



УДК 556

ОПЫТ ОЦЕНКИ ВТОРИЧНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИПЛОТИННОГО ПЛЕСА КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ (Cu)

Шмакова Марина Валентиновна, д.г.н., ведущий научный сотрудник,
Институт озерадения РАН – обособленное структурное подразделение Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра РАН
196105, Санкт-Петербург, ул. Севастьянова, д. 9

Рахуба Александр Владимирович, к.т.н., старший научный сотрудник, заведующий лабораторией Мониторинга водных объектов
Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Институт экологии Волжского бассейна РАН 445003, Самарская обл., г. Тольятти, ул. Комзина, д. 10

Работа выполнена в рамках государственного задания ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН по теме FFZF-2024-0002.

Аннотация. Разработаны и численно реализованы алгоритмы оценки вторичного загрязнения акватории водохранилища тяжелым металлами через взмучивание донных отложений. Показано, что концентрация валовой и растворенной форм меди в водных массах Приплотинном плесе Куйбышевского водохранилища при неблагоприятных гидрометеорологических условиях составит около 0.005 мг/л, что в пять раз превышает ПДК для водных объектов рыбохозяйственного значения.

Ключевые слова: Куйбышевское водохранилище, моделирование, донные отложения, тяжелые металлы, гидродинамика.

Качество воды водных объектов неразрывно связано с вопросами водопотребления и охраны таковых. Одним из эффективных методов контроля качества воды, рационального использования водных объектов и планирования водохозяйственной деятельности является математическое моделирование. Методы математического моделирования позволяют дать оценку текущего и прогнозного состояния водных объектов, которая, помимо прочего, является ориентиром в разработке стратегии дальнейшего водопользования.

Приплотинный плес является самым глубоководным районом Куйбышевского водохранилища со значительным объемом воды (6.0 км³) при относительно небольшой площади водного зеркала (417 км²). Многими исследователями констатируется ухудшение экологического состояния Куйбышевского водохранилища по целому комплексу показателей – от изменения видового состава гидробионтов до ухудшения показателей здоровья населения Волжского региона [1 – 4]. Анализ содержания тяжелых металлов в организмах гидробионтов водохранилища показал в них превышение предельно

допустимых концентраций (ПДК) ряда ТМ [4]. При этом отмечается, что тяжелые металлы являются приоритетными загрязнителями донных отложений Куйбышевского водохранилища [1 – 3].

Моделирование вторичного загрязнения Приплотинного плеса тяжелыми металлами в результате инициации взмучивания донных отложений основано на гидродинамической модели «Волна» [5] и сопутствующих алгоритмах двухфазного массопереноса, дополняющих модель [5].

Концентрация тяжелых металлов $C(x, y, t)$ рассчитывается как сумма фоновой концентрации $C_{\text{фон}}$, мг/л, концентрации вещества, поступившего из поровых вод $C_{\text{пор}}$ и концентрации вещества, адсорбированного на транспортируемых частицах наносов $C_{\text{адсорб}}$

$$C(x, y, t) = C_{\text{фон}} + C_{\text{пор}} + C_{\text{адсорб}},$$
$$C_{\text{пор}} = f_1(\Delta_{\text{пор}}),$$
$$C_{\text{адсорб}} = f_2(M_{\text{ТМ}}),$$
(1)

где $\Delta_{\text{пор}}$ – активный придонный слой, из которого осуществляется водообмен поровых вод с основной водной массой, м. Эта величина является функцией толщины размытого донного грунта и придонной части, активно участвующей в водообмене [6].

Общая масса загрязняющего вещества $M_{\text{ТМ}}$, кг/с, адсорбированного на поверхности транспортируемых частиц в расчетной ячейке вычисляется в соответствии с распределением крупности движущихся наносов $d_{\text{гр}}=f_3(p)$:

$$M_{\text{ТМ}}(x, y, t) = G(x, y, t) \frac{\int_0^1 m_{\text{ТМ}}(d_{\text{гр}}(p)) dp}{\int_0^1 m_{\text{гр}}(p) dp},$$
$$m_{\text{гр}} = \frac{\rho_{\text{гр}}}{6} \pi d_{\text{гр}}^3,$$
(2)

где $m_{\text{ТМ}}$ – масса вещества, адсорбированного на частице крупностью $d_{\text{гр}}$, кг/кг; $m_{\text{гр}}$ – масса частицы крупностью $d_{\text{гр}}$, кг; $d_{\text{гр}}$ – крупность частицы, м; p – вероятность, б/р.

Моделирование вторичного загрязнения акватории Приплотинного плеса медью проводилось для двух неблагоприятных гидрометеорологических сценариев – ветрах юго-западного и северо-западного направлений скоростью 10 м/с и 12 м/с, соответственно. В качестве фоновых значений по данным экспедиционных исследований принята концентрация меди 0.005 мг/л. Результаты моделирования показали, что двухфазный массоперенос в акватории Приплотинного плеса определяется направлением ветрового воздействия и особенностями донного ландшафта плеса. Для ветра юго-западного направления наибольшие концентрации меди (0.006 мг/л) в воде наблюдаются на участке перед плотиной Жигулевской ГЭС, тогда как для ветра северо-западного направления область наибольших значений расширяется и на южные участки акватории. При этом, содержание валовой и растворенной форм меди в водных массах Приплотинного плеса в несколько раз превышает значение предельно допустимой концентрации для водных объектов рыбохозяйственного значения.

Список литературы:

1. Андреев О.П., Иванов Д.В., Шагидуллин Р.Р., Маланин В.В. Тяжелые металлы в донных отложениях Куйбышевского водохранилища (анализ современного состояния) // Вестник ТО РЭА. – 2001. – № 1–2. – С. 71-78.
2. Выхристюк Л.А., Выхристюк Л.А., Варламова О.С. Донные отложения и их роль в экосистеме Куйбышевского водохранилища. – Самара: Изд-во Самарского научного центра РАН, 2003. – 174 с.
3. Степанова Н.Ю., Латыпова В.З. Механизмы детоксикации тяжелых металлов в компонентах водной экосистемы Куйбышевского водохранилища // Ученые записки

Казанского государственного университета. – Том 147, кн. 3. Естественные науки. – 2005. – С. 18–26.

4. Давыдова О.А., Климов Е.С., Ваганова Е.С., Ваганов А.С. Влияние физико-химических факторов на содержание тяжелых металлов в водных экосистемах. – Ульяновск, УлГТУ: 2014. – 167 с.

5. Рахуба А.В., Шмакова М.В. Нестационарный режим водохранилища: опыт моделирования русловых процессов с подвижным дном // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. – 2022. – Т. 15. № 2. – С. 138-149.

6. Веницианов Е.В., Лепихин А.П. Физико-химические основы моделирования миграции и трансформации тяжелых металлов в природных водах. – Екатеринбург: РосНИИВХ, 2002. – 236 с.

EXPERIENCE IN ASSESSING SECONDARY POLLUTION OF THE DAMBED OF THE KUIBYSHEV RESERVOIR WITH HEAVY METALS (Cu)

Marina V. Shmakova, Aleksandr V. Rakhuba

Abstract. Algorithms have been developed and numerically implemented to assess secondary pollution of the reservoir's water area with heavy metals through agitation of bottom sediments. It is shown that the concentration of gross and dissolved forms of copper in the water masses of the Kuibyshev reservoir Dambed under unfavorable hydrometeorological conditions will be about 0.005 mg/l, which is five times higher than the maximum permissible concentration for water bodies of fishery importance.

Keywords: Kuibyshev reservoir, modeling, bottom sediments, heavy metals, hydrodynamics.