УДК 556.5

А.В. Рахуба¹, М.В. Шмакова²

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МУТНОСТИ ВОДЫ В КУЙБЫШЕВСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

Концентрация взвешенных веществ (или мутность воды) в водохранилище определяет прозрачность воды и, как следствие, проникновение света, интенсивность прогревания, а также сорбционные процессы и интенсивность фотосинтеза. Все это определяет актуальность исследования пространственно-временных закономерностей распространения мутности в разные фазы водности, в том числе и при неблагоприятных метеорологических явлениях. При всей актуальности мониторинга мутности воды и процессов переформирования дна водохранилищ, натурные наблюдения на крупных водохранилищах часто крайне затруднены и дорогостоящи. В этом случае может быть полезно численное моделирование гидродинамических внутриводоемных процессов, которое описывает двухфазный массоперенос по акватории.

Объектом данного исследования является Куйбышевское водохранилище, самое крупное в Волжском каскаде. В основу математического моделирования положена 3D гидродинамическая модель «Волна», разработанная А.В. Рахубой, и интегрированные в нее аналитические формулы расхода наносов и транспортирующей способности потока М.В. Шмаковой.

Очевидно, что распределение взвешенных веществ в водохранилище определяется морфометрией последнего, расположением притоков и стока, интенсивностью поступления твердого вещества с притоками и метеорологическими условиями. Особенности конфигурации Куйбышевского водохранилища, его большая протяженность по долготе приводят к неравномерному распределению мутности воды и удельного расхода наносов по акватории. Значения концентрации взвешенных веществ в северных и южных частях водохранилища меняются в три и более раза, а удельного расхода наносов при сильных ветрах — на порядок.

Приведенная в работе карта распространения максимальной мутности воды Куйбышевского водохранилища построена при гипотетической инициации процессов взмучивания донного грунта по акватории. Особенную ценность этот результат представляет для меженного периода, характеризующегося наименьшей глубиной водоема, а значит наибольшими значениями мутности. Полученная карта распространения максимальной мутности позволит оценить области акватории с наиболее неблагоприятными гидродинамическими условиями, что может стать основой для последующих рекомендаций по мероприятиям, связанным с дноуглубительными работами.

Ключевые слова: взвешенное вещество, гидродинамическая модель, расход наносов

Введение. Взвешенные вещества – это минеральные и органические вещества (частицы глины, песка, ил) и различные микроорганизмы, присутствующие во взвешенном состоянии в толще водного объекта. Концентрация взвешенных веществ (или мутность воды) в водохранилище определяет прозрачность воды и, как следствие, проникновение света, сорбционные процессы, а также интенсивность прогревания и фотосинтеза. Все это влияет на качество воды и жизнедеятельность водных организмов. В статье [Зиновьев, Китаев, 2015] подробно рассматривается характер воздействия повышенных концентраций взвешенных веществ на гидрофауну водоема. Авторы отмечают, что в зависимости от продолжительности периода повышенной мутности «могут происходить выпадения ряда звеньев в цепях питания и взаимодействия биосистем или общая деградация экосистем». Однако, наряду с отрицательным механическим воздействием на экосистемы водных объектов, взвешенные вещества выступают и в качестве транспортера, переносчика высокотоксичных поллютантов [Лепихин, Головачева, 2015].

Все это определяет актуальность исследования пространственно-временных закономерностей распределения мутности в акватории водного объекта для различных гидрометеорологических условий. Результаты анализа наблюдений за мутностью и данных математического моделирования являются безусловной основой для решения актуальных в настоящее время вопросов нормирования сбросов сточных вод. Прежде чем судить об антропогенном влиянии на мутность водных масс речных потоков, необходимо рассмотреть бытовые характеристики мутности и ее изменчивость [Методические основы ..., 1987].

Наблюдения за режимом мутности водохранилищ в настоящее время достаточно нерегулярны и нередко затруднены в условиях экстремальных гидрометеорологических явлений — штормовых ветров, периодов интенсивных и высоких паводков, половодий и так далее. При этом математическое моде-

¹ Институт экологии Волжского бассейна РАН – филиал Самарского федерального исследовательского центра РАН (ИЭВБ РАН – филиал СамНЦ РАН), лаборатория мониторинга водных объектов, канд. техн. н., ст. науч. с.; *e-mail*: rahavum@mail.ru

² Институт озероведения РАН (ИОЗ РАН), лаборатория математических методов моделирования, канд. техн. н., ст. науч. с.; *e-mail*: m-shmakova@yandex.ru

лирование дает возможность оценить пространственно-временные закономерности распределения мутности на акватории в режиме численного эксперимента при воспроизведении различных неблагоприятных гидрометеорологических сценариев. Результаты такого моделирования могут быть полезны при учете качества воды в водохранилище и планировании водохозяйственной деятельности.

В настоящее время для описания двухфазного массопереноса в водном объекте существует два подхода – концепция непрерывного взаимодействия твердой и жидкой фазы и диффузионное распространение твердого вещества в воде. К наиболее эффективным математическим моделям, описывающим формирования полей мутности, относится первый подход. Но он также является и наиболее информационно затратным и требует больших вычислительных усилий. В книге [Wu, 2007] приводится обширный обзор математических моделей двухфазного речного потока в различных постановках задач, и приводятся рекомендации по их применению.

Объект исследования. Куйбышевское водохранилище является самым крупным в Волжском каскаде. Оно образовано путем перекрытия течения р. Волга осенью 1955 г. в 6 км ниже г. Тольятти. Заполнение водохранилища проходило в три этапа. В 1957 г. уровень воды достиг проектной отметки 53,0 м БС. После сооружения Чебоксарской и Нижнекамской ГЭС площадь водного зеркала водохранилища составила 5900 км², а его общая емкость при нормальном подпорном уровне (НПУ) – 58,0 км³. Общая длина по затопленному руслу р. Волга составляет 510 км, наибольшая ширина – 27 км. Основное питание Куйбышевского водохранилища осуществляется с вышележащих Чебоксарского и Нижнекамского водохранилищ.

Наблюдения за мутностью в Куйбышевском водохранилище велись Тольяттинской ГМО с 1958 г. ежедекадно в открытой части и ежемесячно на поперечных гидрологических разрезах. Для Куйбышевского водохранилища характерна большая степень подвижности водных масс, что ведет к неустановившемуся режиму мутности воды в течение года. По степени насыщения водных масс взвесями значения мутности могут быть близкими к нулю или доходить до 50-100 г/м³ [Гидрометеорологический режим ..., 1978]. Так, в открытой части водоема в зимний период содержание взвешенных наносов в воде не превышает 5-15 г/м3. В период весеннего паводка оно увеличивается до 30–60 г/м³, а летом и осенью убывает до 10-20 г/м³ [Ступишин и др., 1981].

Распределение взвешенных наносов по длине и поперечному сечению водохранилища неравномерно. Повышенное содержание наносов наблюдается на подводных склонах берегов, на стрежне потока и в поверхностных слоях. Такая динамичность присуща любому сезону и различным условиям режима эксплуатации водохранилища. Ход мутности воды резко изменяется, когда на водоеме возника-

ют сильные штормы. В это время степень насыщения воды взвесью значительно увеличивается, превышая в несколько раз полученные средние данные.

Куйбышевское водохранилище является источником промышленного и питьевого водоснабжения большого количества населенных пунктов, расположенных в пределах его береговой зоны, среди которых Казань, Тольятти, Ульяновск, Тетюши, Зеленодольск, Чистополь, Волжск, Новоульяновск. При этом гидротехническое строительство, дноуглубительные работы с целью улучшения судоходных путей и водообмена между протоками, добыча нерудных материалов приводят к возрастанию мутности воды в пределах гидродинамического источника взмучивания и последующего распространения шлейфов мутных вод по акватории. Повышенная мутность воды водного объекта, как уже было отмечено выше, оказывает негативное воздействие на его экосистему, как его гидрологические, гидрохимические характеристики, так и биологические компоненты, включая состояние кормовой базы рыб, условия их нереста и, в конечном итоге, состояние всего рыбного стада [Кондратьева и др., 2012], а также осложняет систему водопользования. Транспортирующая способность потока или его максимальная взвесенесущая нагрузка определяет гидравлические переменные состояния потока. В связи с этим особенный интерес представляет оценка полей максимального насыщения водных масс взвешенными веществами при гипотетической инициации процессов взмучивания донного грунта в акватории. Особенную ценность такие построения представляют для меженного периода, характеризующегося наименьшей глубиной потока, а значит наибольшими значениями мутности.

При всей актуальности мониторинга мутности воды и процессов переформирования дна водохранилищ, натурные наблюдения на крупных водохранилищах часто крайне затруднены и дорогостоящи. В этом случае может быть полезно численное моделирование гидродинамических внутриводоемных процессов, которое описывает двухфазный массоперенос по акватории.

Метод исследования. Согласно [Эдельштейн, 2018], доля аллохтонной взвеси Куйбышевского водохранилища составляет около 10—14% вследствие перехвата продуктов эрозии почв Чебоксарским и Нижнекамским водохранилищами. Ввиду этого, можно пренебречь расчетами вклада эрозии почвы, т. к. основная часть наносов — автохтонная, и рассматривать только внутриводоемные процессы массообмена с учетом поступления твердого стока с водами Волги, Камы и притоков.

В основу последующих расчетов положена 3D гидродинамическая модель «Волна», разработанная А.В. Рахубой [2017] и интегрированные в нее аналитические формулы расхода наносов и транспортирующей способности потока [Шмакова, 2018]. Эта моделирующая система уже использовалась для оценки внутригодового распределения расхода наносов и переформирования дна приплотинного пле-

са Куйбышевского водохранилища [Рахуба, Шмакова, 2018]. При этом полагается, что при незначительных концентрациях твердого вещества в потоке допустим невзаимосвязанный расчет водного потока и наносов [Wu, 2007].

Акватория Куйбышевского водохранилища была разделена на 143 562 расчетных узла прямоугольной сетки с шагом 200 м. Модельный шаг по времени составил 2 с.

Результаты. Для расчета пространственного распределения мутности по акватории Куйбышевского водохранилища был принят средний по водности 1969 г. Расчеты для периодов межени и половодья проводились для стационарного режима при отсутствии ветра, а также для меженного периода при наблюдаемых в летний период расчетного года ветрах ССЗ и ЮЗ направлений со средней скоростью 12 и 10 м/с соответственно [Материалы наблюдений ..., 1969].

Калибровка параметров аналитической формулы расхода наносов проводилась по данным наблюдений на вертикалях Куйбышевского водохранилища [Материалы наблюдений..., 1969] для периодов межени и весеннего половодья 1969 г. (табл.). Относительные отклонения между рассчитанными $S_{\rm pac}$ и наблюденными $S_{\rm набл}$ средними по вертикали значениями мутности воды составили от 2 до 86%.

На рис. 1 приведены карты мутности воды Куйбышевского водохранилища для периодов межени и половодья. В период межени мутность воды не превышает 20 г/м³, причем наибольшие значения приходятся на относительно мелководные северные области водохранилища. Глубоководные центральная и южная части характеризуются относительно небольшими значениями мутности – от 5 до 10 г/м³. В период половодья транспортирующий потенциал водных масс возрастает, что приводит к увеличению концентрации взвешенных веществ. Наибольшие значения мутности воды в северных мелководных областях превышают 60 г/м³, тогда как для центральной и южной частей водохранилища находятся в пределах 20–30 г/м³.

На рис. 2 приведены карты удельного расхода наносов ($\Gamma/(c\cdot m^2)$) в меженный период при ветрах указанных направлений. Согласно полученным результатам, ветер ССЗ направления способствует более интенсивному перемешиванию акватории в ее центральной и северной частях. Удельный расход наносов превышает 2 $\Gamma/(c\cdot m^2)$. Для ветра ЮЗ направления его наибольшие значения приходятся на плесовые расширения в центральной части водохранилища, тогда как в южной части в среднем составляют около $0.5 \ \Gamma/(c\cdot m^2)$.

Расчет поля максимальной мутности воды, т.е. гидродинамического потенциала максимального содержания взвешенных веществ в водной массе для всей акватории Куйбышевского водохранилища основан на совместном решении системы гидродинамических уравнений «мелкой воды» [Рахуба, 2017] и интегрированной в эту систему аналитической формулы транспортирующей способности потока [Шмакова, 2018]. Моделирование было проведено для меженного расхода при стационарном режиме расчета.

На рис. З приведена карта распространения максимальной мутности воды по акватории всего Куйбышевского водохранилища. Как видно, наибольшие значения мутности приходятся на области наименьших глубин в северной части водохранилища и превышают 300 г/м³, а наименьшие на глубоководную южную часть водохранилища, его центральную часть и приплотинный плес и составляют 100–200 г/м³.

Выводы:

 очевидно, что распределение взвешенных веществ в водохранилище определяется морфометрией последнего, расположением притоков и стока,

Таблица Наблюденные и рассчитанные средние по вертикали гидравлические переменные состояния в период летней межени и весеннего половодья 1969 г.

№ вертикали	Пункт	Удельный расход наносов $G_{\text{расч}}$, $\Gamma/\text{с·m}^2$	Мутность воды $S_{_{\rm ИЗМ}}$, г/м 3	Мугность воды $S_{\text{расч}}$, г/м 3	Скорость течения $v_{\text{изм}}$, м/с	Скорость течения <i>v</i> _{расч} , м/с	Глубина $h_{ m pac}$ ч, м
			Межень				
66	с. Вязовые	3,86	15,4	15,0	0,17	0,254	7,93
50	г. Тетюши	0,47	11,7	12,9	0,06	0,036	16,9
63	с. Ундоры	0,31	14,7	14,1	0,08	0,022	9,87
5	с. Климовка	0,35	21,0	12,4	0,10	0,029	37,8
1	г. Тольятти	0,65	9,02	12,2	0,16	0,054	39,8
•		В	есеннее полово	одье	•		•
68	с. Вязовые	33,2	28,5	53,1	0,44	0,64	11,2
50	г. Тетюши	4,57	33,0	29,3	0,14	0,16	18,8
60a	с. Ундоры	4,14	40,4	50,0	0,05	0,08	11,6
88	с. Климовка	1,50	11,4	11,2	0,20	0,13	39,4
1	г. Тольятти	1,76	5,93	10,1	0,29	0,17	41,3

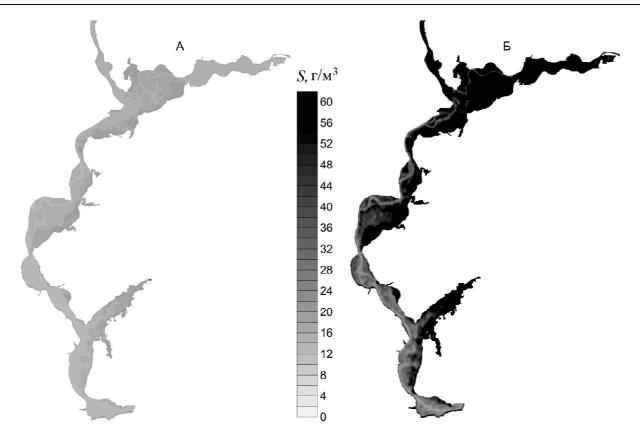


Рис. 1. Карты мутности воды S (Γ/M^3) Куйбышевского водохранилища для периодов межени (A) и половодья (Б) Fig. 1. Maps of water turbidity S (g/m^3) in the Kuibyshev reservoir for low-water (A) and flood (Б) periods

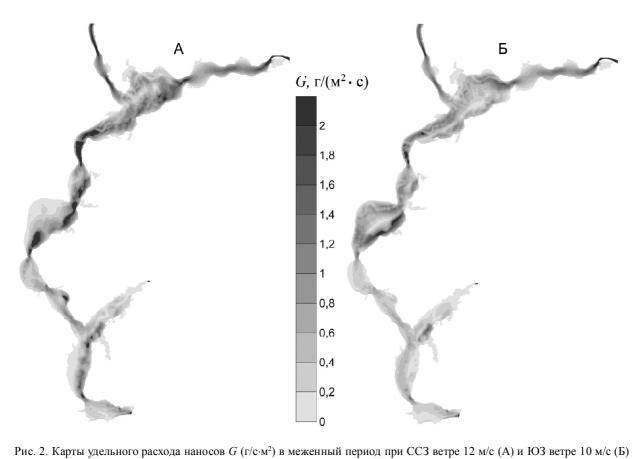


Fig. 2. Maps of specific sediment discharge *G* (g/s·m²) during the low-water period under north-west wind of 12 m/s (A) and south-west wind of 10 m/s (Б)

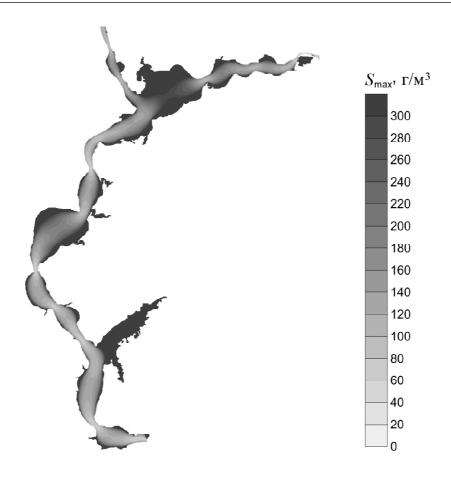


Рис. 3. Карта распространения максимальной мутности воды S_{max} (г/м³) в Куйбышевском водохранилище Fig. 3. Map of the distribution of maximum water turbidity S_{max} (g/m³) in the Kujbyshev Reservoir

интенсивностью поступления твердого вещества с притоками и метеорологическими условиями. Особенности конфигурации Куйбышевского водохранилища, его большая протяженность по долготе приводят к неравномерному распределению мутности воды и удельного расхода наносов по акватории. Значения концентрации взвешенных веществ в северных и южных частях водохранилища меняются в три и более раза, а удельного расхода наносов при сильных ветрах — на порядок;

 приведенная в работе карта распространения максимальной мутности воды Куйбышевского водохранилища построена при гипотетической инициации процессов взмучивания донного грунта по акватории. Особенную ценность этот результат представляет для меженного периода, характеризующегося наименьшей глубиной водоема, а значит наибольшими значениями мутности. Полученная карта распространения максимальной мутности позволит оценить области акватории с наиболее неблагоприятными гидродинамическими условиями, что может стать основой для последующих рекомендаций по мероприятиям, связанным с дноуглубительными работами.

Благодарности. Настоящее исследование проводилось в рамках приоритетного проекта «Сохранение и предотвращение загрязнения реки Волги» (утв. президиумом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и приоритетным проектам, протокол от $30.08.2017 \, \text{№}\, 9$) по теме 3.4. «Разработка концепции по снижению поступления загрязняющих веществ с естественных ландшафтов, селитебных территорий, земель сельскохозяйственного значения, промышленных площадок предприятий, предприятий животноводческого комплекса, полигонов захоронений и свалок, объектов транспортной инфраструктуры».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР: Куйбышевское и Саратовское водохранилища. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. 269 с.

Зиновьев Е.А., Китаев А.Б. О воздействии взвешенных частиц на гидрофауну // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17. № 5. С. 283–288.

Кондратьева Т.А., Захаров С.Д., Халиуллина Л.Ю. Влияние добычи нерудных строительных материалов на экосистемы Куйбышевского водохранилища // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2012. Т. 15. № 19. С. 116–119.

Лепихин А.П., Головачева С.И. К проблеме регламентации отведения взвешенных веществ в естественные водотоки // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2015. № 1. С. 4–13.

Материалы наблюдений на водохранилищах (Дополнение к Гидрологическому ежегоднику). Т. 4. Вып. 4, 8. Куйбышев: Приволжское УГМС, 1972. 270 с.

Методические основы оценки и регламентирования антропогенного влияния на качество поверхностных вод / Под ред. А.В. Караушева. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. 286 с.

Рахуба А.В. Опыт использования измерительно-вычислительной системы «Хитон-Волна» в гидроэкологических исследованиях прибрежной акватории г. Тольятти // Экологические проблемы промышленных городов. 8-я Международная научно-практическая конференция. Саратов, 2017. С. 484—488.

Рахуба А.В., Шмакова М.В. Численное моделирование заиления приплотинного плеса Куйбышевского водохранилища речными наносами // Метеорология и гидрология. 2018. № 1. С 35–48

Ступишин А.В., Трофимов А.М., Широков В.М. Географические особенности формирования берегов и ложа Куйбышевского водохранилища. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1981. 184 с.

Шмакова М.В. Расчеты твердого стока рек и заиления водохранилищ. СПб: Изд-во ВВМ, 2018. 149 с.

Эдельштейн К.К. Лимнология. М.: Юрайт, 2018. 398 с. Wu W. Computational River Dynamics. CRC Press, 2007, 509 p. DOI: 10.4324/9780203938485.

> Поступила в редакцию 31.05.2019 После доработки 15.11.2019 Принята к публикации 06.03.2020

A.V. Rakhuba¹, M.V. Shmakova²

MODELING OF WATER TURBIDITY DISTRIBUTION IN THE KUJBYSHEV RESERVOIR

The concentration of suspended solids (or water turbidity) in a reservoir determines the transparency of water and, as a consequence, the penetration of light, the intensity of heating, as well as sorption processes and photosynthesis intensity. All this determines the importance of the study of spatial-temporal regularities of turbidity distribution during the different phases of water regime, as well as under the adverse meteorological phenomena. While it is important to monitor water turbidity and reservoir bottom reshaping, field observations in large reservoirs are often extremely difficult and expensive. In this case, numerical modeling of hydrodynamic processes in a reservoir, that describes two-phase mass transfer over the water area, may be relevant.

The object of the study is the Kujbyshev reservoir, the largest one in the Volga cascade. The mathematical modeling is based on the 3D hydrodynamic model «Wave» developed by A.V. Rakhuba and integrated analytical formulas for the flow rate of sediment and the transport capacity of the flow suggested by M. V. Shmakova.

It is obvious that the distribution of suspended matter in a reservoir is determined by its morphometry, the location of tributaries and runoff, the intensity of solid matter inflow with tributaries, and the meteorological conditions. Specific configuration of the Kujbyshev Reservoir and its longitudinal extension cause the uneven distribution of water turbidity and specific sediment discharge in the water area. The values of suspended matter concentration in the northern and southern parts of the reservoir vary by three or more times, and the specific sediment discharge under strong winds – by an order of magnitude.

The map of distribution of maximum water turbidity in the Kujbyshev reservoir presented in the paper is compiled under the hypothetical initiation of bottom soil agitation processes over the water area. The result is particularly valuable for the low-water period, which is characterized by the lowest depth of the reservoir, and therefore the highest values of turbidity. The resulting map of the maximum turbidity distribution makes it possible to assess water areas with the most unfavorable hydrodynamic conditions, which can become the basis for further recommendations on the activities related to dredging.

Key words: suspended matter, hydrodynamic model, sediment yield

Acknowledgements. The study was carried out within the framework of priority project «Conservation and prevention of pollution of the Volga river» (app. by the Presidium of the Council under the President of the Russian Federation for strategic development and priority projects, Protocol No. 9 dated 30.08.2017) on the topic 3,4. «Development of a Strategy to reduce the intake of pollutants from natural landscapes, residential areas, agricultural land, industrial sites of enterprises, livestock enterprises, landfills and landfills, transport infrastructure facilities».

¹ Institute of Ecology of the Volga River Basin RAS –Branch of the Federal State Budgetary Institution of Science Samara Federal Research Scientific Center of RAS, Laboratory for monitoring of water objects, Senior Scientific Researcher, PhD. in Engineering Science; *e-mail*: rahavum@mail.ru

² Institute of Limnology RAS, Laboratory for mathematic methods of modeling, Senior Scientific Researcher, PhD. in Engineering Science; *e-mail*: m-shmakova@yandex.ru

REFERENCES

Ehdel'shtejn K.K. Limnologiya [Limnology]. Moscow, Yurajt Publ., 2018, 398 p. (In Russian)

Gidrometeorologicheskij rezhim ozer i vodohranilishh SSSR: Kujbyshevskoe i Saratovskoe vodohranilishcha [Hydrometeorological regime of lakes and reservoirs in the USSR: Kuibyshev and Saratov reservoirs]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1978, 269 p. (In Russian)

Kondrat'eva T.A., Zaharov S.D., Haliullina L.Yu. Vliyanie dobychi nerudnyh stroitel'nyh materialov na ehkosistemy Kujbyshevskogo vodohranilishha [The effect of mining of nonmetallic construction materials on the ecosystem of the Kuibyshev reservoir]. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta, 2012, vol. 15, no. 19, p. 116–119. (In Russian)

Lepikhin A.P., Golovacheva S.I. K probleme reglamentacii otvedeniya vzveshennyh veshchestv v estestvennye vodotoki [On the problem of regulation of suspended water disposal to natural water bodies]. Vodnoe hozyajstvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie, 2015, no. 1, p. 4–13. (In Russian)

Materialy nablyudenij na vodohranilishhah (Dopolnenie k Gidrologicheskomu ezhegodniku) [Materials of observations on reservoirs], vol. 4, iss. 4, 8, Kujbyshev, Privolzhskoe UGMS Publ., 1972, 270 p. (In Russian)

Metodicheskie osnovy ocenki i reglamentirovaniya antropogennogo vliyaniya na kachestvo poverhnostnyh vod [Methodical bases of assessment and regulation of anthropogenic

impact on surface water quality], A.V. Karaushev Ed., Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1987, 286 p. (In Russian)

Rahuba A.V. Experience in the use of measuring-computing system, «Heaton-Wave» in hydro-ecological studies of coastal waters Tolyatti. Ekologicheskie problemy promyshlennyh gorodov [Ecological problems of industrial cities], The 8th International Scientific and Practical Conference, Saratov, 2017, p. 484–488. (In Russian)

Rakhuba A.V., Shmakova M.V. Numerical simulation of siltation of the Kuybyshev reservoir dam reach with river sediments. Russian Meteorology and Hydrology, 2018, no. 1, p. 35–48.

Shmakova M.V. Raschety tverdogo stoka rek i zaileniya vodohranilisch [Calculations of solid river flow and siltation of reservoirs]. St. Petersburg, VVM Publ., 2018, 149 p. (In Russian)

Stupishin A.V., Trofimov A.M., Shirokov V.M. Geograficheskie osobennosti formirovaniya beregov i lozha Kujbyshevskogo vodohranilishha [Geographical features of the formation of shores and bed of the Kuybyshev reservoir]. Kazan', Kazan University Publ., 1981. 184 p. (In Russian)

Wu W. Computational River Dynamics. 2007, CRC Press, 509 p. DOI: 10.4324/9780203938485.

Zinov'ev E.A., Kitaev A.B. O vozdejstvii vzveshennyh chastic na gidrofaunu [About the impact of suspended particles on hydrofauna]. Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk, 2015, vol. 17, no. 5, p. 283–288. (In Russian)

> Received 31.05.2019 Revised 15.11.2019 Accepted 06.03.2020