

К.В. Юрьев, Е.А. Яйли, М.П. Церенова

**ФОРМИРОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ ПОЛНОЦЕННОЙ ВОДЫ ДЛЯ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПИТЬЕВОМ ВОДОСНАБЖЕНИИ**

K.V. Yriev, E.A. Yaily, M.P. Tserenova

**FORMATION OF BIOLOGICALLY HIGH-GRADE WATER FOR USE IN
DRINKING WATER SUPPLY**

Рассматриваются вопросы, связанные с методами формирования биологически полноценной воды для использования в питьевом водоснабжении.

Ключевые слова: биологически полноценная вода, охрана водной среды, растворенное органическое вещество, санитарные нормы качества воды.

In article the questions connected with methods of formation of biologically high-grade water for use in drinking water supply are considered.

Key words: biologically high-grade water, protection of the water environment, the dissolved organic substance, sanitary norms of quality of water.

В течение всего XX в. ученых и общественность всего мира волновала проблема ограниченности запасов ископаемых Земли и, в первую очередь, топливных ресурсов. Однако значительно раньше перестала быть безграничным даром природы чистая вода. При этом трудности в стратегии реализации решения данной проблемы начинаются уже с трактовки самого понятия «чистая вода». Поскольку речь пойдет о питьевой воде, то в этом контексте будут иметь значение совсем иные критерии «чистоты», нежели чем для химиков, представителей различных отраслей промышленности и т.д.

В последние десятилетия начал бурно развиваться процесс токсического загрязнения и эвтрофирования водоемов, связанный с активной хозяйственной деятельностью. Уже в конце прошлого века эти негативные последствия испытали такие страны, как Германия и Швейцария. В крупнейших субальпийских озерах вследствие отвода сточных вод, содержащих органические вещества, началось «цветение» и образовались все расширяющиеся сероводородные зоны. Россия также не отстает в деле активного загрязнения водоемов. Всевозрастающее антропогенное воздействие продолжает крайне негативно сказываться на состоянии питьевых водоисточников нашей страны.

Одним из существенных достижений человечества по контролю качества воды являются установлению ПДК — предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ, содержащихся в воде. «Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ» (РПОХВ) Минздрава РФ распространяет АИПС «Опасные вещества» — базу данных по опасным химическим и биологическим соединениям, содержащую информацию о более чем 2350 зарегистрированных в РПОХВ веществах, в котором, наряду с исчерпывающей отечественной информацией, включены сведения из ведущих зарубежных баз данных опасных ингредиентов, в том числе

международного регистра потенциально токсичных веществ. По большинству параметров российский СанПиН удовлетворяет рекомендациям Всемирной организации здравоохранения и не уступает зарубежным стандартам, а в некоторых позициях даже жестче их. К сожалению, такие жесткие нормативы редко соблюдаются в процессе хозяйственной деятельности природопользователей, что связано с экономической незаинтересованностью в охране вод и низкой эффективностью государственного контроля в сфере охраны водных ресурсов. Кроме того, существует ряд серьезных вопросов к действующей системе ПДК [2], которые сводятся к следующим положениям:

1. Концентрация веществ в воде не отражает токсикологическую нагрузку на экосистему, так как не учитывает процессы аккумуляции веществ в биологических объектах и донных отложениях и накопление в водной среде загрязняющих веществ в целом.
2. Видовая токсикорезистентность водных животных зависит не столько от специфики механизмов действия ядов, сколько от уровня организации организма и от его отношения к общему фону загрязнения, обусловленному соответствующими механизмами адаптации, сформировавшимися в результате длительного эволюционного процесса.
3. Установленные ПДК не учитывают специфику функционирования водных экосистем в различных природно-климатических зонах (широтная и вертикальная зональность) с различным уровнем содержания природных соединений, их токсикорезистентность, так как различные водоемы отличаются по содержанию в водах тяжелых металлов в тысячи раз [1].
4. Не учитываются эффекты синергизма, антагонизма, суммации.
5. Не решена проблема нормы и патологии в водной токсикологии, в частности, не принимается во внимание принцип эмерджентности, т.е. качественного своеобразия функционирования и устойчивости биосистем на разных уровнях их организации (от молекулярного до экосистемного).
6. При обосновании ПДК не учитывается разный трофический статус экосистем, сезонные особенности природных факторов, на фоне которых проявляется токсичность загрязняющих веществ, а также сезонность, что немаловажно для водоемов, расположенных в средних широтах, так как, к примеру, повышение температуры вдвое приводит к возрастанию токсического эффекта на порядок.

Вода в силу своей способности самоочищаться относится к восполнимым природным ресурсам, чем она выгодно отличается от некоторых других используемых человеком ресурсов. Кроме того, вода выступает, с одной стороны, как среда обитания гидробионтов, с другой — как необходимый продукт питания животных и человека.

Вместе с тем, процессы, определяющие качество поверхностных вод, самоочищение загрязняющих водоемов и очистка стоков имеют преимущественно биологическую природу. В последние десятилетия совокупность биологических процессов, участвующих в формировании качества воды, отражает не только природные физико-географические особенности водоема, но и всё в большей степени зависит от деятельности человека, изменяющей гидрологические условия и состав стока. При этом на первый план выходит способность водных объектов к самоочищению,

которое основывается на внутриводоемных физических, химических и биологических процессах. Самоочищение предусматривается в результате разбавления, но ошибочно ставить знак равенства между этими понятиями. Водоохранными нормативами предусмотрено разбавление стоков в 8–10 раз, однако в ряде районов со средней и недостаточной обеспеченностью водой эти показатели недостижимы. Таким образом, ориентироваться только на разбавление в большинстве случаев нельзя, особенно, если учесть, что промышленные стоки, содержащие такие опасные ингредиенты, как фенолы, нефтепродукты, пестициды и другие токсичные вещества, следует разбавлять в и более 1000 раз.

Сохранение жизни водных организмов — вот основной критерий, по которому можно судить, хорошо ли очищена вода. Известно, однако, что даже в очень загрязненных водах могут жить бактерии, водоросли и другие организмы. Вода является биологически полноценной только при наличии в ней метаболитов гидробионтов, таких как витамины, ненасыщенные жирные кислоты, ферменты, гормоны и т.д. Поэтому для определения чистоты вод применяется сапробиологический анализ, основанный на способности выделяющихся сообществ организмов-индикаторов к сапробности и таксобности, особенно необходимый при оценке работы очистных сооружений: аэротенков, биофильтров и т.д. Эти процессы можно моделировать, как отражено в работах Г.Г. Винберга (1973), по соотношению водорослей и бактерий или математическому выражению индексов сапробности Пантле и Букка. В тесной связи с биоиндикацией стоят и вопросы биогидрологии. Работами многих исследователей доказано, что подбором и вселением организмов можно существенно влиять на формирование качества воды в водоемах, поскольку все содержащиеся в воде органические вещества прямо или косвенно связаны с жизнью гидробионтов.

Развивая идею В.И. Вернадского о биокосной природе воды, т.е. воды сформированной живыми организмами, М.М. Телитченко еще на I-м Всесоюзном совещании по санитарной гидробиологии в 1969 г. предложил формулировку понятия «биологически полноценная вода», отметив, что, «формирование биологически чистой (полноценной) воды, не содержащей токсических и радиоактивных веществ, патогенных микроорганизмов, имеющей все необходимые соли, микроэлементы и метаболиты, протекает под влиянием гидробионтов». Телитченко, Хайлов (1972) особо подчеркивают значение в жизни водоемов растворенного органического вещества (РОВ) — прижизненных выделений (метаболитов) растений и некоторых водных бактерий, представляющих собой биологически ценные вещества: аминокислоты, углеводы, органический углерод, органические кислоты, летучие амины, сахара, витамины, ферменты, благоприятствующие росту и развитию водных организмов и повышающие питьевые качества воды в жизни водоемов. РОВ обладают и наибольшей тенденцией к увеличению энтропии, которая не реализуется в сбалансированных гидрэкосистемах. Вопрос об аккумуляции органического вещества занимает ведущее место в теории биологической продуктивности водоемов.

В современной биохимической экологии доминируют два дополняющих друг друга представления. Первое — кинетическое, изучающее процессы гидролиза органического вещества, его фотохимические превращения и т.д. Второе направление создало концепцию формирования биологически полноценной воды самими

гидробионтами. Согласно этой концепции, гидробионты не только поддерживают ионный состав среды, формируют витамины, гормоны, ферменты и др. биологически важные вещества, но также (что чрезвычайно важно) своими выделениями ингибируют или иницируют переокисление РОВ, являющегося энергетической основой устойчивости гидроэкосистемы. Известно, что гидробионты, выделяя соответствующие антиокислители, тормозят свободно радикальное окисление РОВ. Поэтому при их отсутствии или резком нарушении структуры ценозов (например, сбросе токсичных веществ) происходят процессы переокисления, сопровождающиеся накоплением биологически активных продуктов (особенно, липидов), ухудшением качества воды и переходом экосистемы на другой энергетический уровень. Это открывает реальную перспективу для математического моделирования закономерностей формирования основного качества воды — ее биологической полноценности, под которой следует понимать способность воды обеспечивать нормальное отправление физиологических и биологических процессов, на базе которых строится наследственность организмов. Подтверждением этого представления явились исследования, направленные на биокондиционирование воды. Опытным путем было доказано, что через две недели после внесения смеси водорослей вода становилась биологически полноценной за счет обогащения ее продуктами жизнедеятельности гидробионтов (водорослей, бактерий и простейших), т.е. не оказывала вредного воздействия на подопытных животных по сравнению с водой, не прошедшей биокондиционирование (опресненной и обогащенной минеральными солями). Аналогичные результаты показали принципиальную возможность кондиционирования воды не только физико-химическим способом, но и путем биологической доочистки, причем в этом случае обогащение минеральными и органическими веществами намного эффективнее.

В итоге, можно отметить, что основную роль в формировании питьевых качеств воды играют гидробионты и их метаболиты в качестве растворенного органического вещества, являющиеся в природном водоеме в период равновесия или сбалансированности наиболее чувствительным компонентом. Они обладают и наибольшей тенденцией к увеличению энтропии. Однако эта тенденция не реализуется в связи со свойственной равновесию строгой синхронностью в трофических цепях. При нарушении равновесия в экосистеме (сброс в водоем загрязняющих веществ, термальных вод, ионизирующей радиации и т.д.) часть компонентов системы находится в дисбалансе до тех пор, пока не сформируются сообщества для новых сбалансированных условий. Регулирование гидробионтами интенсивности переокисления РОВ определяет уровень энергетического состояния водной экосистемы, ее гомеостаз, поэтому информацию о степени окисленности РОВ можно считать «определяющей переменной» водной экосистемы.

Многочисленные исследования гигиенистов еще в конце XIX в. показали, что такие заболевания, как брюшной тиф, дизентерия, холера, туляремия, вирусный гепатит и др. передаются водным путем. Основными источниками попадания в водоем патогенных бактерий являются сточные воды, дефекты работы водопроводных сооружений, нарушение герметичности водопроводных сетей. Комплекс мероприятий по предотвращению и недопущению таких факторов является важной задачей улучшения качества питьевой воды и повышения уровня здоровья населения.

Естественно-биологическая очистка используется как глубокая деградация загрязнений и подразумевает использование различных видов биологических сооружений: биопрудов, ботанических площадок, окислительных каналов и др. Их заселяют чередующимися полосами макрофитов по ширине акватории водоема или поясами вдоль береговой зоны, создавая барьер поступающим загрязнениям. В канале и на биологических прудах растения размещают как отдельными поясами, так и сплошными полями. При использовании макрофитов в биотехнологических схемах очистки сточных вод целесообразны сбор и утилизация их в виде сырья для производства декоративных изделий, фитогенных удобрений, рекуперации вторичных материалов (поллютантов и др.).

При решении вопросов формирования биологически полноценной воды для питьевого водоснабжения следует учитывать и результаты исследований известных зарубежных специалистов, которые установили, что добавление хлора в процессе очистки сточной воды способствует уничтожению большинства бактерий и вирусов. Однако в силу того, что хлор является высокоактивным галогеном, его присутствие в воде становится вредным фактором для организма человека. Употребление хлорированной воды, согласно результатам их исследований, на 93 % увеличивает риск заболеть раком и имеет множество иных негативных воздействий на здоровье людей. Такая вода из-под крана в городах, где для очистки воды используется хлорирование, несмотря на многоступенчатую очистку, обладает не только высоким содержанием вредных химических элементов, но и разрушительной для организма человека энергетикой.

Таким образом, раскрытие механизмов интенсификации биологического самоочищения водоемов и биологической очистки стоков от нефтепродуктов, биоцидов, тяжелых металлов, органических примесей и пр., модификации природных биоинженерных систем, использование биотехнологических установок для очистки воды до питьевых норм позволило бы создать высокоэффективные новые биологические методы формирования химически, биологически и энергетически полноценной воды.

Учитывая, что полноценная для потребления питьевая вода является одним из основных стратегических ресурсов России, определяющим состояние как экологической, так и государственной безопасности нашей страны в целом, поставленные в настоящей статье вопросы особенно актуальны в наше время и требуют закрепления в нормативно правовых актах. В октябре 2012 г. данные вопросы были рассмотрены и обсуждены на парламентских слушаниях в Государственной Думе Федерального Собрания РФ, посвященных проблеме совершенствования правового регулирования использования водных ресурсов и общераспространенных полезных ископаемых, в которых приняли участие ряд видных ученых России и сопредельных государств. Институт водных проблем РАН представил обширный доклад по актуальным вопросам сохранения водных ресурсов России. Было подчеркнуто, что водные ресурсы и водохозяйственный комплекс в целом и во многом определяют социально-экономическую устойчивость и направление развития нашей страны, а научные разработки, направленные на создание методов повышения качества питьевой воды являются в настоящее время приоритетными. По результатам парламентских слушаний были приняты рекомендации, направленные в Правительство Российской Федерации, а также в заинтересованные министерства и ведомства для законодательного регулирования.

Литература

1. Волков И.В., Заличева И.Н., Ганина В.С. и др. О принципах регламентирования антропогенной нагрузки на водные экосистемы. // Водные ресурсы, 1993, т. 20, № 6, с. 707–713.
Volkov I.V., Zalicheva I.N., Ganina V.S. i dr. O printsipakh reglamentirovaniya antropogennoi nagruzki na vodnye ekosistemy. // Vodnie resursi, 1993, t. 20, № 6, s. 707–713.
2. Воробейник Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем. — Екатеринбург: УИФ Наука, 1994. — 380 с.
Vorobeinik E.L., Sadykov O.F., Farafonov M.G. Ekologicheskoe normirovanie tekhnogennykh zagryaznenii nazemnykh ekosistem. — Ekaterinburg: UIF Nauka, 1994. — 380 s.
3. Гусева Т.В., Молчанова Я.П., Заика Е.А. и др. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: справочные материалы. — М.: СоЭС, Методический центр «Эколайн», 2000. — 343 с.
Gyseva T.V., Molchanova YA. P., Zaika E.A. I dr. Gidrokhimicheskie pokazateli sostoyaniya okryzhayushchei sredy: spravochnye materialy. — M.: SoES, Metodicheskii centr «EkoLain», 2000. — 343 s.
4. Майстренко В.Н., Хамитов Р.З., Будников Г.К. Эколого-аналитический мониторинг суперэкоотоксикантов. — М.: Химия, 1996. — 319 с.
Maistrenko V.N., Chamitov R.Z., Budnikov G.K. Ekologo-analitcheskii monitoring superekotoksikantov. — M.: Himiya, 1996. — 319 s.
5. Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. — М.: ВНИИРО, 1999. — 304 с.
Perechen rybokhozyaistvennykh normativov: predelno dopustimykh kontsentratsii (PDK) I orientirovochno bezopasnykh urovnei vozdeistviya (OBUV) vrednykh veshchestv dlya vodnykh obektov, imeyushchikh rybokhozyaistvennoe znachenie. — M.: VNIIRO, 1999. — 304 s.
6. СанПиН 2.1.4.1074-01. Санитарные правила и нормы. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. — М.: Минздрав России, 2002. — 103 с.
SanPiN 2.1.4.1074-01. Sanitarnye pravila I normy. Pitevaya voda. Gigienicheskie trebovaniya k kachesvu vody tsentralizovnykh system pitevogo vodosnabzheniya. — M.: Minzdrav Rossii, 2002. — 103 s.