В СПб ФИЦ РАН создали модель прогнозирования внутренней нагрузки водных объектов тяжелыми металлами на примере крупнейшего в России водохранилища

17.12.2025

Ученые Института озероведения РАН — Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра РАН (ИНОЗ РАН — СПб ФИЦ РАН) совместно с Институтом экологии Волжского бассейна РАН (ИЭВБ Сам ФИЦ РАН, г. Тольятти) разработали математическую модель, которая позволяет оценить внутреннюю нагрузку на водный объект тяжелыми металлами. Результаты моделирования для Куйбышевского водохранилища показывают, что при сильном ветре концентрация загрязняющих веществ, поднимающихся со дна акватории повышается в 2-6 раз. Разработанная математическая модель может быть использована при принятии решений по дополнительной очистке воды на водозаборах, цехах водоочистки и водоподготовки питьевой воды при угрозе усиления ветра до штормовых значений.



Куйбышевское водохранилище

Куйбышевское водохранилище — это крупнейшее в Евразии искусственное озеро на Волге, созданное при строительстве Жигулёвской ГЭС около города Тольятти в 1957 году. Оно обладает огромной площадью — 6450 км², объемом — 58 км³ и используется для производства электроэнергии и судоходства. Вблизи водохранилища расположены такие крупные промышленные центры, как Казань, Тольятти, Ульяновск, Новочебоксарск, а также еще около 50 городов и посёлков городского типа, более 1900 сельских населённых пунктов, для которых водоем является основным источником орошения сельскохозяйственных земель, водоснабжения предприятий и местных жителей. Кроме того, Куйбышевское водохранилище — популярное место отдыха и рыбалки.

В силу высокой антропогенной нагрузки водохранилище неизбежно накапливает различные загрязнители, особенно тяжелые металлы. Один из наиболее распространённых — медь, повышенное содержание которой в живом организме может привести к острому отравлению и даже летальному исходу.

За годы эксплуатации Куйбышевского водохранилища (с 1958 года) в в донных отложениях накоплено большое количество тяжелых металлов. Адсорбированные на поверхности частиц донного грунта и взвесей тяжелые металлы при взмучивании донных отложений увеличивают валовое содержание поллютантов в водных массах. Негативное влияние тяжелых металлов на организмы гидробионтов усугубляется тем, что тяжелые металлы устойчивы к разрушению в течение многих лет, они быстро накапливаются в гидробионтах и очень медленно выводятся из организмов. Помимо этого, в результате вторичного загрязнения повышенное содержание тяжелых металлов в акватории существенно ухудшает качество водопользования. Поэтому для сохранения экологического благополучия подобных социально значимых водных объектах требуется инструментарий, позволяющий оценивать концентрацию и прогнозировать распространение загрязняющих веществ в акватории.

«Для решения этой задачи мы разработали моделирующую систему внутренней нагрузки тяжелыми металлами на водный объект, которая представлена гидродинамической моделью «Волна», алгоритмами двухфазного массопереноса и схемой учета разнофракционности донных отложений, участвующих в процессах взмучивания. Разработанная модель позволяет оценить содержание загрязняющих веществ, поступивших с донными отложениями в водные массы, в условиях ветрового волнения или в результате антропогенной деятельности», — рассказывает ведущий научный сотрудник Лаборатории математических методов моделирования ИНОЗ РАН — СПб ФИЦ РАН д.г.н. Марина Шмакова.

В основе предлагаемого подхода лежит гидродинамическая модель «Волна», она позволяет учитывать явления течений волн и ветров на взмучивания донных отложений. Апробация модели проводилась для Куйбышевского водохранилища на примере меди. В качестве экспериментальных данных (концентрации и распределения тяжелых металлов, гидрометеорологических показателей, особенностей течений и прочего) привлекались материалы экспедиций в данном водоеме специалистов ИЭВБ РАН. Для детализации и точного моделирования течений и перемещения частиц меди ученые “наложили” на водоем регулярную прямоугольную сетку, которая “разбивала” всю территорию водохранилища на 143 562 расчетных узла.

Исследователи ИНОЗ — СПб ФИЦ РАН и ИЭВБ РАН промоделировали внутреннюю нагрузку медью для двух гидрометеорологических сценариев: в штиль (при нулевой скорости ветра) и при штормовом ветре доминирующего направления скоростью 15 м/с. Результаты показали, что при шторме концентрация меди возрастала в 2–6 раз на мелководных участках

Куйбышевского водохранилища и местах водозабора. Кроме того, на распределение концентраций серьезное влияние оказывал сложный рельеф дна.

«Предлагаемый расчетный метод может быть использован при принятии решений о дополнительной очистке воды на водозаборах, в цехах водоочистки и водоподготовки питьевой воды при угрозе усиления ветра до штормовых значений. Модель позволяет делать прогноз качества воды при наличии надежной исходной информации о направлении и скорости ветра на трёхсуточный период. Разработанная моделирующая система является универсальной и при наличии соответствующих данных, может быть использована для других водоёмов, которые требуют регулярного экологического мониторинга», — отмечает Марина Шмакова.

Первые результаты исследования опубликованы в научном журнале «Вычислительные технологии».