

МЕДИКО-БИОПОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Татьяна Ивановна МОИСЕЕНКО —
зав. отделом биогеохимии и экологии
Института геохимии и аналитической химии
им. В.И. Вернадского РАН,
зав. лабораторией качества вод, устойчивости
водных экосистем и экотоксикологии
Тюменского государственного университета
доктор биологических наук, профессор
член-корреспондент РАН
moiseenko@geokhi.ru*

*Андрей Владимирович СОРОМОТИН —
директор НИИ экологии и рационального
использования природных ресурсов
Тюменского государственного университета
доктор биологических наук, доцент
asoromotin@mail.ru*

*Александр Дмитриевич ШАЛАБОДОВ —
проректор по научной и инновационной работе
Тюменского государственного университета,
доктор биологических наук, профессор
shalabodov@utmn.ru*

УДК 502.5

КАЧЕСТВО ВОД И МЕТОДОЛОГИЯ НОРМИРОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

WATER QUALITY AND METHODOLOGY OF POLLUTION NORMALIZATION

АННОТАЦИЯ. В статье приводятся основные источники техногенного воздействия и химического загрязнения поверхностных вод суши различных регионов России. Обосновывается методология экологического нормирования, исходящая из причинно-следственных связей, которые раскрываются на основе построения и анализа доза-эффектных зависимостей. Концепция экологического нормирования качества поверхностных вод должна основываться на интегральных реакциях гидробионтов, испытывающих на себе результирующее воздействие всех прямых и опосредованных эффектов комплексного загрязнения. Данный методологический подход требует детального изучения, особенно в части отдаленных последствий токсичного загрязнения, так как история техногенного загрязнения не столь длительна, чтобы можно было учесть все взаимообусловленные процессы и отдаленные последствия нашего вмешательства в природные процессы. Обосновываются понятия «критическая нагрузка» и «критический уровень». Раскрывается понятие «качество вод» с позиций экологической парадигмы.

SUMMARY. The article gives the basic sources of anthropogenic impact and chemical pollution of surface water of various Russian regions. The methodology of

ecological normalization is given sufficient proof in the article. The concept of ecological normalization of surface water quality should be based on integrated reactions of the hydrocoles, subject to resultant influence of all direct and mediated effects of complex pollution. The given methodological approach demands detailed study, especially regarding the remote consequences of toxic pollution, as the history of anthropogenic pollution is not so long to consider all interdependent processes and the remote consequences of our intervention in natural processes. Such notions as «failure load» and «critical level» are explained. The concept «water quality» is defined from the positions of ecological paradigm.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. Деградация водных ресурсов России, методология экологического нормирования качества поверхностных вод, критическая нагрузка, критический уровень, качество вод, биоремедиация.

KEY WORDS. Water source degradation in Russia, the methodology of ecological normalization, failure load, critical level, water quality, bioremediation.

Введение. Вода нужного объема и необходимого качества является необходимым условием сохранения здоровья населения, биоразнообразия, эстетического и рекреационного потенциала природы, производства пищевой и технической продукции. Россия обеспечена водными ресурсами, средний многолетний суммарный речной сток — 4300 км³, что составляет около 10% речных вод всего земного шара (при занимаемой площади 11,5% и населения 2,6%). Суммарный объем запасов пресной воды в озерах России составляет 26,5 тыс. км³ (в том числе в озерах: Байкале — 23 тыс. км³, Ладожском — 903 км³, Онежском — 295 км³). Средняя водообеспеченность одного жителя РФ за счет речных вод составляет около 30 тыс.м³ в год. Воды суши в пределах России распределены неравномерно. Своеобразие территории России проявляется в том, что в южных регионах, где высокая плотность населения и наиболее развито сельское хозяйство, запасы вод ограничены; основные речные бассейны густонаселенных районов замыкаются внутренними морями (Каспийским и Азовским), для гидрологического режима и экологических условий которых требуется вода определенного количества и качества с определенным режимом подачи. Таким образом, водные ресурсы в большой степени становятся фактором, лимитирующим развитие хозяйства и влияющим на среду обитания человека. Антропогенное воздействие привело к резкому ухудшению качества вод в большинстве регионов, а в Поволжье, на Урале и в южных районах Сибири ситуация близка к катастрофической.

Водные ресурсы на территории Тюменского региона издавна широко использовались в рыбохозяйственных и транспортных целях. Централизованное водоснабжение начало развиваться только с 1864 г., когда по инициативе городского головы И.А. Подаруева в г. Тюмени был построен первый водопровод. К началу XX в. этот водопровод износился и в 1915 г. был построен новый с объемом подачи воды 1,5 тыс. м³/сут., или порядка 0,0005 км³ в год. С тех пор отмечается рост водопотребления и особенно интенсивно оно приняло с развитием нефтегазовой отрасли в Тюменском регионе. В настоящее время общий забор воды для нужд населения и промышленности достигает 1,5 км³ в год. При этом основной расход воды приходится на электроэнергетику (37%), нефтегазовую промышленность (25%) и жилищно-коммунальное хозяйство (20%) [1].

Загрязнение рек Тюменского региона имеет региональные особенности, к которым следует отнести его географическое положение. С запада, юга и востока он окружен приподнятыми водоразделами, значительная часть которых

занята развитыми в промышленном и сельскохозяйственном отношении районами. Реки с территории промышленного Урала несут биогенные вещества, нефтепродукты (НП), тяжелые металлы и радионуклиды. Иртыш, Ишим и Тобол снабжают Тюменский регион, кроме загрязнений промышленного характера, также пестицидами и теми же биогенными веществами. Воды Оби несут большой набор индустриальных поллютантов Кузбасса. Все эти загрязнения дополняются собственными сбросами, и в результате воды всех крупных и средних рек области оказываются загрязненными значительно выше нормативных значений. Основу гидрографической сети региона составляют малые реки. Определяя загрязнение больших рек, сами малые реки в не меньшей, а чаще в большей степени оказываются загрязненными вследствие своей маловодности. Все малые реки региона по особенностям антропогенного воздействия можно разделить на две группы. К первой относятся водотоки южной, сельскохозяйственной зоны. Здесь главными загрязняющими веществами выступают азот, фосфор, пестициды. Эти ингредиенты поступают диффузным путем за счет смыва с сельскохозяйственных полей, пастбищ, летних лагерей скота, территорий животноводческих ферм [1].

В северной части Тюменского региона в районах добычи углеводородного сырья малые реки испытывают антропогенное воздействие, в основном связанное с загрязнением НП, минерализованными водами, фенолами, химическими реагентами. При этом поступление поллютантов в водотоки происходит в значительной степени диффузным путем за счет смыва НП с нефтезагрязненных земель. В процессе формирования поверхностного стока часть НП оказывается в гидрографической сети. Наиболее интенсивный смыв происходит в период весеннего половодья, когда сток формируется на всех геоморфологических уровнях. На это часто накладывается миграция углеводородов из недр, спровоцированная бурением и отбором флюидов. Далее добавляются биогенные углеводороды и аварии трубопроводов, пересекающих реки. В результате все малые реки в пределах месторождений углеводородного сырья содержат нефтяные углеводороды, концентрация которых в 5-10 и более раз превышает нормативные значения, даже в том случае, если на водосборе данной малой реки в пределах месторождений нет объектов нефтегазового комплекса [1].

Нефтедобыча оказывает влияние на все компоненты гидросферы таежных экосистем — поверхностные, грунтовые и подземные воды. Можно выделить две основные формы воздействия — механическую и биохимическую. Первая проявляется как физическая трансформация ландшафтов, определяющих расходную часть водного баланса территории: стока, испарения и фильтрации. Вторая — как химическое и биологическое загрязнение.

Разведочный этап характеризуется незначительным загрязнением водных объектов даже в 1950-70-е гг., когда многие скважины бурились по берегам рек. Исключение составляют залповые аварийные выбросы нефти с устья скважин, когда происходит загрязнение большой площади с попаданием нефти в поверхностные водоемы. Ликвидированные и находящиеся в консервации скважины могут быть потенциальными (а иногда становятся реальными) очагами загрязнения подземных, грунтовых и поверхностных вод в результате разрушения цементных мостов, заколонных межпластовых перетоков, подтекания устьев. Нерекультивированные шламовые амбары (ША) без гидроизоляции (в отличие от ША при строительстве добывающих скважин) также являются источником миграции загрязняющих веществ в грунтовые воды. От-

мечено, что в большинстве ША содержание НП, мышьяка и бензапирена превышает нормативы ПДК и ПДУ, в некоторых из них отмечено превышение нормативов по меди, цинку, свинцу и никелю. Максимальное загрязнение обусловлено углеводородами (УВ) [2].

Среди механических форм воздействия на поверхностные водные объекты на этапе строительства объектов нефтедобычи наиболее значимым является зарегулирование поверхностного стока (начиная со строительства при прокладке автодорог) и вызванное этим понижение или повышение уровня грунтовых и поверхностных вод. В результате этого естественные водные объекты иногда перестают функционировать как исключительно природные образования, становясь природно-антропогенными. Наиболее характерные примеры — озера Самотлор, Кымыл-Эмтор и Белое, акватория которых разделена песчаными насыпями на отдельные сектора под технологические объекты добычи и автодороги (рис. 1) [2].

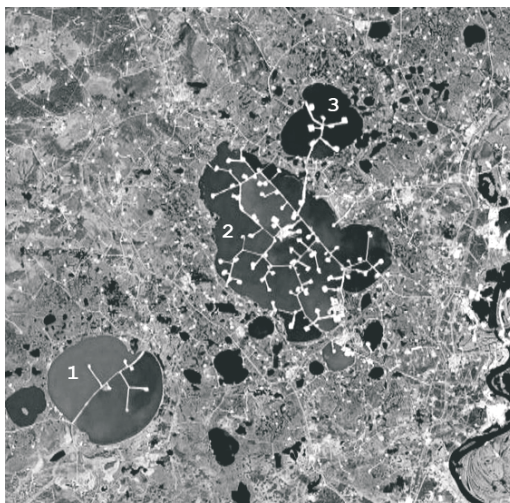


Рис. 1. Техногенная сегментированность озер Кымыл-Эмтор (1), Самотлор (2) и Белое (3), Самотлорское месторождение (снимок 2005 г., Google Earth)

На снимке отчетливо просматривается разное спектральное окрашивание сегментов озер, что может свидетельствовать о неодинаковом режиме их функционирования. Е.Ф. Тамплон (1998) считает, что крупные озера, такие как Самотлор, давно перестали существовать как единое водное пространство [3]. Их акватории расчленены отсыпанными островами и дамбами, на которых размещены кустовые площадки и транспортные коммуникации. Все, что сливается с кустовых площадок или выливается из трубопроводов при аварийных разрывах, попадает в озера. В результате этого большинство озер, оказавшихся на территории месторождений, особенно те, которые разбиты насыпями на отдельные непроточные участки, сильно загрязнены НП и механическими взвесями. Животный мир таких озер либо полностью уничтожен, либо крайне обеднен.

В период строительства трубопроводной системы происходит также нарушение русловой части и прибрежных участков водоохраных зон и защитных береговых линий. Исследования В.А. Ефимова (2000) по оценке состояния рек

и ручьев, пересекаемых трассами трубопроводов, выявили следующие виды воздействия на русла и поймы рек:

- чрезмерное захламливание русел остатками строительных материалов (трубами, пригрузами и др.);
- заносимость, заиление и зарастание русел;
- разрушение берегов и последующий размыв траншей и прибрежной полосы;
- перекрытие (полное или частичное) русел рек трубами газопровода;
- перекрытие русел рек временными притрассовыми дорогами;
- захламленность пойм остатками строительных материалов и древесными остатками;
- изрытость пойм;
- нарушение задернованности прибрежной полосы и поверхности пойм;
- перекрытие пойм трубами в обваловке и без нее на высоте 0,5-2,0 м.

Указанные воздействия, вызванные серьезными нарушениями при строительстве трубопроводов, отступлениями от проектов и частично недостатками самого проекта, приводят к стеснению руслового потока, нарушению водного режима, повышению мутности воды, снижению рыбохозяйственного значения рек [4].

Наиболее существенным фактором техногенного загрязнения водных объектов при освоении нефтяных месторождений является химическое загрязнение. По мнению А.М. Никанорова и соавт. (2002), для нефтедобывающей промышленности основными загрязняющими веществами гидросферы являются НП и минеральные макрокомпоненты (сульфаты, хлориды, магний и др.), которые в больших количествах содержатся в попутно извлекаемых высокоминерализованных пластовых водах [5].

Наибольшую опасность представляет химическое загрязнение водных объектов, особенно крупных рек области, на этапе добычи нефти. Согласно данным С.А. Мирошниченко (2006), основными причинами загрязнения поверхностных и подземных вод в районе разработки нефтяных месторождений, как правило, являются:

- нарушение герметичности в устьевой арматуре скважин;
- освоение скважин и их капитальный ремонт без учета требований регламента на проведение этих видов работ;
- несоблюдение правил хранения нефти и горюче-смазочных материалов в резервуарах;
- аварии, связанные с природными и техногенными причинами [6].

По мнению В. И. Уваровой (2000), попадание нефти и НП в р. Обь и другие крупные реки происходит из трех источников: 1) эпизодические, разливы в результате аварий на водных переходах трубопроводов и с нефтеналивных судов; 2) сброс нефтесодержащих сточных вод промышленными предприятиями, смыв НП с производственных площадок и улиц городов региона; 3) поверхностный и подземный сток с территорий нефтепромыслов. К указанным источникам необходимо добавить еще и судоходство [7].

Бассейн р. Обь объединяет большую часть территории Тюменской области в ландшафтно-геохимическую систему. По мнению А.В. Соромотина (2010), возможность выноса загрязняющих веществ из очагов формирования через водосборные площади малых рек в русло Оби и дальнейшая их миграция определяют переход регионального уровня воздействия нефтедобычи на гло-

бальный [2]. Основным загрязняющим веществом является нефть. Разрабатывая прогнозную модель загрязнения нефтью Западно-Сибирской ландшафтно-геохимической области, Ю.И. Пиковский (1993) предполагал, что из общего объема нефти, которая может поступить в бассейн Оби, в неподвижном резерве почв останется 36%, в донных отложениях речной сети бассейнов 2-го порядка — 8%, в донных отложениях Оби — 24%, в море будет вынесено около 5% [8].

Официальные данные по Ямало-Ненецкому АО свидетельствуют, что содержание НП в водах крупных рек в несколько раз превышает ПДК. Гидрохимические анализы состояния воды в р. Обь показывают, что загрязнение НП начинается еще в Ханты-Мансийском АО-Югре. На границе с Югрой, в районе Казым-Мыса, содержание НП в 2004 г. достигало значений 1,24 мг/дм³. Несмотря на процессы самоочищения, концентрация НП в обских водах значительно превышала ПДК вплоть до впадения в Обскую губу в районе г. Салехарда (0,74-0,77 мг/дм³), причем содержание НП в Тазовской губе выше, чем в Обской, за счет рек, протекающих по Пуровскому нефтегазодобывающему району. На отдельных участках Обской губы содержание нефтепродуктов в воде превышает ПДК в сотни раз. В целом по ЯНАО уровень загрязненности поверхностных вод НП в 2004 г. превышал ПДК в 30-50 раз [9].

Одним из концептуальных решений проблемы управления антропогенным воздействием с целью гармоничной ко-эволюции человечества и биосферы является развитие методологии нормирования потока загрязняющих веществ в окружающую среду. В 1970-80-х гг., когда пресноводные водоемы и значительная часть прибрежных акваторий оказались тотально загрязненными, была сформулирована концепция нормирования с учетом ассимиляционной емкости, самоочищения водоемов, буферной способности водных систем [10], [12], [13]. Рядом ученых она стала подвергаться ожесточенной критике как фактически легализующая загрязнение. В качестве альтернативы западными специалистами был выдвинут принцип «нулевого» сброса, который, по мнению многих ученых, утопичен. Бесспорно, принцип предотвращения загрязнения, на основе безотходных и маловодных технологий взамен борьбы с последствиями является одним из основополагающих для охраны водоемов от загрязнения. Вместе с тем в процессе жизнедеятельности человека водные системы подвергаются различному воздействию. Водные объекты загрязняют не только прямые стоки промышленных производств. Существует много опосредованных и даже до конца не осознанных путей, например, диффузные источники, аэротехногенные потоки, выщелачивание (и вымывание) загрязнения из отвалов горных пород и свалок, смывы удобрений и пестицидов с полей, вторичное загрязнение вод из донных отложений, разложение пластификаторов и других веществ, безвредных в основе, но способных давать токсичные продукты в процессе разложения.

Водоемы в конечном счете являются коллекторами всех техногенных потоков рассеивания элементов и веществ с токсичными свойствами. Поэтому в той или иной степени загрязнение водных объектов будет всегда происходить. Вопрос не в том, возможно ли в принципе нормирование потока загрязнения в природные объекты, а насколько в ее рамках будет разработана и предложена корректная система регламентации для практического использования.

Концепция нормирования. Наряду с темами, посвященными изучению потепления климата, проблема экологического нормирования является одним из наиболее популярных направлений в современных исследованиях. Учитыв-

вая высокую актуальность и практическую значимость, многообразие направлений, по которым ведутся исследования, число теоретических воззрений на проблему нормирования может быть достаточно велико. Можно выделить подходы на уровне биосферных решений [14]; геосистемных [15], [16], [17] и экосистемных [10], [11], [12], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27]. Однако большая часть рекомендаций по ограничению нагрузок разрабатывается, к сожалению, по какому-либо одному фактору воздействия — будь то закисление, эвтрофирование, нефтеуглеводороды, компоненты радиоактивного или отдельные элементы и вещества токсичного загрязнения. Современный период характеризуется большим разнообразием антропогенно обусловленных явлений в природе, когда на живые организмы воздействует результат всех прямых и опосредованных эффектов комплексного загрязнения, как нами было показано на примере влияния нефтедобычи. Экологическое нормирование — ключевая проблема в формировании системы экологической безопасности. Без предварительного, достаточно глубокого изучения свойств экосистем и механизмов формирования их откликов на различные антропогенные воздействия, без получения определенных данных о дозах и их эффектах для конкретных систем сложно предложить как адекватную программу мониторинга, так и рациональные методы сбора и обработки данных [10].

Ключевыми вопросами нормирования антропогенных воздействий являются критерии диагностики пограничных состояний биологических систем, а именно «нормы» и «патологии» в состоянии организмов, адаптационных, дестабилизационных или деградационных процессов в популяциях и сообществах, ассимиляционной емкости экосистем и др., которые по праву считаются одними из труднейших в современной науке.

До настоящего времени в российской практике, как и в большинстве зарубежных стран, решение об ограничении антропогенных нагрузок принимается на основе сопоставления измеренных концентраций отдельных загрязняющих веществ и сравнения их с предельно допустимыми значениями для водоемов рыбохозяйственного или санитарно-бытового использования. Не ново мнение, что система ограничений поступления загрязняющих веществ, основанная на данных о предельно допустимых концентрациях (ПДК) вредных веществ в воде, несовершенна, не дает адекватной оценки качества вод и не охраняет в полной мере водные экосистемы от деградации [26], [27], [28].

Различными специалистами активно разрабатываются концепции и методы расчета предельно допустимых возможных воздействий (ПДВВ) и предельно допустимых сбросов (ПДС). Последние основываются на гидрологических факторах и способности водных систем к разбавлению, опять-таки — до уровня пресловутого ПДК по отдельным ингредиентам [35].

В мировой науке все большую популярность приобретает концепция критических нагрузок, которая близка по смыслу с распространенным в России понятием ПДВВ, но имеет не экспертное, а численное выражение. Под «**критической нагрузкой**» понимается максимально допустимый поток поступления одного или нескольких загрязняющих веществ в экосистему, который не вызывает негативных изменений в наиболее чувствительных его компонентах. Аналогичным по смыслу ПДК является понятие «**критический уровень**», понимаемое как предельные концентрации одного или нескольких загрязняющих

веществ, не вызывающие нарушений в наиболее чувствительных звеньях природных экосистем (рис. 2).



Рис. 2. Блок-схема установления критических уровней и нагрузок для целей нормирования с учетом факторов воздействия

В приложении к нормированию потока токсичных веществ в экосистему выделяются три основных блока задач [26], [29], которые показывают необходимость выполнения достаточно сложных в теоретическом плане исследований в науках о Земле и о Жизни.

1. Определение интегрального показателя дозы воздействия основывается на познании закономерностей миграции, форм нахождения, трансформации и седиментации техногенно привнесенных элементов в системе: источник → водосбор → водоем; взаимодействия с природными факторами на водосборе и в водоеме. Как правило, промышленные стоки или выпадения из атмосферы имеют многокомпонентный состав и часто сопровождаются побочными явлениями. Поэтому, наряду с обоснованием химических критериев регистрации отдельных негативных явлений в водной среде, необходимо найти методический прием «сжатия» многосторонней информации к единому численному значению оценки качества водной среды, адекватно отражающему дозу воздействия на биологические системы с учетом суммарного, синергетического или антагонистического взаимодействия всех компонентов абиотической среды.

2. Обоснование критериев оценки последствий антропогенного воздействия является узловым вопросом и основывается на познании закономерностей антропогенной изменчивости биологических систем, устойчивости и механизмов адаптации; определении «нормы и патологии», порога необратимых изменений в организмах или качественно новых состояний сообществ. Наиболее информативную базу для понимания последствий загрязнения и обоснования критериев их оценки, как отмечалось в первой главе, дает исследование целостной картины изменений на всех уровнях организации (от молекулярно-клеточного — к организмам, популяциям и сообществам).

3. Определение критических уровней и нагрузок является интеграционным этапом исследований и основывается на выявлении связей в системе: объемы выбросов и стоков (нагрузки) \Leftrightarrow превращения на водосборе и интегрированный сток \Leftrightarrow процессы в водной среде и интегральный показатель дозы воздействия \Leftrightarrow биологические эффекты и критерии их регистрации \Leftrightarrow критические уровни воздействия \Leftrightarrow нагрузки. Если определены критические уровни комплексного загрязнения для биологических систем и есть модели связи выбросов (поступлений на водосбор) и формируемых ими концентраций, то далее определяют критические нагрузки и их превышения для конкретных водных объектов.

Бесспорно, совершенную систему нормирования сложно создать одновременно. По мере развития науки и прогресса в части аналитических измерений, понимании ранних биологических ответов на токсичный стресс наши представления о происходящих процессах в окружающей среде и допустимости их воздействий на живые организмы будут постоянно уточняться. Вместе с тем сложившаяся на сегодняшний день экологическая ситуация в ряде регионов, включая Западную Сибирь, требует достоверных решений, приближающих нас к пониманию происходящих явлений в природе, необходимости не только изучения последствий, но и их предотвращения. Можно вести разработки и находить решения поэтапно, сначала по упрощенным схемам, далее — совершенствуя их.

Качество вод. Нормирование загрязнения в водных объектах имеет целью сохранение высокого качества вод для жизнеобеспечения людей, для сохранения стабильного функционирования водных и наземных экосистем. Для оценки качества вод в водных объектах предлагается ряд методов и классификационных схем, позволяющих с определенной долей условности по физико-химическим или гидробиологическим показателям отнести водный объект к определенному классу качества вод [30], [31], [32], [33], [34]. При всей кажущейся простоте вопроса о качестве вод до настоящего времени не выработано понятие — какую воду можно считать водой хорошего качества и какие критерии оценки могут быть приняты как объективные?

Согласно ГОСТ [35] под качеством вод понимают «совокупность физических, химических и биологических свойств вод с учетом требований конкретных водопотребителей». Критерии качества вод у водопотребителей различны в соответствии с их целями. Для промышленного водопользования, питьевого водоснабжения, естественного или искусственного воспроизводства рыб они существенно отличаются. В самом определении «качество» заложена эпитетная характеристика вод, выражающаяся в экспертных оценках — чистая, загрязненная, сильно загрязненная; удовлетворительная или неудовлетворительная и т.д. Для одних водопользователей она может быть чистой (например, для промышленного водопользования), для других (например, при выращивании лососевых рыб) — грязной. Поскольку вода — это жизненно необходимый ресурс для всех живых организмов, включая человека, и среда обитания для водных организмов, ее качество может быть оценено только по отношению к живым системам.

Качество вод характеризуется определенными свойствами, измеряемыми рядом параметров. Свойства природных вод формируются в результате сложных процессов на водосборе и в водоеме: 1) физико-химических — химическое выветривание элементов, их взаимодействие, фильтрация, миграция, адсорбция, десорбция элементов, атмосферное выпадение и эвапорация с поверхности; 2) биологических — биохимических, микробиологических, биофильтрационных. Относительная природная стабильность свойств вод и сезонная их изменчивость в кон-

кретных водоемах поддерживается за счет динамического равновесия и цикличности природных процессов. В процессе жизнедеятельности организмы, используя воду как ресурс и среду обитания, активно влияют на ее свойства, в ряде случаев играя определяющую роль, поэтому вода является биокостным телом. Водные организмы более зависимы от свойств вод в силу высокого уровня метаболизма в водных экосистемах по сравнению с таковыми в наземных. В данном сборнике ряд статей посвящен влиянию отходов и стоков нефтедобычи на гидробионтов.

Если абстрагироваться от субъективных требований к качеству вод отдельных водопотребителей, то более универсальным определением будет характеристика качества вод с позиций экологической парадигмы: **«Качество вод — это свойства вод, сформированные в процессе химических, физических и биологических процессов, как на водоеме, так и на водосборе; благоприятным качеством вод в конкретном водоеме может считаться в том случае, если оно отвечает требованиям сохранения здоровья организмов и воспроизводства наиболее чувствительных видов, адаптированных в процессе эволюционного развития к существованию в условиях этого водоема»**

Исходя из предложенного понятия, очевидно, что в основе методов оценки качества вод (в экспериментальных или натуральных условиях) лежит изучение влияния свойств вод на водные экосистемы и их структурные элементы — отдельные организмы, популяции или сообщества. Принимается, что если свойства вод отвечают требованиям существования и воспроизводства наиболее чувствительных водных организмов, то качество вод (за исключением частных случаев) можно считать соответствующим требованиям и для сохранения здоровья человека. Наиболее известными методами оценки качества вод являются: химиндикация (или система ПДК); биотестирование и биоиндикация (рис. 3.). В последние годы наибольшую известность получил экотоксикологический подход, в основе которого лежит интегральная оценка «здоровья экосистем». Более детально характеристики методов биологической оценки качества вод рассматриваются в ряде статей данного сборника.



Рис. 3. Блок-схема биологических методов оценки качества вод и их значение для определения критических уровней загрязнения вод

Основные принципы предотвращения качественного истощения водных ресурсов. Несмотря на то, что во всем мире, включая и Россию, в последние годы наметились тенденции по снижению потоков загрязняющих веществ в водные объекты, токсичное загрязнение вод продолжается. Основными его причинами являются: увеличение роли неконтролируемых диффузионных источников загрязнения водных объектов (смыв с городских территорий и промышленных площадок, аэротехногенное загрязнение водосборов и трансграничные переносы, сток с полигонов для складирования хозяйственно-бытовых и промышленных отходов, смывы с полей, сток из хвостохранилищ и отвалов руд, загрязнение донных отложений, накопившиеся за предыдущие периоды; деградация и долгопериодные изменения в структуре экосистем; обмеление, заиление, зарастание, заболачивание и «цветение» водных объектов и др.

Экологическая политика должна основываться на приоритете чистой воды, как основы сохранения здоровья населения и жизнеобеспечивающих условий: устойчивого функционирования водных и наземных экосистем, эффективности и качества сельскохозяйственной продукции, воспроизводства рыбных ресурсов, рекреационного и эстетического потенциала водных объектов. Основные принципы предотвращения качественного истощения водных ресурсов и водного кризиса вытекают из самой сути явлений формирования водных ресурсов в процессе естественного круговорота воды:

- отказ от представления о безграничной самоочищающей способности вод и неиссякаемости водных ресурсов;
- охрана водных ресурсов в процессе их использования: а) снижение водоемкости производств, вплоть до перехода на маловодную или «сухую» технологию; б) локальная очистка промышленных сточных вод, т.е. замкнутое оборотное водоснабжение, основой которого является отдельная очистка сточных вод технологических линий, цехов и т.д., которые содержат одно или группу однородных загрязнений; в) изменение технологий, позволяющее получать сточные воды, легко поддающиеся очистке или регенерации; г) рекуперация отходов и др.;
- устранение причин, вызывающих загрязнение, взамен преобладающей ныне борьбы с последствиями загрязнения (т.е. принцип профилактики взамен борьбы с последствиями; исключение сброса токсичных веществ в составе промышленных стоков в реки и водоемы);
- изоляция хозяйственного звена круговорота воды от естественного — речного, озерного и подземного; разделение двух групп водоотведения — коммунально-бытового и промышленного;
- предупреждение аварийных ситуаций системой совершенной организации добычи и транспортировки полезных ископаемых, захоронения отходов, исключающей массовые разливы нефти, выбросы радиоактивных отходов, мощные площадные смывы загрязнений из мест разработки полезных ископаемых и хранения отходов;
- предвидение и предупреждение нарушений естественного круговорота элементов в природе под влиянием деятельности на водосборе, глобального загрязнения воздуха и потепления климата (нарушения ионного равновесия вод и их закисления; изменения режима биогенных веществ и эвтрофирования, высвобождения ионных токсичных форм металлов и др.);
- дифференциальный подход к защите вод в зависимости от природных условий водоема и региона, а также от специфики и характера действия за-

грязняющих компонентов, комбинации сопутствующих факторов в конкретных условиях, установление региональных, экологически допустимых норм нагрузок.

Для всех видов производства невозможно предложить универсальные методы. Но любые из них будут достаточно совершенными только на основе профилактического принципа, который открывает пути экономии водных ресурсов.

Природоохранные технологии нефтедобычи. Загрязнение водных бассейнов Среднего Приобья разнообразными химическими веществами, в частности, нефтепродуктами, минерализованными водами и химреагентами с канцерогенной и мутагенной особенностями, в ряде мест достигло критических значений, близких к экологической катастрофе. Поэтому значение практических работ по предупреждению распространения химического загрязнения в водный бассейн огромно. Содержание нефтепродуктов в речных водах может составлять десятки мг на дм^3 . Растворимые нефтяные углеводороды в дозах, превышающих ПДК, обнаруживаются даже за пределами месторождений. Особенно остро эта проблема стоит в весенний период, когда талыми водами с территории промыслов сносится огромное количество нефти, содержащейся на замазученных почвах.

Наибольшее распространение по очистке нефтезагрязненных поверхностных вод в Западной Сибири получили различные биопрепараты типа «Деворойл», «Деградойл», «Путидойл» и пр. Основной принцип использования этих препаратов — внесение накопительных культур микроорганизмов с высокой углеводородокислительной активностью непосредственно на загрязненную поверхность. При этом предполагается, что бактериальные клетки будут постоянно контактировать с пленочной нефтью. Практика обработки препаратами разливов нефти показала, что при расчете доз препарата учитываются только площадные характеристики объектов и обрабатываются стоячие водоемы типа небольших озер, участков мочажин болотных комплексов, антропогенных канав и водоемов. Это и понятно. При таком подходе вносить дорогостоящие биопрепараты в поверхностные водотоки просто бесполезно: бактериальные клетки будут сноситься вниз по течению и титр культуры в месте обработки резко снизится в результате разбавления.

Одним из наиболее перспективных биологических направлений санации загрязненных водоемов является биоремедиация — применение технологий и устройств, предназначенных для биологической очистки почв и водоемов, т. е. для удаления из почвы и воды уже находящихся в них загрязнителей. В нашем регионе биоремедиация включает в себя два основных подхода:

1) биостимуляция (активизация деградирующей способности аборигенной микрофлоры внесением биогенных элементов, кислорода и пр.) «in situ» — биостимулирование роста природных микроорганизмов, обитающих в загрязненной почве или воде и способных утилизировать загрязнитель, но из-за недостатка основных биогенных элементов (соединений азота, фосфора, калия и др.) и неблагоприятных физико-химических условий делающих это недостаточно эффективно, а также «in vitro» — биостимуляция в промышленных условиях загрязненных водонефтяных эмульсий с использованием промышленных углеводородокисляющих биопрепаратов.

2) биодополнение (интродукция природных и генноинженерных штаммов микроорганизмов-деструкторов).

Примером успешного использования принципа биоремедиации нефтезагрязненных водоемов стало использование биоконвейеров «Вия». Данная технология была разработана для очистки технических сточных вод промышленных предприятий в Институте коллоидной химии и химии воды НАН Украины (авторы: М. Ротмистров, П. Гвоздяк, Л. Глоба, Г. Дмитренко, Н. Могилевич, М. Куликов, О. Денис, И. Капарник). Система биоконвейера «Вия» представляет собой боновые заграждения с микробным методом очистки с иммобилизацией бактерий на насадках из текстурированного синтетического волокна. Иммобилизованные микробиоценозы четко и быстро реагируют на изменение условий внешней среды в системе путем сложных переустройств, которые приводят к изменению видового состава, снижению индекса видового разнообразия, изменению коэффициента доминирования видов и т.д. Все эти объективные факты приводят к тому, что система с иммобилизованными на волокнистых насадках микроорганизмами преобразуется в саморегулирующуюся систему — своеобразный банк микроорганизмов.

Боновые заграждения с прикрепленными к нижней части насадками размещаются поперек водотока малых рек с берега на берег так, чтобы практически вся текущая вода (или большая ее часть) фильтровалась через микробиоценоз волокон. Количество поперечных перегородок определяется экспериментально в зависимости от степени загрязнения воды. Высота бона и длина волокна рассчитываются заранее по гидрологическим характеристикам наиболее типичных рек.

Биоконвейер «Вия» является надежной, эффективной, простой в обслуживании, экологически безупречной и экономически приемлемой биологической системой очистки вод от опасного химического и биологического загрязнения. С помощью системы осуществляется обновление и самоочищение природных поверхностных вод, а также восстановление ресурсного потенциала использованной воды.

Волокнистые насадки не имеют равных в мире по площади поглощающей поверхности, которая может достигать 5000 и даже 10000 м²/м³ объема сооружения, в то время как поглощающая поверхность лучших иностранных образцов насадок редко превышает 300 м²/м³. Кроме того, эти насадки занимают не больше 0,5% объема сооружения, а наилучшие иностранные — не менее 5%, а иногда даже более половины полезного объема (например, пористые стеклоблоки). «Вия» практически не создает гидравлического сопротивления протеканию сточных вод через очистные сооружения.

Принцип биоконвейера заключается в том, что размножающиеся углеводородокисляющие бактерии включаются в трофические цепи водоема и «перенаселения» среды не происходит, при этом постоянно поддерживается оптимальный титр клеток.

Вода, пройдя такой биоконвейер, становится чистой, биологически полноценной и качество ее может стать более высоким по сравнению с природными водами ближайших водоемов.

Жизнеспособность идеи биоконвейера подтверждена широким внедрением в практику очистки промышленных сточных вод на 10 заводах пищевой и микробиологической промышленности, 4 нефтеперерабатывающих и 2 газоперерабатывающих заводах, 2 станциях хранения и перекачки газа, на 11 химзаводах разного профиля (химволокна, лакокрасочных, среднего машиностроения, тонкого органического синтеза, коксохимии), 2 станциях очистки сливных вод,

50 станциях очистки бытовых сточных вод, при предварительной биологической очистке питьевой воды на водозаборе, преодолении последствий канализационной и ряда техногенных аварий, при борьбе с биообрастаниями технологического оборудования. В настоящее время система внедрена на 96 промышленных предприятиях и станциях очистки коммунальных вод.

Научный, технологический и технический уровни предлагаемых биотехнологий по основным экологическим и технико-экономическим показателям не только не уступают передовым мировым образцам, но и превосходят их, в частности, по таким важнейшим показателям, как качество очищенной воды. Так, очищенные по разработанной биотехнологии промышленные сточные воды нефтеперерабатывающего завода имеют: БСК — 4-5 мг/л и меньше, концентрацию взвешенных веществ — 2-3 мг/л, содержание нефтепродуктов — 0,05 мг/л и ниже, следы ионов тяжелых металлов.

Таким образом, в результате систематических исследований на протяжении почти 30 лет коллективом авторов предложено принципиально новое направление в биологической очистке воды, разработаны и внедрены в практику высокоэффективные, экологически безупречные биотехнологии восстановления качества воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калинин В.М. Вода и нефть (гидролого-экологические проблемы Тюменского региона): монография. Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2010. 244 с.
2. Соромогин А.В. Воздействие добычи нефти на таежные экосистемы Западной Сибири: монография. Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2010. 320 с.
3. Тамплон Е.Ф. Антропогенное воздействие на территории Ханты-Мансийского автономного округа // Проблемы региональной экологии. 1998. № 2. С. 63-75.
4. Ефимов В.А. Функциональная характеристика экологической безопасности нефтегазопроводов // Защита от коррозии и охрана окружающей среды. 2000. № 4-5. С. 25-29.
5. Никаноров А.М., Страдомская А.Г., Иваник В.М. Локальный мониторинг загрязнения водных объектов в районе высоких техногенных воздействий топливно-энергетического комплекса. СПб.: Гидрометеиздат, 2002. 156 с.
6. Мирошниченко С.А. Геоинформационные системы производственного экологического мониторинга состояния поверхностных водных объектов на территории разработки нефтяных месторождений: м-лы ежегодной науч. сессии Горного ин-та УрО РАН по результатам НИР в 2005 г. URL: http://www.mi-perm.ru/session2006/sess_2006-0.htm.
7. Уварова В.И. Современное состояние качества воды р. Оби в пределах Тюменской области // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2000. Вып. 1. С. 18-26.
8. Пиковский Ю.И. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде. М.: 1990. С. 153-155.
9. О состоянии окружающей среды и природных ресурсов на территории Ямало-Ненецкого автономного округа ГУ «Ресурсы ЯМАЛА». Салехард, 2005. 160 с.
10. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. М.: Гидрометеиздат, 1984. 559 с.
11. Лукьяненко В.И. Общая ихтиотоксикология. М.: Лег.пищ. пром-ть, 1987. 320 с.
12. Никаноров А.М. Экологическое нормирование антропогенного воздействия на пресноводные и эстуарные водоемы // Методология экологического нормирования: Тез. докл. всесоюз. конф. Харьков, 1990. С. 40-41.
13. Патин С.А. Экологические проблемы освоения нефтегазовых ресурсов морского шельфа. М.: Изд-во ВНИРО, 1997. 340 с.

-
14. Кондратьев К.Я. Ключевые аспекты экологической политики. 1. Экодинамика // Изв. русск. геогр. общ-ва. 1995. Т. 127. Вып. 3. С. 1-10.
 15. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов. М.: Высшая школа, 1988. 328 с.
 16. Евсеев А.В., Красовская Т.М. Эколого-географические особенности природной среды районов Крайнего Севера. Смоленск: Изд. СГУ, 1996. 232 с.
 17. Садыков О.Ф. Экологическая экспертиза в условиях Севера / Рациональное использование природных ресурсов и охрана окружающей среды. Петрозаводск: Изд. Карел. науч. центра, 1998. С. 42-50.
 18. Булгаков Н.Г., Дубинина В.Г., Левич А.П., Терехин А.Т. Метод сопряженностей между гидробиологическими показателями и численностью промысловых рыб // Изв. РАН. Сер. биол. 1995. № 2. С. 218-225.
 19. Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем. Екатеринбург: УИФ Наука, 1994. 240 с.
 20. Левич А.П., Терехин А.Т. Метод расчета экологически допустимых уровней воздействия на пресноводные экосистемы // Водн. ресурсы. 1997. Т. 24. № 3. С. 328-335.
 21. Патин С.А. Антропогенное воздействие на морскую среду и биоресурсы: Методология оценок / Антропогенное воздействие на водные экосистемы. М.: Изд-во МГУ, 2005. С. 32 -60.
 22. Hokanson, L. Water pollution — criteria to rank threats and risks to aquatic ecosystem. Stockholm: Swedish Environmental Protection Agency, Inform. 1992. 103 p.
 23. Henriksen, A., Kamari, I., Posch, M., Wilander, A. Critical Loads of Acidity: Nordic Surface Waters // AMBIO. 1992. V.21. P. 356-363.
 24. Cairns, J. Jr., Pratt, J.R. Functional testing of aquatic biota for estimating hazards of chemicals. Philadelphia, 1989. 242 p.
 25. Critical Loads and Critical Limit Values /Eds. H. Raitio, T. Kilponen. Helsinki (Finland): Northern Council Ministry, 1994. 192 p.
 26. Моисеенко Т.И. Теоретические основы нормирования антропогенных нагрузок на водоемы Субарктики. Апатиты: Изд-во Кольск. науч. центра РАН, 1997. 261 с.
 27. Моисеенко Т.И. Экотоксикологический подход к оценке качества вод // Водн. ресурсы. 2005. Т. 32. № 4. С. 410-424.
 28. Ласкорин Б.Н., Лукьяненко В.И. Стратегия и тактика охраны водоемов от загрязнений // Тез. докл. II Всесоюзной конф. по рыбохозяйственной токсикологии. СПб., 1991. С. 5-8.
 29. Моисеенко Т.И. Теория критических нагрузок и ее приложение к определению воздействия кислотообразующих веществ на поверхностные воды // Доклады Академии наук. 2001. Т. 378. С. 250-253.
 30. Единые критерии качества вод. Сопровождение руководителей водохозяйственных органов стран-членов СЭВ. М.: СЭВ, 1982.
 31. Алабастер Дж., Ллойд Р. Критерии качества воды для пресноводных рыб. М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1984. 344 с.
 32. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под. ред. В.А. Абакумова. СПб: Гидрометеоздат, 1992. 318 с.
 33. Перечень рыбохозяйственных нормативов предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М.: Изд-во ВНИРО, 1999. 304 с.
 34. Environmental Quality Objectives for Hazardous Substances in Aquatic Environment. Berlin: UMWELTBUNDESAMT, 2001. 186 p.
 35. ГОСТ 27065-86. Качество вод. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1987. 9 с.