечения устойчивого судоходства на русловом участке Волги в Нижегородской области. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2020;63(3):60—68. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-3-60-68>

Статья поступила в редакцию 02.05.2020

Принята к публикации 02.11.2020

Опубликована 09.11.2020

* Автор, ответственный за переписку

GEOECOLOGICAL JUSTIFICATION OF A PROJECT OF SUSTAINABLE SHIPPING ON A VOLGA CHANNEL SECTION IN THE NIZHNY NOVGOROD REGION

YURI A. MAMAEV*, SERGEY V. KOZLOVSKY, ALEXEY A. YASTREBOV

*Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS
13, Ulanskiy lane, build. 2, PO Box 145, Moscow 101000, Russia*

ABSTRACT

Background. The Volga river channel with rapids limiting the navigation parameters of large-tonnage vessels between the cities of Gorodets and Nizhny Novgorod is considered in the structure of the Unified deep-water system of waterways of the European part of the Russian Federation.

Aim. To justify the need to develop design solutions providing sustainable navigation in the limiting river section under study during the entire navigation period.

Materials and methods. An analysis of engineering-geological and geoecological conditions of the region, including a limiting channel section of the Volga.

Results. The engineering-geological and geoecological conditions of the region were characterized. A brief description of individual project proposals, including two priority construction projects, a low-pressure hydroelectric unit and a ship canal, was provided with a comparative assessment of natural and man-made factors arising during their implementation.

Conclusion. The implementation of the project for the construction of the Volgo-Don 2 canal should be an important stage in the development of the Unified deep-water system of waterways in the European part of the Russian Federation. It will replenish the Don River from the Volga in order to improve navigation conditions, land irrigation, water supply to settlements, and power generation.

Keywords: deep-water system of waterways, limiting section of the Volga, geotechnical conditions, waste landfills, ecological situation, low-pressure hydroelectric unit, ship canal.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: no financial support was provided for this study.

For citation: Mamaev Yu. A., Kozlovsky S.V., Yastrebov A. A. Geoecological justification of a project of sustainable shipping on a Volga channel section in the Nizhny Novgorod region. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(3):60—68. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-3-60-68>

Manuscript received 02 May 2020

Accepted 02 November 2020

Published 09 November 2020

* Corresponding author

Идея создания Единой глубоководной системы (ЕГС) водных путей европейской части РФ реализуется уже более 50 лет. Система предназначена для связи бассейнов Белого, Балтийского, Каспийского, Черного и Средиземного морей. Она имеет международное значение, обеспечивая транспортный коридор «Север—Юг» между Европой, Азией и Ближним Востоком (рис. 1). Общая протяженность ЕГС — 6,5 тыс. км. Возможен вариант ее увеличения за счет строительства суходоходного канала «Евразия» протяженностью

650 км от Дагестанского побережья Каспийского моря до Таганрогского залива Азовского моря по землям Северного Предкавказья с целью обеспечения выхода судов прикаспийских государств в другие моря и океаны. Важным звеном глубоководной системы является река Волга, которая должна обеспечивать грузопотоки в объеме до 30—34 млн тонн/год, а сейчас обеспечивает около 5 млн тонн/год. Кроме климатических, экономических, организационных и логистических трудностей это обуславливается сложным русловым



Рис. 1. Схема единой глубоководной системы водных путей европейской части РФ

Fig: 1. Diagram of a unified deep-water system of waterways European part of the Russian Federation

участком реки от Горьковской (Нижегородской) ГЭС (Городецкие шлюзы) до г. Нижний Новгород (Сормовский район) протяженностью 54 км, имеющим 16 участков порогов (перекатов) [3]. Процессы эрозии и аккумуляции на данном порожищем участке русла приводят к формированию мелей, которые затрудняют условия проводки крупнотоннажных судов.

Инженерно-геологические и геоэкологические условия района, включающего лимитирующий русловый участок Волги

По схеме инженерно-геологического районирования Восточно-Европейской платформы рассматриваемый спрямленный субмеридиональный участок долины Волги расположен на западной окраине Волго-Уральской антеклизы, представляющей собой приподнятую денудационную равнину, расчлененную сетью рек, оврагов и балок. Долина реки на данном отрезке имеет преимущественно корытообразную форму и ширину до 9—10 км. Русло реки здесь имеет ширину от 700 до 1000 м и глубину до 3—3,5 м [5]. Абсолютные отметки поверхности воды в реке в летне-осенний период — 65—67 м. Ширина левобережной и правобережной пойм по 4 км, за исключением верхней северной части долины, прилегающей к г. Городец, где левый берег высокий, а левобережная пойма узкая. Поймы слабо наклонены в сторону русла реки и имеют абсолютные отметки поверхности от 68 до 70 м. Коренные берега сравнительно высокие — до 110 м. Фрагменты низких террас реки вблизи коренных склонов имеют отметки 73—77 м. Широкая правобережная пойма освоена, заселена, имеет сети транспортного сообщения, промышленные объекты. Левобережная пойма Волги на данном участке не освоена и представляет собой сплошные неудобья с мелким гривисто-западинным заболоченным рельефом, изрезанным многочисленными вытянутыми параллельно реке узкими старицами, образовавшимися на месте ее старого русла. Долина реки имеет переуглубление от 25 до 90 м плиоценового возраста, заполненное четвертичными отложениями, преимущественно песчаного состава, за исключением верхней части участка, прилегающей к г. Городцу, где в русле встречаются полускальные породы верхнепермского возраста, представленные мергелями и твердыми глинами с прослоями алевролитов и мелкозернистых песчаников. Отложения пойм и низких террас представлены мелкозернистыми и пылеватыми песками с маломощными (0,1—0,3 м) прослоями суглинков и супесей. Вниз по геологическому разрезу пески становятся

средне- и крупнозернистыми с включениями гравия и редкой гальки. Отложения проницаемые, размокающие и легко размываемые [5]. Гидрогеологические условия района характеризуются близким залеганием к дневной поверхности грунтовых вод от 0,3—0,5 до 1,5—2,0 м, общим направлением их стока в сторону русла реки, наличием подтопленных участков, в том числе в пределах селитебных и промышленных зон. На правом берегу речной долины на поверхности низких аллювиальных террас располагаются обширные поля торфяников, выработанные участки которых находятся в затопленном состоянии. Фльтрация из них направлена в сторону русла Волги. Активными экзогенными процессами на данной территории являются: береговая и русловая эрозия, суффозия и склоновые процессы на уступах надпойменных террас. Геоэкологическая обстановка на рассматриваемой территории, особенно в правобережной части долины, оценивается как неблагоприятная, что вызывает социальную напряженность населения района. Это обусловлено размещением здесь полигонов с отходами производства и потребления, в том числе опасных отходов с химических предприятий г. Дзержинска, Кстовского нефтеперерабатывающего завода, металлургических предприятий г. Выкса, а также твердых коммунальных отходов [5]. Данные полигоны расположены между обширными торфяными полями и руслом Волги, что обуславливает попадание фильтрата из свалочных толщ в грунтовые воды и далее в реку. Этому способствуют и долины малых рек (Черная, Теплая, Железница и другие), прорезающие поверхность правобережной поймы и впадающие в Волгу. Неблагополучно обстоят дела с очисткой и утилизацией жидких отходов. Из-за отсутствия инженерных водоотводящих сетей и очистных сооружений, а при их наличии в связи с изношенностью и аварийностью, часты случаи выпуска жидких отходов на рельеф с образованием прудов-отстойников или загрязненных болот, фильтрат из которых также попадает в Волгу. Загрязнение воды и донных осадков Волги на данном участке русла пока не столь заметно из-за его проточного режима. Но при строительстве здесь низконапорного гидроузла с водохранилищем данное обстоятельство станет угрозой для местного водоснабжения населенных пунктов и предприятий.

Варианты решений по обеспечению устойчивого судоходства на лимитирующем участке Волги

С 1956 г. уровень воды в нижнем бьефе Нижегородского гидроузла упал на 1,3 м, что существенно осложняет условия судоходства

на рассматриваемом участке. Это обусловлено эрозией русла реки и постоянно проводимыми дноуглубительными работами, приводящими к посадке уровня воды в реке. В связи с этим рассматриваются несколько вариантов проектных предложений, нацеленных на создание и поддержание нормальных судоходных условий с гарантированными глубинами 4,0 м в течение всего навигационного периода. Наиболее перспективными из них являлись:

- повышение уровня воды на порогах нижней ступени Нижегородского шлюза путем устройства водостеснительных (обжимающих) искусственных береговых сооружений на северном участке реки от г. Городец до г. Балахна [5];

- строительство третьей дополнительной нитки нижней ступени Городецких шлюзов Горьковского гидроузла, совмещенное с оптимизацией режимов работы Рыбинского и Горьковского водохранилищ и проведением дноуглубительных работ в русле реки на рассматриваемом участке [2];

- реконструкция нижней ступени Городецких шлюзов в составе Горьковского гидроузла, совмещенная с оптимизацией режимов работы Рыбинского и Горьковского водохранилищ и дополненная дноуглубительными работами в подходном канале, а также на прилегающем к нему участке русла Волги (в ограниченном объеме и без изъятия аллювия из русла реки) [1].

Данные предложения не решают проблему в целом. Одни предложения обеспечивают нормальные условия судоходства только на нижней ступени шлюзов, а в русле реки нет, другие малоэффективны и носят временный характер. В частности, по мнению разработчиков проекта строительства Багаевского гидроузла на р. Дон, в составе той же Единой глубоководной системы водных путей европейской части РФ: «...достичь требуемых параметров (габаритов) пути только проведением капитальных и ежегодных дноуглубительных работ и попусками стоков гидроузлов невозможно. Это ведет к посадке уровня воды, и, как следствие, к нарушению работы водохозяйственных объектов» [5]. Данная мера дорогая и временная.

Одним из приоритетных вариантов обеспечения нормальных условий судоходства на этом участке реки является проект строительства Нижегородского низконапорного гидроузла с отметкой нормально подпорного уровня (НПУ) — 68 м [5]. Выбранный участок створа плотины гидроузла расположен в 41 км вниз по течению реки от створа Горьковской ГЭС (г. Городец),

на границе Балахнинского муниципального района и Сормовского района Нижнего Новгорода. Проект гидроузла типичный для условий строительства на равнинных реках, включающий: низконапорную земляную русловую плотину с участком бетонной шестнадцатипролетной водосбросной плотины; две нитки бетонных судоходных шлюзов, безнапорную земляную дамбу, эстакаду и автомобильный мост. Ширина реки на участке створа гидроузла через остров Ревяцкий 600 м, а рукава реки-ручья Никольский — около 100 м. Общая протяженность гидротехнических сооружений низконапорного гидроузла около 5 км. Расчетный напор на сооружения гидроузла — до 10 м. Средний напор 3 м с амплитудой колебания уровня воды 0,5—0,7 м. Проектируемое в составе гидроузла водохранилище будет иметь длину 41 км и ширину от 0,7 до 1,5 км с НПУ — 68 м. Это должно обеспечивать необходимую для нормального судоходства глубину 4 м на нижнем шлюзе Нижегородской ГЭС. Данный проект характеризуется положительными и отрицательными природно-техногенными факторами (табл. 1).

Большинство гидроузлов на Волге имеют комплексное назначение, а данный объект предназначен только для обеспечения судоходства. Из-за малой глубины и объема водохранилища срок его службы как части ЕГС будет небольшим в связи с заилением.

Негативных факторов много. В связи с этим актуальным представляется заключение Научного совета РАН по геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии от 11 сентября 2015 г., в котором говорится о том, что: «среди проектных решений предпочтительнее выглядят варианты, обеспечивающие сохранение сложившейся экосистемы проточного участка Волги, судоходство в нижнем бьефе Городецких шлюзов, и предполагающие обустройство зоны влияния Чебоксарского водохранилища при его НПУ 63 м и не предполагающие строительства новых гидроузлов и повышения отметок водохранилищ — существующих гидроузлов» [4].

Факторы отрицательного воздействия возможного строительства гидроузла на природные и социально-экономические условия района заставляют задуматься о целесообразности реализации предложенного проекта строительства Нижегородского низконапорного гидроузла, а также над альтернативными вариантами решения проблемы устойчивого судоходства. Выше говорилось, что добиться требуемых параметров водного пути (глубины 4 м на всем русловом участке реки)

Таблица 1. Положительные и отрицательные факторы проектируемого гидроузла
Table 1. Positive and negative factors of the projected hydroelectric complex

Проект	Плюсы	Минусы
Нижнегородский гидроузел с водохранилищем	Временное решение проблемы устойчивого судоходства	Землеотвод под сооружения ГУ составит 476,5 га
		Срезка почвенно-растительного слоя объемом около 464 тыс. м ³
		В сооружениях ГУ будет использовано до 9,5 млн м ³ строительных грунтов, такой значительный объем необходимо где-то брать
		Произойдет изменение ландшафтных условий (гибель растительного покрова, изменения биоценозов и агроценозов)
		Площадь затопленных земель составит 5,2 тыс. га
		Нарушатся режимы поверхностного и подземного стоков
		Активизируются процессы: русловой эрозии, переработки берегов, суффозионно-карстовые и склоновые. Прогнозируется отступление береговой линии проектируемого водохранилища на 15—50 м
		Подпор водохранилища распространится на расстояния: по левому берегу — 1,1—2,3 км; по правому берегу — 1,7—3,5 км. Это вызовет подтопление и заболачивание территорий на площади 2,7 тыс. га, в т. ч. в 17 населенных пунктах
		На правом берегу Волги подпор приблизится к полигонам промышленных токсичных отходов и ТКО, расположенных вблизи затопленных выработок торфоразработок. Это повысит риск загрязнения Волги — источника местного водоснабжения
		Проточный русловый режим реки будет нарушен. Весьма вероятно накопление донных наносов, заиление водохранилища, цветение воды, ухудшение ее качества, что отразится на снижении качества жизни населения прилегающих территорий с возможным оттоком населения
		Планируются значительные объемы постоянных работ по берегоукреплению, дноуглублению в связи с быстрым заиливанием ложа водохранилища, созданию систем дренажа и сооружений инженерной защиты
		Не решаются вопросы мелиорации земель, энергетики, водоснабжения, сохранения и развития рыбного хозяйства

проведением ежегодных дноуглубительных работ и попусками стоков гидроузлов невозможно, так как это ведет к посадке уровня воды и, как следствие, к нарушению работы водохозяйственных объектов и самих шлюзов.

Вариант строительства судоходного канала

Для обеспечения долговременного надежного судоходства на данном участке долины Волги и сохранения сложившейся экосистемы района в качестве альтернативного варианта авторами предлагается вариант строительства судоходного канала с гидроизоляцией и бетонной облицовкой (типа наполняемой и сливаемой, при необходимости, ванны), проходящего по широкой левобережной пойме и старому руслу Волги (рис. 2). Протяженность канала может составить 50 км, глубина 5,5 м, ширина 30—35 м со швартовочными (одновременно разворотными) «карманами» для пропуска встречных судов, с тремя шлюзами:

Городецкий (нижний Городецкий шлюз), Балахнинский или Срединный (на траверзе г. Балахна), Сормовский в районе острова Ревяжский. Канал трассируется по прямой линии параллельно спрямленному участку долины р. Волги от г. Городец до г. Нижний Новгород по левобережной широкой поверхности поймы в песчаных легко разрабатываемых грунтах. При строительстве канала на данной неосвоенной территории не будет проблем, связанных с застройкой земли, сложными геологическими условиями, наличием инженерных коммуникаций и дорог. Гидродинамический режим водной массы в канале (глубина, скорость течения воды) будет легко контролируемым и управляемым. В зимнее время воду в канале можно сделать незамерзающей, проложив на дне канала вдоль оснований боковых стенок перфорированные трубы и пустив в них сжатый воздух. Пузырьки воздуха, поднимаясь на поверхность воды, не дают ей замерзнуть даже в сильные морозы. Это позволит

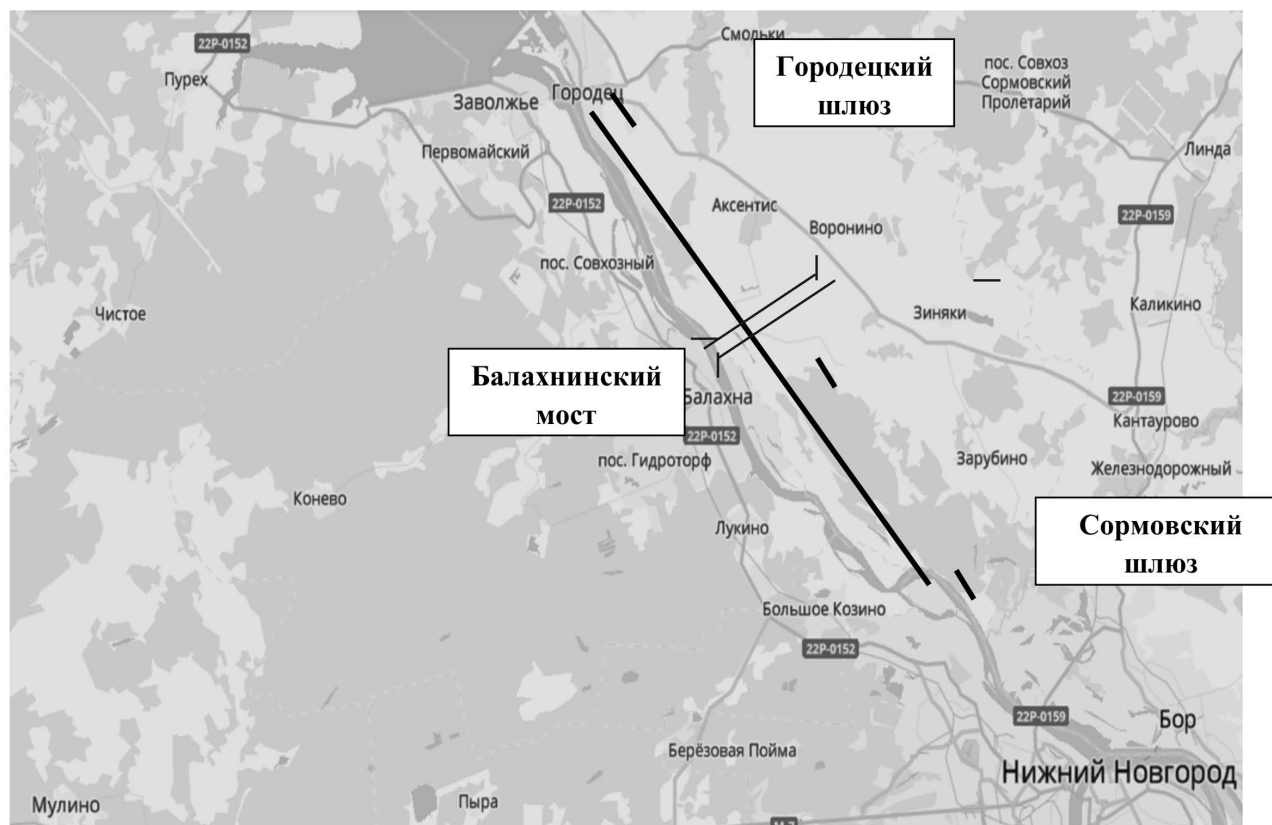


Рис. 2. Схема района предполагаемого строительства
Fig. 2. Scheme of the area of the proposed construction

наладить надежное круглогодичное водное сообщение между городами Нижний Новгород и Городец. В районе г. Балахна или острова Ревяцкий возможна реализация проекта строительства (на предполагаемой федеральной трассе) автомобильного моста, пересекающего долину Волги с руслом реки и судоходным каналом. Это значительно снизит объемы автотранспортных транзитных перевозок через г. Нижний Новгород; улучшит экологическую ситуацию в городе. Характеристика условий при реализации предлагаемого варианта строительства судоходного канала приведена в таблице 2.

Исходя из экспертной оценки стоимости строительства канала «Евразия» между Азовским и Каспийским морями в регионе Северного Предкавказья, стоимость строительства 1 км канала в близких геологических условиях составляет 538 млн руб. Следовательно, стоимость строительства канала Городец — Нижний Новгород будет около 27 млрд руб. Если отталкиваться от стоимости строительства 1 км метрополитена мелкого заложения со станционным

комплексом (4,5 млрд руб./км), с учетом понижающих коэффициентов на отсутствие станций, кровли, путей, электрических кабелей и другой инженерной инфраструктуры, ориентировочная стоимость строительства канала составит 40 млрд руб. По-видимому, это и будут границы диапазона стоимостных оценок строительства данного канала. Примерные сроки строительства канала 1,5—2 года с учетом зимних периодов и второй категории сложности инженерно-геологических условий участка строительства.

Следует отметить, что в XX веке с менее развитыми технологиями строительства в европейской части РФ были построены судоходные каналы: Беломоро-Балтийский протяженностью 220 км, Волго-Донской — 101 км, канал им. Москвы — 128 км и другие. Построенная в наше время ровная лента Нижегородского судоходного канала будет не только способствовать решению важной народно-хозяйственной задачи — обеспечению долговременного и устойчивого судоходства на сложном участке реки, но и украсит неудобную гривисто-западинную заболоченную

Таблица 2. Условия реализации предполагаемого варианта строительства канала
Table 2. Conditions for the implementation of the proposed variant of the canal construction

Проект	Плюсы	Минусы
Судоходный канал	Обеспечение устойчивого долговременного (50 и более лет) судоходства	Ограниченное воздействие на природные условия участка левобережной поймы в период строительства
	Сохранение сложившейся экосистемы района. Недопущение процессов затопления и подтопления территорий, активизации эрозионных процессов	
	Сохранение экологических условий эксплуатации полигонов промышленных и коммунальных отходов	
	Развитие автодорожной инфраструктуры района и его экономики. Снижение транспортного потока через г. Нижний Новгород	
	Участие в строительстве промышленных предприятий Н. Новгорода (ЖБИ, бетон, асфальт)	
	Создание дополнительных рабочих мест на предприятиях, строительстве и обслуживании канала	
	Не потребуются использование запасов местных месторождений строительных материалов. Песок для бетона, насыпей (возможно, моста) берется с участка строительства	
	Предпосылки комплексного развития территории (водоснабжение, мелиорация, рыбоводство и др.)	

поверхность левобережной поймы Волги, которая, когда-то являлась ее старым руслом.

Представляется очевидным, что дальнейшим важным этапом развития Единой глубоководной системы водных путей европейской части РФ

должна стать реализация проекта строительства канала Волго-Дон 2 для пополнения стока р. Дон из Волги с целью улучшения условий судоходства, гидромелиорации земель, водоснабжения населенных пунктов, выработки электроэнергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каменский С.Б., Чуразов А.Г. Сохранение проточного участка в Нижегородском Приволжье — важный шаг к возрождению Волги // Астраханский вестник экологического образования. 2017. № 1 (39). С. 110—121.
2. Кривошей В.А. О регулировании режимов работы водохранилищ // Астраханский вестник экологического образования. 2015. № 4 (34). С. 116—124.
3. Орехов В.Ф. Об экологических проблемах Волжского бассейна и путях их решения // Труды 3-й всероссийской научной конференции «Проблемы экологии Волжского бассейна». 2018. Вып. 1. С. 1—13.
4. Протокол заседания Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии от 11.09.2015 г. 14 с.
5. Сводные материалы проектной документации и дополнительных инженерных изысканий по объекту: «Строительство Нижегородского низконапорного гидроузла. 1-й этап», выполненных по государственному контракту № 43 от 31.05.2017 г. // ФБУ «Администрация волжского бассейна», ООО «Техтрансстрой», 2018.

REFERENCES

1. Kamenskij S.B., Churazov A.G. Maintaining the natural state of the flow of the Volga in Nizhny Novgorod — an important step towards the revival of the Volga // Astrahanskij vestnik jekologicheskogo obrazovanija, 2017, vol. 39, no. 1, pp. 110—121 (in Russian).
2. Krivoshej V.A. Regulations for water reservoir operation // Astrahanskij vestnik jekologicheskogo obrazovanija, 2015, vol. 34, No. 4, pp. 116—124 (in Russian).
3. Orekhov V.F. Ob jekologicheskikh problemah Volzhskogo bassejna i putjah ih reshenija// Trudy 3-j vserossijskoj nauchnoj konferencii «Problemy jekologii Volzhskogo bassejna». Vypusk 1, 2018. pp. 1—13 (in Russian).
4. Osipov V.I. Protokol zasedanija Nauchnogo soveta RAN po problemam geojekologii, inzhenernoj geologii i gidrogeologii ot 11.09.2015 g. 14 p. (in Russian).
5. Svodnye materialy proektnoj dokumentacii i dopolnitel'nyh inzhenernyh izyskanij po ob#ektu: Stroitel'stvo Nizhegorodskogo nizkonapornogo gidrouzla. 1-j jetap», vypolnennyh po gosudarstvennomu kontraktu No. 43 ot 31.05.2017g. // FBU Administracija volzhskogo bassejna, ООО «Tehtransstroj», 2018. (in Russian).

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Мамаев Ю.А. — разработал концепцию статьи, подготовил текст статьи, провел анализ данных, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Козловский С.В. — внес вклад в разработку концепции статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Ястребов А.А. — внес вклад в разработку концепции статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Yuri A. Mamaev — developed the article concept, prepared the text, conducted a data analysis, approved the final version of the article, and accepted the responsibility for all aspects of the work.

Sergey V. Kozlovsky — contributed to the development of the concept of the article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article, and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Alexey A. Yastrebov — contributed to the development of the concept of the article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article, and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Мамаев Юрий Александрович* — кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник ФГБУН «Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева» Российской академии наук (ИГЭ РАН).

13, Уланский переулок, стр. 2, а/я 145, г. Москва 101000, Россия

e-mail: direct@geoenv.ru

SPIN-код: 8189-2831

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7018-5405>

Scopus Author ID: 54888944700

Yuri A. Mamaev* — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Leading Researcher Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS (IEG RAS).

13, Ulanskiy lane, build. 2, PO Box 145, Moscow 101000, Russia

e-mail: direct@geoenv.ru

SPIN: 8189-2831

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7018-5405>

Scopus Author ID: 54888944700

Козловский Сергей Викторович — доктор геолого-минералогических наук, заместитель директора по научной работе ФГБУН «Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева» Российской академии наук (ИГЭ РАН).

13, Уланский переулок, стр. 2, а/я 145, г. Москва 101000, Россия

e-mail: direct@geoenv.ru

SPIN-код: 4870-6857

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5064-4109>

Sergey V. Kozlovsky — Dr. of Sci. (Geol.-Min.), Deputy Director for Research of the Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS (IEG RAS).

13, Ulanskiy lane, build. 2, PO Box 145, Moscow 101000, Russia

e-mail: direct@geoenv.ru

SPIN: 4870-6857

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5064-4109>

Ястребов Алексей Александрович — научный сотрудник лаборатории гидрогеоэкологии ФГБУН «Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева» Российской академии наук (ИГЭ РАН).

13, Уланский переулок, стр. 2, а/я 145, г. Москва 101000, Россия

SPIN-код: 4503-0569

Scopus Author ID: 54888566800

Alexey A. Yastrebov — Researcher, Laboratory of Hydrogeoeology of Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS (IEG RAS).

13, Ulanskiy lane, build. 2, PO Box 145, Moscow 101000, Russia

SPIN: 4503-0569

Scopus Author ID: 54888566800

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author