

ПРОВ 88

ПРОВ 2010

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ
ИМ. А. О. КОВАЛЕВСКОГО

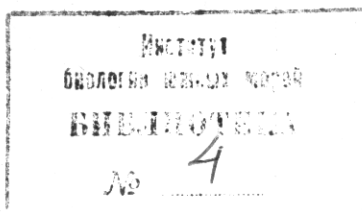
БИОЛОГИЯ МОРЯ

РЕСПУБЛИКАНСКИЙ МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ СБОРНИК

Основан в 1965 г.

Выпуск 41

ВОПРОСЫ САНИТАРНОЙ ГИДРОБИОЛОГИИ
И ОКЕАНОГРАФИИ



КИЕВ «НАУКОВА ДУМКА» 1977

Ж. М. Ациховская

ИНТЕНСИВНОСТЬ ОБМЕНА ВОД КАК ФАКТОР ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОЙ НАГРУЗКИ СТОЧНЫМИ ВОДАМИ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Сохранение и защита природных ресурсов мелководной северо-западной части Черного моря — очень сложная проблема, одним из важнейших аспектов которой является определение допустимой нагрузки сточными водами этого района. Об исключительной важности этой проблемы свидетельствует принятое в феврале 1976 г. Центральным Комитетом КПСС и Советом Министров СССР постановление «О мерах по предотвращению загрязнения бассейнов Черного и Азовского морей».

Допустимость нагрузки той или иной акватории суммарным объемом сточных вод различных типов должна устанавливаться на основе исследования закономерностей циркуляции вод района, процессов смешения и разбавления, интенсивности биологических процессов самоочищения и др. [5].

Для решения этой сложной задачи требуются усилия специалистов разных областей. В настоящей статье определено время обновления вод северо-западной части Черного моря и рассмотрен вопрос об оценке допустимой нагрузки сточными водами данной акватории.

Время обновления обуславливается главным образом динамикой вод рассматриваемого района, его водообменом с открытыми частями моря. Для определения величины водообмена вычислены расходы воды на южной границе района по линии м. Георге — м. Тарханкут. Расходы найдены по скоростям течений (рассчитанным и измеренным) и площади поперечного сечения потока; использован способ вычисления расходов по изотаксам.

Распределение скоростей течений в плоскости разреза м. Георге — м. Тарханкут для разных ветровых условий определяли сначала расчетным методом на основе теоретической модели А. И. Фельзенбаума [9], используя прежние результаты [8]. Средние расходы воды на разрезе вычислены для равномерного по всей акватории ветра северного и южного направлений — 8 и 12 м/с, а также западного и восточного — 8 м/с. Полученные результаты свидетельствуют о том, что в водообмене северо-западного мелководья с открытым морем участвуют значительные объемы воды. Расход на линии м. Георге — м. Тарханкут при скорости ветра 8 м/с составляет $(1,6-2,2) \cdot 10^5$ м³/с. В течение часа в среднем обновляется $6768 \cdot 10^5$ м³ воды района. Весь объем воды северо-западного мелководья мог бы обновиться при непрерывных умеренных ветрах примерно за 1440 ч (60 суток). При сильных ветрах (12 м/с) время обновления вод должно сократиться в полтора-два раза. Таковы результаты теоретических расчетов водообмена.

Исследования Севастопольского отделения ГОИНа в ноябре 1972 г. на НИСП «Пассат» дали возможность определить величину водообмена по данным многосуточных наблюдений над течениями (22—28.XI) на автономных буйковых станциях (АБС) на разрезе м. Георге — м. Тарханкут. Значительное разнообразие синоптической обстановки в период работы АБС позволило вычислить водообмен для разных ветровых ситуаций, каждая из которых удерживалась в основном в течение суток.

Рассмотрены следующие случаи: слабые неустойчивые ветры, умеренные В—СВ ветры 5—9 м/с, С—СЗ ветры 5—9 м/с, сильные С—СЗ ветры 10—15 м/с и западные ветры 5—9 м/с. Для каждого случая определены расходы воды на южной границе, а также общий объем воды, обновив-

шейся в районе в течение каждой изучаемой ситуации (см. таблицу). Как видно, объем воды, втекающей в северо-западную часть из открытого моря при сильных С—СЗ ветрах, почти в два раза больше, чем при умеренных ветрах того же направления, и более чем в 5,5 раза превосходит объем воды, поступившей при слабых неустойчивых ветрах. Для оценки интенсивности обновления вод использован коэффициент водообмена, представляющий собой отношение объема поступившей воды из открытого моря за расчетный период, к общему объему воды северо-западной части. Естественно, чем больше коэффициент водообмена, тем быстрее происходит обновление вод в районе.

Водообмен северо-западной части Черного моря с открытыми водами для различных ветровых условий (по наблюдениям)

Направление ветра и его скорость, м/с	Количество воды, посту- пившей из от- крытого моря в северо-запад- ную часть, $\times 10^3$, м ³ /с	Количество об- новившейся во- ды за ситуа- цию, км ³ /сутки	Коэффициент водообмена
Слабые неустойчивые ветры	73	6,3	0,006
В—СВ, 5—9	132	11,4	0,012
3, 5—9	126	10,9	0,011
С—СЗ, 5—9	214	18,5	0,019
С—СЗ, 10—15	413	35,7	0,037

Из всех рассмотренных ситуаций интенсивность водообмена северо-западной части с открытым морем при сильных С—СЗ ветрах максимальна, в течение суток при данных ветрах обновляется 35,7 км³ воды, что составляет 3,7% общего объема воды района. При слабых неустойчивых ветрах обновляется всего лишь 6,3 км³ воды в сутки — 0,6% общего объема, т. е. при такой ветровой ситуации весь объем воды этой акватории мог бы обновиться только за 155 дней. Таким образом, маловетренная погода (имеющая повторяемость 30% [8]) создает крайне неблагоприятные условия для обновления вод.

За период наблюдений (пять суток), характеризующийся интенсивными атмосферными процессами, за счет водообмена с открытым морем обновилось около 83 км³ воды, или 8,5% всего объема воды в районе. Следует заметить, что коэффициенты водообмена и время обновления вод являются приближенными величинами, так как за рассматриваемый отрезок времени не вся масса воды заменяется новой: часть воды в обособленных заливах и лиманах слабо участвует в общем водообмене.

Изученные ситуации характеризуют осенне-зимний период, когда водообмен наиболее интенсивен. Выполненные ранее расчеты [8] показали, что 60% всей притекающей за год из открытого моря воды приходится именно на осень и зиму. В весенне-летние месяцы условия менее благоприятны для обновления вод. При маловетренной погоде в эти сезоны за сутки обновится всего лишь около 4 км³ воды, или 0,4% всего объема.

Таким образом, возможности северо-западного района в обновлении вод весьма ограничены. Водообмен же его прибрежной зоны, на которую приходится в настоящее время основной объем сбрасываемых отходов, еще более замедлен и ослаблен за счет влияния изрезанности береговой линии и эффектов «прилипания» потока к берегу. Следовательно, северо-западный район может служить приемником весьма ограниченного объема сточных вод.

При современной тенденции к увеличению сброса не исключена возможность, что этот район со временем не сможет справиться с чрез-

мерной нагрузкой, если она не будет ограничена. Поэтому в настоящее время очень остро встает вопрос об определении допустимой нагрузки северо-западного района суммарным объемом сточных вод, ее предельных и оптимальных значений.

Под предельно допустимой нагрузкой ($H_{п.д.}$) понимается нагрузка морского водоема или его акватории объемом сточных вод (определенных типов), не вызывающим нарушения нормального функционирования водоема как сложной системы, т. е. с учетом использования и воспроизводства естественных ресурсов [5]. При оптимальной нагрузке (H_o) все процессы самоочищения и воспроизводства природных ресурсов протекают в наиболее благоприятном режиме. Естественно, что $H_o < H_{п.д.}$. Разность предельно-допустимой и оптимальной нагрузок составляет резерв данного водоема или акватории.

Существуют различные подходы к исследованию возможной нагрузки водоема сточными водами. Укажем два из них. К первому следует отнести анализ баланса загрязняющих веществ [7]. Предложенная А. И. Симоновым схема учитывает процессы физико-химического и микробиологического разложения, утилизации гидробионтами, адвективного переноса и турбулентной диффузии, а также вторичного загрязнения. Другой путь исследований предусматривает расчет изменения качества воды водоема вследствие сброса сточных вод с учетом всего комплекса протекающих в водоеме процессов [1, 2]. Математическая модель трансформации качества воды водоема предложена А. М. Айтсамом [2]. В основе модели лежит предположение, что качество морских вод представляется собой случайное n -мерное поле в четырехмерном пространстве координат и времени. Качественный состав морской воды представляется в виде n -размерной вектор-функции, составляющими которой являются качественные показатели химического, биологического, бактериологического и других составов воды. Предложенная модель разделяется на две части: рассматривается трансформация средних значений и пульсационных компонентов. Однако из-за чрезвычайной сложности изучаемых процессов даже самые совершенные модели не в состоянии отразить все реальные процессы, имеющие место в природе.

Общая схема нагрузки северо-западного района (качественная модель) может быть представлена следующим образом. Пусть Q — общее количество сточных вод, поступивших за определенный период времени; оно складывается из стоков, непосредственно сбрасываемых в море через канализационные выпуски (Q_6), сброса отходов с речными водами (Q_p) и сброса отходов морскими судами (Q_c).

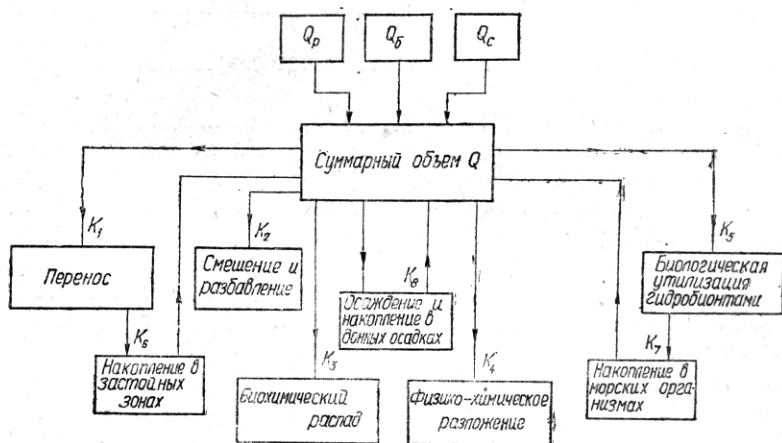
Сточные воды в результате переноса и водообмена частично уносятся из района поступления, а частично попадают в застойные зоны и надолго остаются там. Одновременно происходит смешение и разбавление сточных вод за счет различных процессов перемешивания. Эти факторы играют важную роль на всех этапах переноса полей сточных вод в море. В случае преобладания неблагоприятных ситуаций, рассмотренных выше, самоочищающая способность снижается и становится недостаточной для «переработки» поступающих стоков (даже при современном объеме).

Поскольку прибрежные районы северо-западной части значительно различаются физико-химическими условиями, то вклад этих факторов в процессы самоочищения отдельных акваторий будет неодинаков. В обособленных заливах и лиманах поступление кислорода может отставать от его расхода и, следовательно, распад неконсервативного органического вещества замедляется. В открытых районах с активным водообменом содержание кислорода сравнительно высокое, и процесс разложения нестойкого органического вещества здесь протекает более интенсивно. Совместное действие физико-океанологических и химико-

биологических факторов может лишь при определенных нагрузках устранить накопление веществ загрязнения на данной акватории.

Принципиальная схема нагрузки северо-западного района (см. рисунок) не является полной в отношении факторов, участвующих в эволюции сбрасываемого стока, тем не менее в ней учтены наиболее главные из них. Дополнение схемы другими существенными параметрами позволит получить более современную модель сброса.

Согласно приведенной схеме нагрузка (H) северо-западного района в заданный момент времени определяется следующим образом: $H =$



Качественная модель нагрузки сточными водами северо-западной части Черного моря.

$= Q - (k_1 + k_2 + k_3 + k_4 + k_5)Q + (k_6 + k_7 + k_8)Q$, где k_i — коэффициенты, определяющие участие различных факторов (см. рисунок). Чтобы сброс стоков не привел к заметному изменению естественного химического состава воды района и не вызвал нарушения его нормального функционирования, должно выполняться следующее условие: $H_0 \leq H < H_{п.д.}$. Значения $H_{п.д.}$ и H_0 должны определяться с учетом всех элементов схемы. В настоящее время нет еще надежных оценок коэффициентов k_i , определяющих роль различных факторов в трансформации загрязненных вод. Можно рассмотреть возможную нагрузку сточными водами данного района исходя из следующих соображений. Известно, что реки являются мощными источниками загрязнения морских вод. Так, по данным [3], в Азовское море в настоящее время с речным стоком сбрасывается около $3,6 \text{ км}^3$ неочищенных сточных вод в год при естественном речном стоке около 40 км^3 в год [4], другими словами, объем сбрасываемых с реками сточных вод составляет около 10% речного стока. При таких соотношениях в случае снижения речного стока на 25—30% рекомендуется уменьшить его нагрузку сточными водами в 2,5—3 раза, т. е. до 0,3—0,5% [4].

Если сделать подобную оценку для мелководной северо-западной части Черного моря, сравнив ее в первом приближении с Азовским бассейном, результаты окажутся следующими. Объем речного стока в северо-западную часть равен в среднем 263 км^3 в год. Предположив, что Дунай, Днестр и Днепр вносят в море такую же долю загрязненных вод, как и реки бассейна Азовского моря, получим, что в северо-западную часть выносятся порядка 20—25 км^3 сточных вод в год, что составляет 2—2,5% общего объема воды в этом районе. По перспективным водохозяйственным планам предполагается сократить речной сток приблизительно вдвое. Такое уменьшение притока пресных вод при все увели-

чивающемся объеме сброса сточных вод приведет к тому, что баланс веществ загрязнения будет расти (даже с уменьшением речного стока) и, следовательно, процессы накопления будут превалировать над самоочищением, т. е. водоем может превратиться в отстойник. Поскольку обновление вод ограничено, а сбрасываемые стоки попадают в основном в прибрежную зону с ослабленным водообменом, можно считать, что существующие объемы сброса сточных вод для данной акватории близки к предельным. Это могут подтвердить наблюдаемые здесь в последние годы (даже в осенние месяцы), как отмечает Ю. П. Зайцев [7], случаи с заморами рыб на обширных акваториях. Одной из возможных причин такого явления может быть сочетание загрязнения вод со слабым их обновлением.

Все указанные соображения заставляют поставить следующие условия для северо-западной части Черного моря: 1) сброс сточных вод в реки и в море должен осуществляться после полной очистки, так как водообмен этого района с открытым морем и самоочищающая способность его ограничены; 2) объем планируемого сброса очищенных сточных вод должен быть обоснован с учетом всех элементов баланса загрязняющих веществ в исследуемом районе (см. рисунок), поскольку даже очищенные стоки могут привести к экологическим изменениям (эвтрофикации), а недостаточная эффективность очистки способна значительно повысить уровень загрязнения района; 3) выпуски сточных вод должны выноситься на большие расстояния от берега для оптимального распределения стоков в районе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айтсам А. М., Вельнер Х. А., Паль Л. Л. Об определении расчетных нагрузок загрязнения при расчете самоочищения водоемов.— Научные доклады по вопросам самоочищения водоемов и смешения сточных вод. I Всесоюз. симп., Таллин, 1965, с. 68—81.
2. Айтсам А. М. Математическая модель регулирования качества воды водоемов.— Доклады и сообщения по вопросам самоочищения водоемов и смешения сточных вод. II Всесоюз. симп., Таллин, 1967, с. 29—35.
3. Бронфман А. М., Закиев Х. Я., Макарова Г. Д. К вопросу о потенциальной возможности Азовского моря к самоочищению от органических загрязнений.— В кн.: Океанограф. аспекты самоочищения моря от загрязнения. К., «Наук. думка», 1970, с. 167—178.
4. Вендров С. Л. К проблеме сверхдальних глубоководных выпусков в море очищенных сточных вод.— В кн.: Океанограф. аспекты самоочищения моря от загрязнения. К., «Наук. думка», 1970, с. 25—31.
5. Зац В. И. и др. Опыт теоретического и экспериментального исследования проблемы глубоководного сброса сточных вод на примере района Ялты. К., «Наук. думка», 1973, 273 с.
6. Иорданский А. «Миклухо-Маклай», 57 рейс.— Химия и жизнь, 1974, № 8, с. 73—78.
7. Симонов А. И. Предисловие к книге А. Нельсона-Смита «Загрязнение моря нефтью». Л., Гидрометеониздат, 1973, с. 5—17.
8. Толмазин Д. М., Шнайдман В. А., Ациховская Ж. М. Проблемы динамики вод северо-западной части Черного моря. К., «Наук. думка», 1969, 130 с.
9. Фельзенбаум А. И. Теоретические основы и методы расчета установившихся морских течений. М., Изд-во АН СССР, 1960, 126 с.

Институт биологии южных морей
им. А. О. Ковалевского АН УССР

Поступила в редколлегию
17.I 1975 г.