

СОВРЕМЕННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОЦЕНОК СВОЙСТВ МОРСКИХ АКВАТОРИЙ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ

Ю.А.Проخورенко,
Е.А.Агафонов, А.С.Кукушкин

Морской гидрофизический
институт НАН Украины,
г. Севастополь, Капитанская, 2

В конце 20-го столетия вместе с триумфом технической революции жёстко проявилась реальная угроза серьёзных нарушений функционирования всей биосферы, биогеографической оболочки планеты под влиянием человеческой деятельности. От вставшей резко и безальтернативно проблемы выживания человечества при зримых следствиях своего рукотворного "покорения природы" Мировое сообщество обратилось к экологии и вплотную приступило к созданию национальных и глобальных систем контроля окружающей среды. В этих системах нашли применение уже созданные средства исследования и наблюдения самых различных свойств литосферы, водных объектов, атмосферы и околоземного космического пространства. В последние годы Мировое сообщество вынуждено было признать, что современный уровень научных знаний не позволяет сколько-нибудь уверенно предсказывать последствия тех или иных антропогенных воздействий на окружающую природную среду и особенно её биоту. Колыбель всего живого — вода. Океан, морские акватории, как один из видов природных ресурсов, предоставляет

почти в 80 раз большее пространство для жизни, чем суша.

На Украине, как и во многих странах, также ведётся разработка единой автоматизированной системы экологического контроля вод Украины — АСЭКВУ [6], которая станет составной частью создаваемой системы глобальных наблюдений.

В рамках приоритетных направлений развития науки и техники на Украине решаются задачи по комплексной программе "Оценка состояния, прогноза и восстановления качества природных вод Украины" — 121 проект. В основе программы лежит поэтапный подход — разработка комплекса мероприятий экологического, водоохранного и водоочистного характера.

Современное понятие мониторинга подразумевает:

1. Определение объекта наблюдения и изучение его фоновых биологических и физико-химических данных, его загрязнителей;

2. Изучение исторического развития и настоящего состояния обследуемой экосистемы с динамикой изменения её под воздействием всех существующих загрязнителей;

3. Оценки характера поступления загрязнителей — мощность источников, объёмы и пути проникновения, характеристики всех возможных аварийных сбросов, расчёта полного ущерба;

4. Выделение наиболее существенных потерь экосистемы и определение наиболее опасных для неё факторов влияния и загрязнителей;

5. Исследование региональных временных способностей самоочищения и определения остаточного дефекта природных

ресурсов от воздействия загрязнителей;

б. Разработка эффективной системы математического моделирования с целью постоянного владения складывающейся экологической ситуацией и своевременного централизованного реагирования на поступающую информацию.

После изучения исторических данных объекта и загрязнителей по литературным и архивным данным и нового натурного обследования акваторий, необходимо выяснить произошедшие изменения и определить их причинную связь с известными и вновь обнаруженными источниками загрязнения. В ходе последнего собираются сведения по вышеназванным пунктам 3, 4 и 5 и для системы модельных расчётов по пункту б. Постоянное обновление данных о состоянии акватории служит основанием для постоянной оптимизации схемы наблюдений, пополнения архивов, выбора компенсационных мероприятий по ослаблению напряжённости в экосистеме с целью восстановления нормальных условий её функционирования и нормализации свойств окружающей среды в кратчайшие сроки.

В море (океане) комплекс экологических факторов охватывает не только саму толщу вод, но и дно, пограничную сушу и атмосферу. Его функционирование легче поддаётся анализу с выделением подсистем. Специфике каждого прибрежного природного географического района отвечает своеобразие его биоты, сложившегося антропогенного использования акваторий. Экологическую нагрузку кроме гидробиологической составляющей содержат в себе функционально

гидрологическая, гидрофизическая, гидрохимическая и гидрогеологическая подсистемы.

Для оценки качества вод принято использовать биологические, физические и химические показатели. Степень пригодности воды для определённой цели может быть условно выяснена путём применения нормирования — сравнения исследуемой воды с искусственно полученными на основании опыта и утверждёнными стандартными нормативами или природными, фоновыми качествами. По условиям рыбохозяйственного пользования нормировано около 400 веществ, а по условиям хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования — более 1000 веществ. Согласно первым оговариваются предельные концентрации токсиантов, при которых ещё не угнетаются жизненно важные функции гидробионтов, не ощущается пагубное влияние на их генный аппарат. Вторые нормы должны обеспечить отсутствие вредных влияний на здоровье человека и потому в них вводятся дополнительно и бактериологические показатели. Предназначенные разным целям эти нормы не равнозначны. Большему уровню требовательности отвечают рыбохозяйственные нормативы и потому они ближе к обеспечению решения экологических задач. Однако, для сохранения видового состава природной экосистемы и их нельзя считать удовлетворительными. Для этого пригодны только природные качества вод. Для полного восстановления природных качеств вод в используемой части водного бассейна в остальной, буферной части акватории должно сохраняться достаточно

природных возможностей ре-
генерации и на неё должно быть
запланировано достаточное
время, когда разрушающие
воздействия должны быть
прекращены или в достаточной
мере ограничены.

Как свидетельствуют мате-
риалы VI съезда Всесоюзного
гидробиологического общества
(Мурманск, октябрь 1991 г.)
ежегодно в водные объекты
СНГ попадает от 10 до 40 тыс. т.
различных химических веществ,
которые взаимодействуют
между собой. В результате в
воде появляются новые ве-
щества, зачастую характери-
зующиеся ещё большей, чем
исходные, негативной биологи-
ческой активностью. Например,
фенолы в водной среде прев-
ращаются в хиноны и диокси-
ны, т.е. вещества с высокой
токсичностью близкой к дей-
ствию отравляющих веществ.
На сегодня известно несколько
тысяч диоксинов. Нитраты в
водной среде превращаются в
нитриты, последние в нитрозо-
амины, характеризующиеся
высокой канцерогенностью.
Многие токсиканты проявляют
своё негативное воздействие
даже в очень слабых концен-
трациях. Необходимо учитывать
кумулятивный эффект их кон-
такта между собой в воде.

Известны многообразие и
сложность комплекса дей-
ствующих антропогенных фак-
торов, оказывающих влияние на
экологическое состояние водных
объектов. Характер и глубина
этого влияния, возникающие
экологические последствия за-
висят от силы воздействующего
фактора, его сопряжённости с
другими типами воздействия,
особенностями физико-гео-
графических и метеорологи-
ческих условий. Живые орга-
низмы экосистемы могут

отвечать на внешнее воздей-
ствие двумя типами реакций.
Первая — виды составляющие
систему пытаются вернуть
условия к исходной ситуации
(биорегуляция), вторая — при-
способиться к изменившимся
условиям (адаптация). Они не
могут быть совместными для
всех видов организмов системы,
что порождает нелинейность её
реакции. Обычное одновре-
менное влияние ряда факторов
порождает ответную обобщён-
ную реакцию их на все воз-
действия, вычлнить в которой
значимость каждого, даже ос-
новного, достаточно сложно, а
для большинства загрязнителей
— это до сих пор остаётся
просто неизвестным.

Анализ результатов экспеди-
ционных исследований в севе-
ро-западной части моря за
последние 20 лет показывает,
что гидрохимические условия
там нестационарны, постоянно
изменяются. Увеличилась кон-
центрация биогенных элементов
в поверхностном слое вод
(фосфатов и кремния), что
повлекло повышение и кон-
центрации кислорода. В при-
донном слое, толщиной до 12 м
появились объёмы со значи-
тельными концентрациями се-
роводорода, что обернулось за-
морами и деградацией бентос-
ных сообществ. Как результат
антропогенного влияния, ре-
гистрируются во всё возрос-
тающем количестве вновь по-
являющиеся поллютанты. За-
грязнению подвержены прежде
всего прибрежные области,
поверхность моря и уже через
неё водная толща моря и дно.
Частью загрязнители остаются
на поверхности моря, наплаву
отдельными частицами или
образуя сплошную плёнку,
частью растворяются, погру-
жаются и проникают в глубины,

осаждаются и накапливаются на дне. Проходя с различной скоростью этот путь, внесённые примеси остаются некоторое время на различной дистанции от конечного пункта движения и накопления.

Источниками загрязняющих влияний в Черноморском районе являются естественные и искусственные поступления веществ, чуждых сложившейся биоте организмов и энергии как на границах раздела морской водной массы с другими средами, так и внутри её. Основные источники влияния размещаются главным образом на границах раздела. Процесс поступления загрязнителей может носить самый разнообразный характер. Это могут быть: разовый сброс или серии отдельных внедрений, постепенные, но постоянные или сезонные поступления. Пространственная структура внесения загрязнителя также имеет широкий спектр формирования: точка, полоса, ограниченное поле или объём, вся площадь поверхности раздела сред. Структура естественно сложившегося внешнего обмена веществ изменяется, как правило, эволюционно, с заметными периодичностями широкого спектрального состава. В этих условиях и складывается всё разнообразие биоты. Относительно быстрые и концентрированные антропогенные источники загрязнения, совершенно нехарактерные для естественных поступлений, способны внести регионально расширяющиеся катастрофические изменения в структуру сложившейся веками экосистемы, привести к необратимому разрушению её многообразия или существенной деградации. Места, объёмы поступлений, вид и состав загрязнителей могут

быть оценены путём измерения или расчёта. Реакция загрязняющей акватории носит специфический, нелинейный региональный характер и в настоящее время по большей части непредсказуема из-за отсутствия понимания нюансов действия механизма биорегулирования экосистемы.

Пути поступления загрязнителей лежат как через искусственные источники: коллекторы канализационных систем и судходство, так и через естественные процессы: речной сток, атмосферные осадки. Чернобыльская катастрофа в апреле 1986 года, отмечена поступлением искусственных радионуклидов всеми известными путями.

По возможностям организации системы контроля источники загрязнения водных пространств делятся на две характерные группы. Первая группа представляет собой канализированные сбросы, поступающие непосредственно в водную среду в виде пульпы и твёрдых отходов, для которых можно организовать необходимый контроль. Вторая группа — поступления в водные объекты с поверхностным стоком и атмосферными осадками, которые вообще не охватываются существующей системой наблюдения и могут быть учтены только приблизительно, из дистанционных космических оценок или получены расчётным путём.

Так называемые предельно допустимые нормы — ПДК разработаны только примерно для 1200 соединений, но методики количественного определения в природных водах для многих из них не имеется. Измеряется систематически не более 50 показателей, а чаще

9–12, предполагается в ближайшем будущем измерять сотни компонент загрязнения, что всё равно не сможет отражать истинного состояния водных экосистем. При современных масштабах загрязнения водоёмов принятый способ оценок не эффективен. Выход видится в оценках качества вод через биологическое тестирование.

Некоторые из существующих в природе организмов способны переносить изменения физических и химических свойств среды в широком диапазоне (в некоторых случаях до 8–9 порядков величин). С другой стороны любые изменения среды не остаются без ответа, реакции экосистемы. Многие организмы в ней погибают уже с введением даже небольших по величине физических или химических изменений среды, что в итоге ведёт к деформации экосистемы. Вмешательство в условия существования экосистемы должно контролироваться, чтобы оно в итоге не оказалось причиной если не полной деградации, то коренного изменения видового состава экотопа. В каждом случае требуется отслеживание реакции к изменению свойств среды как у наиболее чувствительного к нему биологического таксона, так и у всего биома.

Методы биоиндикации и биотестирования весьма чувствительны. В частности, сообщества микропланктона, составляющие базовую часть морской экосистемы, используя 75% общего потока энергии и отличающегося большой удельной поверхностью тел (1 м² поверхности тел на 1

3 м воды). При средней численности они пропускают через себя за год воду всего Мирового океана и аккумулируют многие загрязнители. Поэтому их применение в анализах загрязнения океана очень привлекательно. Однако, такие наблюдения выполняются на пробах, причем с высокой степенью подготовки. К сожалению, всё это слишком сложно и до последнего времени не применяется широко.

Прямым следствием антропогенного воздействия на экосистему является ухудшение биологических ресурсов моря: сокращения численности прикреплённых форм, постоянное "омолаживание" их популяции, уменьшение количества взрослых форм и показателей общей биомассы биоты. Перестройка сообществ продолжается спустя годы после прекращения действия вредного агента. Последнее может использоваться для биоиндикации загрязняющих веществ, но не слишком удобно для экстренного реагирования [5].

Классическим примером биоиндикации могут служить возможности многосторонних оценок нефтяного загрязнения. Замечена прямая зависимость между численностью углеводородоокисляющих микроорганизмов и наличием нефти в морской воде. Наибольшее количество культур выделялось в районах портов, проливов с интенсивным пароходством, мест работы промысловых флотилий и прилегающих к ним акваторий. При этом количество бактерий доходило до 10⁶–10⁷ на литр морской воды. Возросло многообразие микроорганизмов, что объясняется селективностью по-

требления различных компонент нефти определёнными видами бактерий.

Удобным объектом изучения загрязнения нефтью отдельных бухт и других ограниченных акваторий могут служить ткани прикрепленных гидробионтов, например мидии. Можно для тех же целей использовать органы и ткани рыб, фекалии зоопланктона.

В настоящее время для анализа углеводов в морской среде применяется оптический метод — инфракрасной и газожидкостной хроматографии.

К сожалению, многие методы биологического анализа качества воды до сих пор не стандартизованы, не определены их метрологические характеристики, что существенно снижает их ценность. Не разработаны автоматизированные методы контроля. Необходимо разработка методов дистанционного контроля, вполне реального на базе имеющихся научных данных. Биологические показатели качества воды и экологического состояния водных объектов более интегральны и информативны, но уровень их подготовки к практическому использованию в мониторинге значительно уступает гидрологическим и гидрохимическим из-за сложности их определения и отсутствия инструментальных, в первую очередь полевых, экспресс-методов контроля и технических средств осуществления [6]. Основные недостатки современных биологических оценок загрязнения свойственны и для радиологического контроля.

Из всех применяемых океанологических методов исследования как свойств вод, так и

степени их загрязнения оказываются наиболее предпочтительны приборные и визуальные гидрооптические наблюдения морской акватории, которые могут обеспечить как экспрессный так и особо тонкий контроль водной среды, минимумом вмешательства в структуру или изменения свойств среды. Их проведение возможно контактно или дистанционно. Контактные измерения можно проводить с самых разных судов и платформ, в любое время суток, с применением методов зондирования или буксировки измерителей. Для наиболее простой визуальной интегральной оценки относительной прозрачности и цвета верхнего слоя вод в дневное время используется стандартные белый диск и шкала цветности. Дистанционные измерения оптического состояния морской среды возможны с возвышенных мест ландшафта, высоких строений или летающих аппаратов. Наблюдения могут охватывать и источники сброса загрязнителей и любые другие характерные точки акватории. При этом нельзя забывать, что это всё же методы косвенного определения свойств среды, которые формируются интегральным воздействием и их результаты необходимо периодически привязывать к прямым определениям.

Многие изменения свойств примесей воды или изменения состояния гидробионтов могут отслеживаться оптически. Оптически контролируется загрязнение водной поверхности, в том числе нефтяными углеводородами, поверхностноактивными веществами, детергентами. Мутность и цвет воды свидетельствуют о пространст-

венном или временном изменении концентрации самых различных веществ или об изменениях в составе или состоянии планктонёров, позволяет контролировать их миграцию. По интенсивности и спектральному составу флуоресценции органического вещества выделяют области повышенного содержания планктона, составные части планктонного сообщества, отделяют живой и неживой органический материал и осуществляют контроль за фазами их развития. Рассеивающие свойства примесей воды несут информацию о преобладающих размерных составляющих взвешенного материала. Широкий спектр перечисленных возможных оптических определений давно выполняется в океанологической практике "in situ", практически мгновенным оцениванием всех перечисленных свойств в режимах зондирования или буксировки оптических измерителей. Любые другие методы измерения этих свойств, особенно многие биологические или химические анализы, технически гораздо более трудоёмки, часто выполняются только на пробах "in vitro", а значит могут быть получены в значительно ограниченных количественно масштабах и объёмах, с субъективными, трудно отфильтровываемыми погрешностями.

Для экспрессного отслеживания признаков неблагополучия существования биоты требуется выявление их биологического характера преобразования и, затем разработки экспрессных оптических методик-индикаторов их определения. В сочетании с прямым контролем основных биоло-

гических, бактериологических, физических и химических свойств, оптические их наблюдения способны наиболее экспрессно, точно и относительно недорого осуществлять контроль за изменениями состояния вод, как в портовых бухтах и в прилегающих акваториях моря, так и в открытом море. В контактных измерениях рационально применение для этих целей универсального неуправляемого носителя с оптическими датчиками типа МГИ2201, БИГИП, который можно эксплуатировать в широком спектре режимов: длительных непрерывных наблюдений, с неподвижных платформ, в продолжительных буксировках судами на значительных крейсерских скоростях и зондированием от поверхности до 500 метров глубины на любых, даже специально непригодных судах, вплоть до небольших рейдовых катеров.

Дистанционные оптические наблюдения с космических носителей используются для глобального регулярного отслеживания состояния прибрежных и удалённых от берегов морских акваторий.

Постоянные прямые определения многих загрязнителей по всей контролируемой акватории, как это планируется в [6] возможно было бы наиболее исчерпывающим и в некоторых случаях даже избыточным. Такой режим работы планируемой системы мониторинга снижает возможность пропуска момента появления и установления характера развития процессов сброса загрязнителей, но требует напряженной и постоянной работы всех звеньев системы, к тому же при нынешней нищенской действительности существования науки он просто

очень далёк от осуществления. В качестве альтернативы можно предложить экономически более реальный режим работы системы. В этом варианте наиболее быстрые, экспрессные оценки качества водной среды, ограниченного числа, действительно можно выполнять постоянно, визуально и с помощью оптических датчиков. Такие наблюдения могут быть рекомендованы для проведения с космических носителей и на ограниченном числе основных стационарных и мобильных станций наблюдения в непосредственной близости к наиболее опасным источникам загрязнения. С обнаружением признаков загрязнения в возможном районе к работе системы должны подключаться более точные, но более трудоёмкие и дорогие прямые определения химических и биологических параметров загрязнения.

Оценка состояния экосистемы подразумевает нахождения комплекса частных оценок по каждому блоку из составляющих экосистемы: социальному, биотическому и инверсентальному. По каждому блоку должны быть определены пороговые значения оценок, для того, чтобы при их достижении, по отдельности, в некоторой комбинации или вместе, системе можно было признать находящейся на определённой фазе развития опасного состояния и принять соответствующие меры для надёжного предупреждения её катастрофического разрушения.

Конечным результатом отслеживания состояния водных ресурсов должно быть получение интегральной экологической оценки, выбранной с определённой целью, согласо-

ванной с реальными возможностями управления, включающей пространственно-временные границы её распространения на объект мониторинга. Общая оценка складывается путём обобщения частных интегральных определений каждой дисциплинарной составляющей на реперных точках контроля со своими весовыми коэффициентами. Таким образом, получение конечной оценки подразумевает разработку общей методики измерений в каждом комплексном оценивании конкретного района или реперной точки объекта мониторинга с необходимым временным интервалом для эффективного слежения и своевременного реагирования на складывающуюся ситуацию.

Заключение

В работе кратко отражено отношение авторов к многосложной проблеме взаимосвязи человеческой деятельности и окружающей среды, организации экологического мониторинга водных ресурсов Украины, определения его основной цели, принципиальных основ осуществления, реальных возможностей применения существующих средств наблюдения и механизма оптимального использования результатов исследований в интересах достижения эффективной охраны окружающей среды.

Среди многих других методов, указывается на особые возможности применения оптических измерений уже разработанных к настоящему моменту и модернизации существующих приборов, в том числе и в МГИ НАНУ и готовых к использованию для экстренного

контроля широкого набора океанологических полей, биологических характеристик, динамической ситуации, пространственно-временного хода распределения примесей и источников загрязнения в отдельных точках акватории и на безбрежных просторах открытого моря.

Литература

1. М.Н.Власов. Антропогенное воздействие на ближний космос. — Природа, №11, — 1998. — С.88—98

2. В.Н.Безносков. Воздействие антропогенных нарушений гидрологической структуры на водные экосистемы и их возможное влияние на биохимический цикл углерода. "Метеорология и гидрология". — №12. — 1998 г. — С.

3. В.М.Котляков, А.М.Трофимов, Ю.П.Селиверстов, Р.В.Кашбразиев. Комплексные эколого-экономические системы. Проблемы изучения. — Известия академических наук. Серия географическая, №1, январь-февраль 1999 г. — С.7—12

4. Б.И.Кочуров. Экологическая оценка и картографирование для целей сбалансированного регионального развития. Известия академических наук. Серия географическая, №1. — 1999 г. — С.81—87.

5. Многолетние изменения зообентоса Чёрного моря. // В.Е.Заика, М.И.Киселёва, Т.В.Михайлов, Е.Б.Маккавеева, Н.Г.Сергеева, А.С.Товчун, Е.А.Колесникова, В.Д.Чухнин. Отв. ред. В.Е.Заика, АН Украины, Ин-т биологии южных морей им. А.О.Ковалевского. — Киев, Наукова думка, 1992. — 248с.

6. Концепция построения автоматизированной системы экологического контроля вод Украины: Сб. науч. тр./ НАН Украины. МГИ: Редакторы В.А.Гайский и В.Н.Еремеев, — Севастополь, 1997, — 223с.; Прилож. 12с. Рис. 41, Табл.27.

7. В.В.Горшков, В.Г.Горшков, В.И.Данилов-Данильян, К.С.Лосев, А.М.Макарьева. Биотическая регуляция окружающей среды // Экология, — №2, — С.105—113, — 1999 год.

8. Г.С.Розенберг. Анализ определений понятия "экология". // Экология, — №2, — С.89—98, — 1999 год.