

УДК 681.883:656:551

**Михайлов В.И.<sup>1</sup>, Монюшко М.М.<sup>2</sup>, Маляс А.О.<sup>3</sup>, Капочкина А.Б.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> НИЦ ВСУ «Державний океанаріум»

<sup>2</sup> Одеський державний екологічний університет

<sup>3</sup> Державна екологічна інспекція північно-західної частини Чорного моря

## **АНАЛИЗ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ И ПРОГНОСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОЦЕНИВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АКВАТОРИЙ**

*Ключевые слова:* моделирование; загрязнение; ассимиляционная емкость; экологический контроль; акватории

**Постановка проблемы.** Черное море является объектом международного природопользования. Эффективное управление его состоянием нуждается в гармонизации экологического законодательства. Необходимо согласовать экологические критерии оценки качества морской среды, задекларированные Концепцией охраны и возобновления окружающей природной среды Азовского и Черного морей (утв. пост. КМ Украины от 10.07.1998 г. № 1057), направленной на реализацию положений „Стратегического плана действий для защиты и возобновления Черного моря” (Стамбул, 1996). Оценка экологического состояния океанов и морей всегда была связана с более высокими затратами, в сравнении со стоимостью аналогичных мониторинговых работ на суше. В настоящее время в связи с динамикой развития спутниковых технологий за счет повышения пространственного разрешения сканирующих систем, увеличения частоты съемок контролируемой зоны акваторий, появились реальные возможности применения данных дистанционного зондирования Земли в природоохранных целях. В комплексе с подспутниковыми системами, в том числе с использованием беспилотных роботизированных комплексов, позволяющих существенно повысить разрешающую способность сканирования акваторий с воздуха и выполнять гидрохимические измерения и отбор проб, работая в надводном и подводном режимах, современные системы мониторинга способны выполнять исследования акваторий на новом технологическом диагностическом уровне. В этой ситуации на первый план выходят проблемы методического обеспечения морских экологических исследований.

**Целью работы** является оценка качества и достоверности, применяемых в Украине методов оценивания экологического состояния акваторий. Достижение поставленной цели возможно путем решения следующих задач: сравнение используемых в Украине методов экологического контроля окружающей среды с зарубежными аналогами; оценки перспектив адаптации в Азово-Черноморском регионе альтернативных методов оценки экологического состояния морской среды; изучение возможностей применения многокомпонентных методов анализа отбираемых проб, изучение перспектив применения моделирования морских экологических процессов для определения ассимиляционной ёмкости контролируемых районов акваторий, предельно допустимых сбросов и выбросов.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Известно, что в настоящее время синтезировано более 7 млн. химических веществ, из которых 70 тыс. имеют массовое распространение. Ежегодно добавляется до тысячи новых химических веществ. По данным ВОЗ, в настоящее время вода может содержать до 13 тысяч токсичных веществ.

Содержание загрязняющих веществ в Украине регламентируется — «Общественным перечнем предельно допустимых концентраций и ориентировочно безопасных уровней воздействия вредных веществ в воде водных объектов, используемых для рыбохозяйственных целей». Этот перечень включает предельно-допустимые концентрации (ПДК) 912 веществ и содержит ориентированно-безопасные уровни влияния 40 ядохимикатов.

Наиболее важно отметить, что применяемые на практике химико-аналитические комплексы, как правило, могут выявить ПДК не более 10% общего числа нормированных веществ. Необходимо учитывать, что стоимость анализов некоторых токсичных соединений может составлять тысячи долларов. По многим токсичным веществам, в результате длительности выполнения анализа, оперативность принятия управленческих решений может превышать разумные сроки. В связи с этими причинами, в отличие от Украины, где до сих пор действуют нормы ПДК 1990 г, в РФ пошли по пути сокращения числа нормируемых токсичных веществ. В соответствии с «Нормативами качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водных объектах рыбохозяйственного значения», нормируется 63 вещества, что существенно понижает качество оценки экологической ситуации. В Белоруссии нормируется 25 загрязняющих веществ. Сложившаяся ситуация по сокращению контроля большинства токсичных веществ, сложилась по вполне объективным причинам, однако не может считаться приемлемой. В этой ситуации возникает целесообразность поиска альтернативы контролю качества экологической обстановки, в настоящее время выполняемой на основе ПДК. Изначально ПДК устанавливались из расчёта, что существует некое предельное значение вредного фактора, ниже которого пребывание в данной зоне (или, например, использование продукта) совершенно безопасно. В связи с этим, значения ПДК устанавливались на основании экспериментальных данных о токсичности веществ. Теоретическое обоснование экспериментальной базы ПДК до сих пор не является совершенным. Поэтому оценки ПДК в разных странах отличаются между собой, периодически пересматриваются, а значит, не являются объективными. Например, значения ПДК токсичных веществ в атмосферном воздухе санитарно-курортной зоны принимается на 25 % меньше нормированного значения. Дополнительно следует учитывать, что вредными могут быть не только высокие, но и низкие концентрации веществ. Важно понимать, что даже если полный перечень вредных веществ определен, однозначно гарантировать высокое качество воды - невозможно. Это связано с неопределенностью группового воздействия токсичных веществ.

Несовершенство концепции ПДК наиболее проблемно проявилось на примере для гидросферы. Требования к качеству воды, которые, например, используются для рыбохозяйственной деятельности, входят в противоречие с потребностями к питьевой воде. Или, для воды, которая используется для технических нужд, требования ПДК входят в противоречие с потребностями для рекреации. По сравнению с водой для нужд рекреации, вода для рыбохозяйственного использования должна быть насыщенной биогенными

веществами, которые способствуют развитию фитопланктона, как первичного звена трофической цепи. В отличие от требований ПДК для нужд рекреации, которые определяют показатель солёности как лечебный фактор, питьевая вода с незначительными концентрациями солёности уже теряет свой ресурс. Также и техническая вода, в которой используется свойство растворять загрязнения, при наличии солёности вода становится худшим растворителем, то есть теряет свой ресурс. Исходя из изложенного, гидросфера Земли, обладая различными, часто конкурирующими между собой ресурсами, требует достаточно сложной и противоречивой системы норм ПДК. Несовершенство концепции ПДК подтверждается необходимостью введения дополнений в виде ПДК<sub>сс</sub>— среднесуточное, ПДК<sub>мр</sub>— максимально-разовое.

Следует отметить, что вредными для человека являются геофизические поля, которые по формальному признаку не могут быть определены как ПДК. Это касается необходимости отдельного нормирования излучения, акустических волн, и т.д.

Альтернативой концепции ПДК является «вероятностный» подход в определении экологических рисков (ЕРА). В концепции «оценки риска» учтена возможность совместного действия вредных факторов. Важно отметить, что весовые коэффициенты токсичных веществ могут меняться, в зависимости от симбатности и аддитивности. К сожалению, такой подход исключает использование фиксированных ПДК, заменяя их размытыми оценками риска, которые могут иметь только рекомендательный характер и не имеют юридической силы в случае возникновения спорных ситуаций.

Принципиально отличающийся концептуальный подход к оценке экологической ситуации содержится в методическом решении, основанном на биоиндикации. Биоиндикация основывается на изучении структуры гидробиоценозов и их отдельных компонентов. В наиболее общем виде, следует определить главный критерий биологических методов - «биоразнообразие», а также соотношение «биоразнообразия» и «биомассы». Известно, что в системе биоиндикативного мониторинга определяются такие показатели, как: таксономический состав, включая виды-индикаторы, численность и биомассу сообществ, доминирующие группы и массовые виды гидробионтов. В качестве оценочного критерия функционального качества воды используются выживаемость, скорость размножения, жизненная активность.

**Основная часть.** В экологических исследованиях, одной из фундаментальных проблем является выделение естественного экологического фона. Для природных компонентов среды, наиболее приемлемым является метод кларковых концентраций. Определение фоновых концентраций синтетических веществ является наиболее сложной проблемой.

Нами предлагается использовать многокомпонентные методы анализа для оценки природного фона естественных и синтетических веществ. По нашему мнению, одновременное определение в отобранной пробе всех компонентов - является одной из наиболее актуальных задач. Проблему многокомпонентного анализа пытаются решить несколькими методами. Наиболее общим подходом является исследование спектров испускания и поглощения атомов или молекул. Спектральный анализ включает элементный, изотопный и молекулярный методы анализов. Выделяют и лазерные методы многокомпонентного анализа сложных смесей, в том числе, абсорбционный и оптико-акустический методы.

Для многокомпонентного анализа газов и жидкостей используется хроматография – процесс, основанный на многократном повторении актов

сорбции и десорбции вещества при перемещении его в потоке подвижной фазы вдоль неподвижного сорбента. Разделение смесей хроматографическим способом основано на различной сорбируемости компонентов, на различии миграционной способности компонентов.

Для оценки фоновых концентраций органических веществ используют многокомпонентный масс-спектрометрический анализ, разновидностью которого является хромато-масс-спектрометрия. Газовая хроматография в сочетании с масс-спектрометрическим детектором успешно используется для многокомпонентного анализа органических веществ. Применение масс-спектрометрии обеспечивает уверенную идентификацию как относительно простых, так и сложных молекул.

Нами предлагается расширить возможности применения перечисленных многокомпонентных методов анализа для оценки фоновых концентраций. В настоящее время использование указанных методов лимитируется реальными возможностями калибровки по конкретным компонентам. Многие компоненты по разным причинам не могут быть надежно откалиброваны. Это считается одним из недостатком многокомпонентных методов анализа, когда часть пиков на спектрограмме, хроматограмме, масс-спектрограмме не может быть идентифицирована. Для оценки фоновых концентраций нами предлагается использовать как надежно идентифицируемые, так и не идентифицируемые пики спектрограмм и хроматограмм. Предлагается по всем пикам, частотам для спектрограмм, определять фоновый доверительный интервал. Это и будет многокомпонентная хроматограмма/спектрограмма фоновых концентраций. Базовым положением предложенного технического решения является то, что все химические элементы и молекулы имеют собственные индивидуальные спектры излучения и поглощения, то есть надежно идентифицируются спектральными методами, однако калиброванными является лишь незначительное количество компонентов. Нами предлагается использовать для анализа фоновых концентраций весь спектр частот, как идентифицируемых, так и не идентифицируемых. Превышение по каждой из анализируемых частот спектрограммы установленного уровня спектральной активности, рассматривается как превышение фона, что подразумевает необходимость последующего анализа проб, в соответствии с существующими ПДК токсичных веществ.

В свою очередь, совершенствование существующей системы диагноза экологической обстановки подразумевает дальнейшее развитие методов математического моделирования, являющегося базовым для определения ассимиляционной емкости бассейна и установления предельно допустимых сбросов и выбросов. Существующие и нормативно закрепленные методики расчета ассимиляционной емкости бассейна и предельно допустимые сбросы и выбросы базируются на детерминированных и стохастических методах математического моделирования. Известно, что детерминированный метод исследования постулирует существующее влияние факторов, связь которых с результативным показателем носит явно выраженный функциональный характер. Стохастический подход учитывает вероятностный характер изучаемых явлений, при этом их сущность не вскрывается, а отражаются наблюдаемые результаты путем обработки больших массивов данных.

Нормативно закрепленная методика расчета ассимиляционной емкости морской системы предполагает: «построение обобщенной модели, путем расчета балансов массы и времени "жизни" загрязняющих веществ в экосистеме, анализа

биотического баланса и оценки "критических" концентраций воздействия загрязняющих веществ на функционирование биотической составляющей; оценку важных биологических процессов (биоседimentации и биодеградации), формирующих поток загрязняющих веществ в водной толще и их удаление за пределы экосистемы; изучение биогенной седimentации в продуктивных районах океана для экспресс-оценки выноса и депонирования загрязняющих веществ». Обобщенная модель изучения ассимиляционной емкости морской экосистемы рассматривает три критические области, или подсистемы: поверхности раздела вода-воздух, вода-суша, вода-дно, а также водная толща [1,3].

Расчеты предельно допустимых сбросов и выбросов, для акваторий должны учитывать эффект разбавления загрязненной морской воды, что требует неопределенных фоновых концентраций. Эффект разбавления зависит от соотношения плотности морской и загрязненной воды. Также нужно учитывать весь комплекс морских течений, которые, как правило, не исследуются. Расчеты кратности основного разбавления основаны на решении уравнения турбулентной диффузии. Но следует помнить, что коэффициенты турбулентной диффузии не являются надежно определенными. Кроме разбавления следует учитывать и эффект самоочищения. Важно отметить, что современный уровень программных продуктов пока не в состоянии решать указанные задачи на уровне, соответствующем получению определенного сертификата.

Нами предлагается, для оценки ассимиляционной емкости и определения предельно допустимых выбросов и сбросов дополнительно использовать «информационное» моделирование. «Информационное» моделирование является разновидностью математического моделирования и включает создание информационно-поисковых систем, ГИС, систем сбора, хранения и обработки информации. Нами предлагается, для тестируемого водоема создать "линейку сценариев» динамики развития экологической обстановки, основанной на результатах анализа информации из существующей базы данных по объекту. В данном случае в связи с наиболее подходящим для текущей обстановки сценарием развития экологической обстановки определяются показатели ассимиляционной емкости. Указанные показатели получают динамическую характеристику, зависящую от изменения "сценария" развития экологической ситуации.

В качестве примера использования информационного моделирования рассмотрены результаты исследования тестового района с использованием программного продукта OCEAN DATA VIEW (ODV). ODV поддерживает пять различных картографических проекций и может быть использовано для получения высококачественных морских карт. ODV-формат позволяет хранение огромной коллекции данных по гидрофизическим и гидрохимическим показателям морской среды, с миллионами станций, и обеспечивает очень быстрый доступ к данным. Данные ARGO, GTSP, CCHDO, World Ocean Database, World Ocean Atlas, World Ocean Circulation Experiment (WOCE), SeaDataNet, Medar/Medatlas могут быть напрямую импортированы в ODV [4]. Существуют готовые версии WOCE данных, а также многие другие геофизические наборы данных, которые имеют привязку к сетке Атласа Мирового океана 2009, 2005 и 2001 гг [2]. В качестве примера представлены карты пространственного распределения различных гидрофизических и гидрохимических характеристик в прибрежной и шельфовой зоне моря, построенные с помощью программы OCEAN DATA VIEW (Version 4.4.4 – 2014, рис. 1, 2). Достоинства программы состоит в отображении данных ряда станций в виде диаграмм рассеивания, разрезов, поверхностей, различных видов

представления информации на станциях. Также, с помощью программного продукта ODV возможно вычисление геострофических скоростей течений (рис.2), построение разности полей различных характеристик.

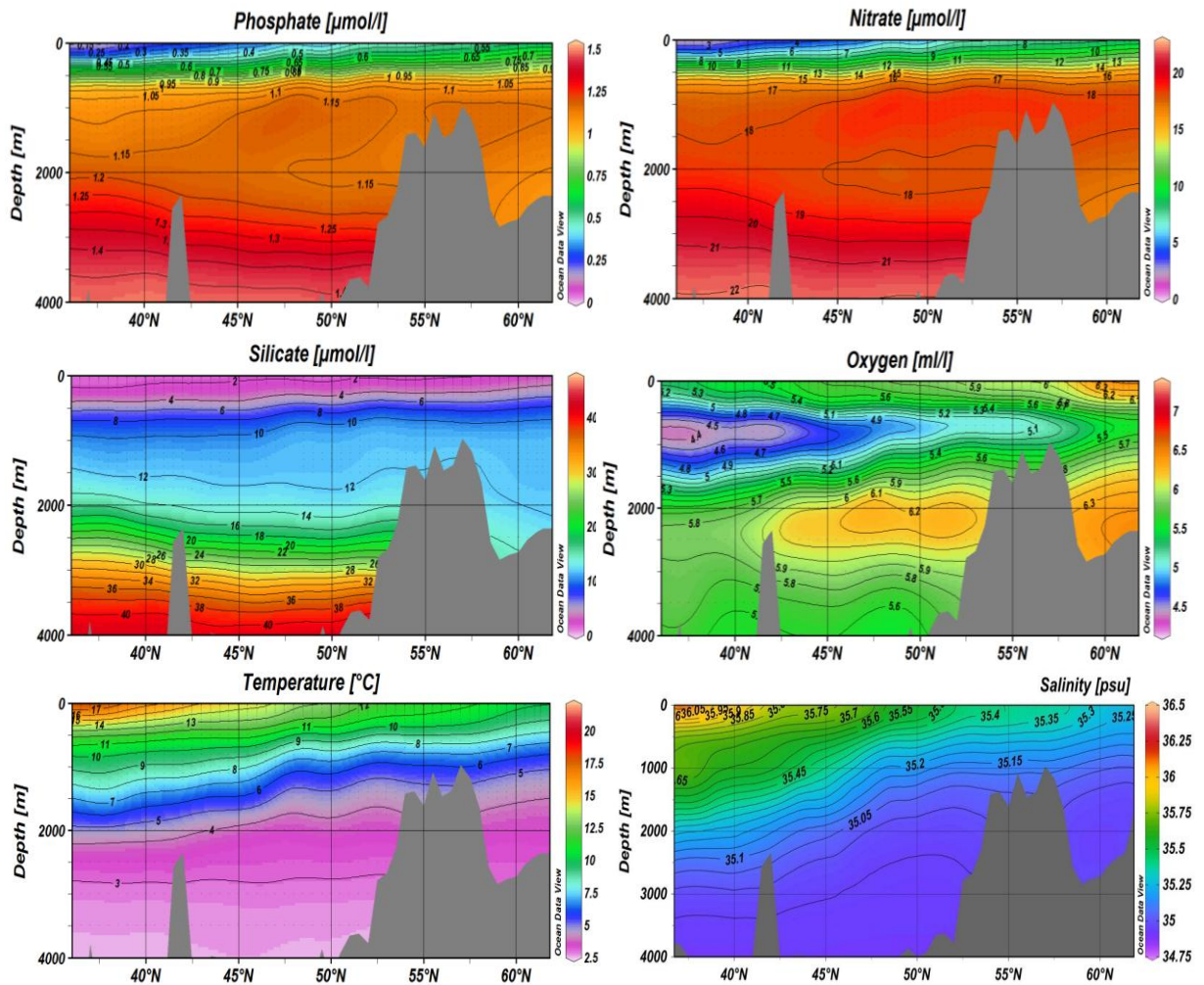


Рис. 1. Пространственное распределение гидрохимических и гидрофизических характеристик в акватории Северо-Атлантического течения

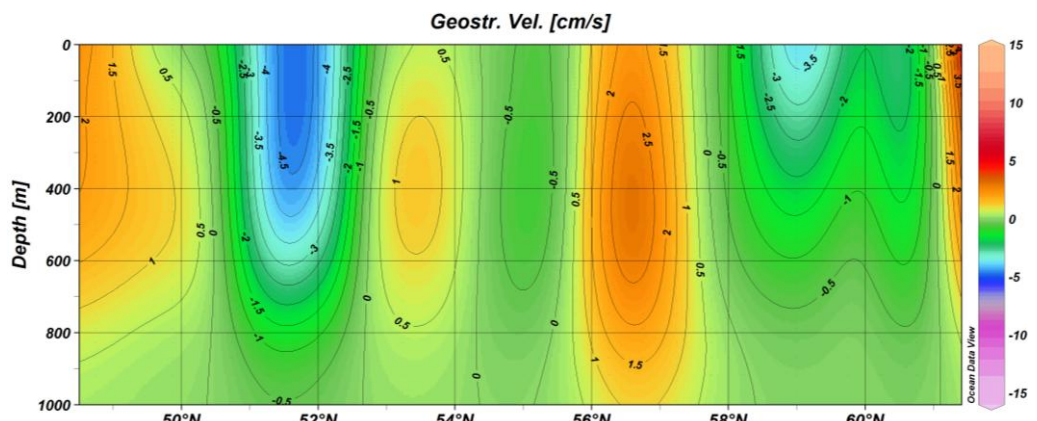


Рис. 2. Пространственное распределение геострофических скоростей течения

Результаты исследования тестового района показали, что в акватории Северо-Атлантического течения прослеживаются некоторые идентичные закономерности в распределении биогенных веществ, концентрации которых с глубиной увеличиваются и максимальные их величины зарегистрированы на глубине 4000 м. Обычно, в большинстве районов океана, максимальные концентрации фосфатов и нитратов наблюдаются на глубинах 500-1500 м, расположенных в слое кислородного минимума. Такое распределение биогенных веществ в акватории Северо-Атлантического течения связано как с процессами регенерации, так и с особенностями динамики водных масс, поскольку данному району свойственны не большие скорости течения (до  $15 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$ , см. рис.2).

Интересно также отметить локальное увеличение кислорода на глубине 1700-2800 м в районе топографических возвышенностей между  $42^{\circ}$ - $54^{\circ}$ с.ш., где концентрации его достигают 6,2 мл/л (см. рис.1). Если рассматривать распределение кислорода по глубине на данной широте, концентрации на поверхности наблюдаются меньшие (5,8-5,9 мл/л) чем на глубинах 1700-2800м. Далее с глубиной прослеживается уменьшение растворенного в воде кислорода, и уже на глубине 4000 м составляет 5,6 мл/л. Т.е максимальные концентрации кислорода на разрезе через Северо-Атлантическое течение наблюдаются как раз между зонами топографических поднятий. В районе  $60^{\circ}$ с.ш. на глубине 2000 м также отмечено максимальное содержание кислорода до 6,4 мл/л, которое наблюдается в зоне топографического поднятия. Такое локальное увеличение растворенного в воде кислорода на промежуточной глубине можно объяснить только поступлением его из литосферы в зонах разломов. Данный разрез через Северо-Атлантическое течение, на котором были проведены исследования по распределению биогенных веществ и растворенного в воде кислорода как раз находится в зоне Срединно-Атлантического хребта, который является наиболее активной тектонической зоной планеты, где происходит выделения газов с дегазацией мантии, магматическими породами и ювенильной водой при создании земной коры.

Таким образом, при оценке ассимиляционной емкости важно учитывать целый спектр процессов, протекающих в морской среде: физические, химические, физико-химические, биологические, биогеохимические, влияние гидрологических условий на распределение различных загрязняющих веществ в морской экосистеме. В настоящее время оценка ассимиляционной емкости не дает достоверной информации.

**Выводы и рекомендации.** Экологический фон морской среды представляет собой интегральную функцию ее состояния, отражающую активность протекания физических, химических и биологических процессов удаления загрязняющих веществ. Для количественной оценки перечисленных процессов требуется разработанный научный подход, который может быть использован на региональной основе в виде «линейки сценариев» для определения ассимиляционной емкости морских экосистем. Детальная схема экологического нормирования воздействия должна разрабатываться для каждого участка моря с учетом особенностей функционирования его экосистемы, инвентаризации источников воздействия, а также изучения характера загрязнения. Разработанные на основе анализа ассимиляционной емкости нормы сброса загрязняющих веществ, будут отражать научно обоснованные условия, необходимые для сохранения экологического благополучия конкретного морского бассейна.



## Список литературы

1. Айзатулин Т.А. Кинетика трансформации биогенных элементов и потребление кислорода в морской воде / Т.А. Айзатулин, А.В. Леонов // Океанология. – 1975. – Т. 15, Вып. 4. – С. 622-632. 2. Израэль Ю.А. Антропогенная экология океана / Ю.А. Израэль, А.В. Цыбань. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 528 с. 3. Монюшко М.М. Влияние гидрологических условий на распределение различных форм нефти в Северной части Атлантического океана: Монография / М.М. Монюшко // Одеса: ТЭС, 2012. – 178 с. 4. National oceanographic data center (NODC) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nodc.noaa.gov/OC5/SELECT/woaselect/woaselect.html>.

### Аналіз діагностичних і прогностичних методів оцінювання екологічного стану акваторій

**Михайлов В.І., Монюшко М.М., Маляс А.О., Капочкіна А.Б.**

*Проведена оцінка якості та достовірності методів, які застосовуються в Україні для оцінювання екологічного стану акваторій. Аналізуються використовувані в Україні методи екологічного контролю навколишнього середовища в порівнянні з зарубіжними аналогами. Розглянуто використання інформаційного моделювання сценаріїв динаміки розвитку екологічної обстановки, заснованої на результатах аналізу інформації з існуючих баз даних по об'єктах.*

**Ключові слова:** моделювання; забруднення; асиміляційна ємність; екологічний контроль; акваторії.

### Анализ диагностических и прогностических методов оценивания экологического состояния акваторий

**Михайлов В.И., Монюшко М.М., Маляс А.О., Капочкина А.Б.**

*Проведена оценка качества и достоверности методов, которые применяются в Украине для оценивания экологического состояния акваторий. Анализируются используемые в Украине методы экологического контроля окружающей среды в сравнении с зарубежными аналогами. Рассмотрено использование информационного моделирования сценариев динамики развития экологической обстановки, основанной на результатах анализа информации из существующих баз данных по объектам.*

**Ключевые слова:** моделирование; загрязнение; ассимиляционная емкость; экологический контроль; акватории.

### The analysis of diagnostic and forecasting methods assessments of environmental condition of water areas

**Mikhailov V., Moniushko M., Malyas A., Kapochkina A.**

*Assess the quality and reliability of the methods used in Ukraine for assessing the environmental condition of marine waters. Analyses used in Ukraine methods of ecological control of environment in comparison with foreign analogues. The paper considers the use of information modeling for scenarios of dynamics of development of environmental condition based on the analysis of information from an existing database object.*

**Keywords:** modeling; pollution; assimilative reservoir; environmental control; water areas.

**Надійшла до редколегії 14.11.2015**