

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО ГИД. МЕТЕОРОЛОГИИ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи
УДК 551.464:628.29(262.5)

КОВРИГИНА
Наля Петровна

ВЛИЯНИЕ ГЛУБОКОВОДНОГО ВЫПУСКА ХОЗЯЙСТВЕННО-
БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД НА ГИД. ХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ
ЯЛТИНСКОГО ЗАЛИВА И ПРИЛЕГАЮЩИХ АКВАТОРИЙ.

Специальность:

II.00.II - охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Москва - 1991

Работа выполнена в Институте биологии южных морей
им. А.О. Ковалевского Академии наук Украинской ССР

Научные руководители - доктор географических наук,
профессор В.И. Зац
кандидат географических наук
Е.Ф. Шульгина

Официальные оппоненты - доктор географических наук
В.В. Сапожников
кандидат географических наук
О.А. Симонова

Ведущая организация - Морской гидрофизический
институт АН УССР

1991 г.
в "1" _____ного
совет _____м
инсти _____
Госу _____
пер. 6).

Учё
спец
канц

Гева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Резко усилившееся в последнее время антропогенное воздействие на экосистемы Чёрного и других морей касается в первую очередь прибрежной и шельфовой зон как наиболее осваиваемых акваторий. Проблема охраны этих акваторий от загрязнения приобретает особую актуальность в связи с активной эксплуатацией их минеральных и биологических ресурсов, а также использованием морского побережья в рекреационных и лечебно-оздоровительных целях.

Высокие объёмы сбрасываемых в прибрежную часть моря хозяйственно-бытовых и других сточных вод являются причиной изменения гидрохимического фона морской воды как в локальных районах, так и на больших акваториях. В этих районах процессы загрязнения преобладают над процессами самоочищения сбрасываемых в море загрязняющих веществ, что неизбежно приводит к нарушению равновесия в экологических системах.

В этой связи возникает необходимость исследования гидрохимической структуры вод прибрежных акваторий в районах поступления сточных вод, в частности хозяйственно-бытовых, как доминирующего вида стоков большинства курортных городов черноморского побережья.

Предлагаемое исследование посвящено проблеме изучения особенностей трансформации хозяйственно-бытовых сточных вод в море при их глубоководном выпуске. В качестве объекта исследований автором выбран Ялтинский залив, где с 1979 года действует экспериментальный глубоководный выпуск сточных вод, являющийся в настоящее время наиболее рациональным средством защиты моря от загрязнения.



Цель настоящей работы - изучение влияния глубоководного выпуска хозяйственных сточных вод на гидрохимические условия Ялтинского залива и прилегающих акваторий. При этом решаются следующие конкретные задачи:

- исследование процесса трансформации загрязнения при различных условиях распространения полей сточных вод в заливе; изучение кинетических характеристик процесса;

- изучение влияния выпусков разной глубины на гидрохимические условия вод залива; оценка влияния выпусков на состояние загрязнённости исследуемой акватории;

- исследование особенностей трансформации загрязляющих веществ в условиях лабораторного эксперимента; изучение кинетических характеристик процесса регенерации форм азота в загрязнённой морской воде;

- расчёт составляющих баланса биогенных веществ; оценка предельно допустимой нагрузки сточными водами на акваторию залива.

Научная новизна. На основе анализа многочисленных гидрохимических наблюдений получены представления о распределении гидрохимических показателей вод Ялтинского залива при работе выпусков сточных вод, расположенных на разной глубине и разных удалениях от берега. Сделана количественная оценка эффекта глубоководного выпуска по интенсивности изменчивости среднегодовых концентраций гидрохимических показателей в заливе при заглублениях выпуска с 11,5 м до 86 м.

Впервые получены материалы, характеризующие скорость трансформации загрязнения по гидрохимическим показателям в затопленных и выходящих на поверхность полях сточных вод и определены диапазоны констант скорости в зависимости от заглубления, удаления от выпуска, концентрации гидрохимических

соединений в полях сточных вод. Установлено, что в условиях полной эксплуатации глубоководного выпуска процесс трансформации загрязнения на глубине идёт медленнее, чем на поверхности.

Также впервые произведён сравнительный анализ кратности изменения концентраций гидрохимических показателей при горизонтальном продвижении полей сточных вод на глубине и на поверхности. Оценка доли участия биохимических процессов в общей трансформации загрязнения, происходящей на глубинах 72-80, 56-70 м и в поверхностном слое 0-9 м.

В лабораторных условиях получены константы скорости регенерации минеральных форм азота в загрязнённой морской воде по их максимальным концентрациям на кинетических кривых. Величины констант использованы для расчёта баланса биогенных веществ в Ялтинском заливе.

Оценена доля поступления биогенных веществ со сточными водами в общем их поступлении в залив с естественными и антропогенными источниками. Применение уравнения баланса позволило на основе рассчитанных элементов баланса определить ПДН на залив сточными водами.

Практическая значимость работы. Подходы, разработанные в процессе исследования гидрохимических процессов, происходящих на морской акватории под влиянием хозяйственного стока, могут широко использоваться при решении аналогичных задач в различных регионах страны, в частности, при выборе оптимальных мест для расположения прибрежных аквахозяйств. Опыт исследования в Ялте уже применён при проектировании и строительстве глубоководных выпусков в шельфовой зоне Чёрного моря в районах Симеиза, Севастополя, Сухуми. Кроме того, содержа-

щиеся в работе данные могут быть использованы при прогнозировании экологической ситуации в районах сброса и прилегающей акватории, и прогнозировании допустимой нагрузки отдельных акваторий сточными водами.

Защищаемые положения. Автор защищает:

- результаты экспериментальных исследований по трансформации хозяйственного загрязнения в затопленных и выходящих на поверхность полях сточных вод;
- экспериментальные результаты по оценке вклада биохимических процессов в общей трансформации загрязнения;
- результаты, характеризующие эффект глубоководного выпуска хозяйственных сточных вод по гидрохимическим показателям.

Публикация материалов и личный вклад автора. По теме диссертации опубликовано 15 научных работ, в том числе три раздела монографии "Изменение физико-химических свойств морских вод под влиянием загрязнения", 2 статьи находятся в печати. В работах, выполненных в соавторстве, вклад автора равноценен. Автор лично участвовал в 15 экспедициях по изучению гидрохимических условий Ялтинском заливе и в проведении 13 лабораторных экспериментов по исследованию процесса деструкции нестойкого органического вещества (НОВ) загрязнённых морских вод в зависимости от различных океанографических факторов.

Апробация работы. Результаты работы неоднократно докладывались на семинарах отдела прикладной океанологии ИнБЮМ АН УССР, на научно-практической конференции, посвящённой 200-летию города-героя Севастополя (1982); на конференции "Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоёмах" в Петрозаводске (1983); на конференции "Экология и рациональное использование природных ресурсов Южного региона Украины" в Севастополе

(1984); на конференции "Совершенствование управления развитием рекреационных систем" в Севастополе (1985); на Всесоюзном научном семинаре "Методология прогнозирования загрязнения океанов и морей" в Севастополе (1986); на конференции по проблемам комплексной застройки Южного берега Крыма в Симферополе (1988); на III съезде советских океанологов в Ленинграде (1987); на Всесоюзном научном симпозиуме "Океанографические аспекты охраны морей и океанов от химического загрязнения" в Одессе (1988); на Всесоюзном симпозиуме "Изменчивость черноморских экосистем" в Москве (1988); на семинаре отдела проблем нормирования антропогенных нагрузок на морские экосистемы" ОдО ИнБЮМ АН УССР в Одессе (1989); на III Всесоюзной гидрохимической школе в Москве (1990); на семинарах лаборатории мониторинга загрязнения морской среды ГОИН в Москве (1990).

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов и списка литературы. Материал изложен на страниц машинописного текста, 30 рисунках и 37 таблицах. Список литературы включает 95 наименований, в том числе 38 иностранных. Нумерация формул производится по главам, нумерация рисунков и таблиц сквозная.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цели и задачи исследования, показана научная новизна, практическая значимость полученных результатов, изложены основные положения, которые выносятся на защиту, дана краткая информация о структуре диссертации и о публикациях по основным результатам работы.

В первой главе, которая носит обзорный характер, рассматривается современное состояние проблемы сброса сточных вод в море. Сброс вблизи берега может привести к необратимым изменениям в химической структуре морской воды. Приводятся данные об эвтрофикации прибрежных вод в различных странах, в том числе СССР, СРР, НРБ, Турции, вследствие возрастающего антропогенного воздействия.

В качестве одного из способов улучшения трофического состояния морских прибрежных вод обсуждается предварительная очистка сточных вод; приводятся примеры современных научных и инженерных решений этого вопроса в нашей стране и за рубежом. Отмечается, что одна лишь очистка недостаточна для охраны прибрежной полосы моря от загрязнения. В будущем вполне вероятно перестройка городского водоснабжения по принципу замкнутого оборота. Наиболее эффективным природоохранным мероприятием в настоящее время является сочетание полной биологической очистки с глубоководным сбросом сточных вод. Несмотря на широкое распространение глубоководных выпусков в мировой практике, многие вопросы остаются неясными. Дискуссию вызывают вопросы длины и глубины выпусков, а также степень очистки сточных вод перед сбросом в море.

В связи со строительством первого в нашей стране глубоководного выпуска сточных вод в Ялтинском заливе рассмотрены океанографические условия глубоководного сброса и представлено обоснование основных параметров сброса, таких как удаление от берега в 6,2 км и заглубление на 86 м. В этой же главе приведена гидрохимическая характеристика вод залива до строительства глубоководного выпуска (при работе мелководного выпуска на глубине 11,5 м в 200 м от берега), а также освещены некоторые результаты гидрохимических работ, полученные во время строительства отдельных этапов глубоководного выпуска, продолжавшегося около

7 лет /Защ и соавт., 1973; Шульгина, Макарова, Куфтаркова, 1978/.

Анализ состояния изученности проблемы сброса сточных вод в море послужил основой для постановки задач исследований.

Во второй главе излагается методика исследований и приводится описание массива лабораторных и натурных данных, полученных при изучении процесса распада НОВ.

В лабораторных условиях рассматривалось влияние температуры, степени загрязнения, аэрации, освещенности и др. факторов на скорость распада НОВ методом моделирования процесса в закрытых стеклянных ёмкостях 550 мл и открытых 100-литровых аквариумах. Пробы фильтровали через крупный планктонный фильтр, экспозицию проб в стеклянных ёмкостях проводили в термостате, пределы измерения температуры в котором не превышали 0,5-1,0°C. В пробах определялось содержание растворенного кислорода, биохимическое потребление кислорода на пятые сутки, хлорность, величина рН, концентрация минеральных и органических форм азота и фосфора /Руководство по морским гидрохимическим исследованиям, 1959; Руководство по методам химического анализа морских вод, 1977/, а также перманганатная окисляемость в щелочной среде /Методические указания № 30, 1966/. Исследования продолжались с 1968 по 1979 г.г., всего поставлено 28 экспериментов равной продолжительности, в которых выполнено более 5000 анализов.

Изучение гидрохимических условий Ялтинского залива проводилось на акватории от мыса Ай-Тодор до мыса Никитин в узкой прибрежной зоне, зоне водопользования и в открытой части залива (6 миль от берега). Пробы отбирались на стандартных горизонтах и на глубине затопления поля сточных вод, которая определялась *in situ* с помощью буксируемого флуориметра.

изготовленного Немировским М.С. по схеме Карабашева Г.С. /Зац и др., 1973/. Исследования в затопленных полях сточных вод в отечественной практике нами проведены впервые. Одновременно с определением концентрации флуоресцирующего красителя уранина, используемого в качестве индикатора сточных вод, производился отбор проб батометрами на химико-биологические анализы. В пробах определялись те же гидрохимические анализы, что и в лабораторных условиях. Гидробиологические работы выполнены сотрудниками отдела планктона Сеничкиной Л.Г. и Шумаковой Г.В. Определения отдельных санитарных показателей сделаны сотрудниками Киевского института общей и коммунальной гигиены им. А.Н. Марзеева. Работа в заливе продолжалась с 1968 по 1986 г.г.; пробы отбирались на 635 станциях, выполнено около 9400 гидрохимических анализов. Использованы также материалы мониторинга Ялтинской гидрометеостанции за период с 1968 по 1982 г.г. Все имеющиеся материалы были подвергнуты статистической обработке /Парчевская, 1969/.

Количественная оценка многолетней изменчивости гидрохимических показателей в заливе определена по интенсивности их изменчивости для двух временных рядов /Денисов, 1975/, для чего имеющиеся ряды среднегодовых по заливу величин были испытаны на тренд. Для этого рассчитаны значения нормированной статистики и доверительной вероятности наличия тренда в ходе среднегодовых значений концентраций изучаемых соединений, уравнения регрессии, а также ошибки (σ_p) коэффициентов регрессии (β). Для подтверждения правомерности выбора метода Денисова П.П. величину коэффициента регрессии определили также методом наименьших квадратов /Дьяконов, 1985/.

В третьей главе приводятся результаты исследований по динамике форм азота во время биохимического окисления НОВ в лабораторных условиях. Длительная экспозиция загрязнённой морской воды в закрытых склянках и аквариумах позволила установить особенности каждой из двух фаз рассматриваемого процесса.

I фаза биохимического окисления (аммонификация) характеризуется снижением величин окисляемости до минимальных значений; в сильно загрязнённой морской воде ($6+12$ мгО/л) снижение происходит в 3, в менее загрязнённой ($3+6$ мгО/л) в 2 раза. В аквариумах снижение окисляемости до минимальной (30-50%) от начальных величин происходит в течение 14 суток; в склянках за 9 суток снижение окисляемости происходит всего на 20%. Аммонийный азот образуется и проходит максимум; его начальные значения, а также интенсивность распада органического азота находятся в прямой зависимости от степени загрязнения. Скорость окисления аммонийного азота до нитритов удовлетворительно описывается формально-кинетическим уравнением реакции I-го порядка. В сравнительно чистой морской воде органический азот преобладает, содержание аммонийного азота низкое; в загрязнённой превалирует аммонийный азот. Но сумма органического и аммонийного азота примерно одинакова в воде любой степени загрязнения.

Во время II фазы биохимического окисления (нитрификации) окисляемость остаётся без изменений. Повышение температуры и степени загрязнения ускоряют срок наступления процесса нитрификации. В склянках объёмом 5 мл она наступает раньше и имеет более высокий максимум по сравнению со склянками объёмом 300 мл. Численность гетеротрофных бактерий к началу нитрификации возрастает, а их максимум совпадает с максимумом

нитритов. Образование нитритов и нитратов происходит одновременно ($\gamma = 0,60$). Обогащение кислородом морской воды в аквариумах вызывает ускорение начала нитрификации. При интенсивной аэрации инкубируемой пробы наблюдаются максимальные концентрации окисленных форм азота.

Определяющим показателем загрязнения морской воды в общей численности фитопланктона была численность синезелёных водорослей, которая в первые пять суток экспозиции находилась в обратной зависимости от концентрации аммонийного и нитритного азота ($\gamma = -0,63$).

По найденным опытным путём величинам концентрации аммиака, нитритов и нитратов в загрязнённой морской воде, имеющей начальные концентрации этих веществ, определены константы скорости регенерации промежуточных (аммиака и нитритов) и конечного (нитратов) продукта, используя положение точек максимума на кинетических кривых промежуточных веществ. В основу расчётов положена модификация кинетического уравнения, описывающего распад органического вещества в загрязнённой морской воде, учитывающая поправку на начальное содержание первого промежуточного продукта.

$$C_1 = C_0 \left[\frac{K_{01}}{K_{12} - K_{01}} e^{-K_{01}t} + \frac{K_{01}}{K_{01} - K_{12}} e^{-K_{12}t} \right] + C_1^{(0)} e^{-K_{12}t} \quad (I)$$

где C_1 - концентрация аммиака; C_0 - концентрация исходного вещества; $C_1^{(0)}$ - начальная концентрация аммиака; K_{01} - константа скорости регенерации аммиака; K_{12} - константа скорости регенерации нитритов; t - время.

С использованием уравнения устанавливаются связи между величинами констант, максимальной концентрацией первого промежуточного продукта и временем достижения его максимума. Для решения

уравнения введены безразмерные переменные:

$$\tau = K_{01}t; \quad \zeta_1 = \frac{C_1}{C_1^{(0)}}; \quad \chi_2 = \frac{K_{12}}{K_{01}}; \quad \gamma = \frac{C_1^{(0)}}{C_0}$$

Уравнение (I) решено нами графически в виде двух вычислительных номограмм. Первая номограмма позволяет по известным величинам ζ_1 и γ определить χ_2 . Вторая номограмма даёт возможность по найденному значению χ_2 и известному ζ_1 определить τ .

Константы скорости регенерации аммиака, нитритов и нитратов рассчитаны по всем имеющимся данным. Величина константы скорости регенерации аммиака (K_{01}) колеблется в пределах от 0,20 до 0,63. Константа скорости регенерации нитритов (K_{12}) и нитратов (K_{23}) на один-два порядка ниже константы скорости регенерации аммиака. Величины констант использованы для расчёта баланса биогенных веществ в Ялтинском заливе.

В четвёртой главе рассматриваются особенности процесса трансформации НОВ и других компонентов стока в затопленных и выходящих на поверхность полях сточных вод. Представлены результаты исследований по изучению влияния хозяйственного загрязнения при его глубоководном сбросе и влиянию сточно-нагонных явлений на гидрохимические условия Ялтинского залива. Анализируются материалы исследований по влиянию выпусков разной глубины на санитарное состояние поверхностных вод залива. На основании полученных материалов дана оценка эффективности работы глубоководного выпуска сточных вод.

Строительство глубоководного выпуска позволило провести уникальные исследования по трансформации затопленного поля сточных вод в условиях его эксплуатации (1979-1983 г.г.), а также при аварийной ситуации на трубопроводе в 1986 г., когда сточные воды сбрасывались в 1 км от берега на глубине 39 м.

Все наблюдения проведены летом при наибольшей рекреационной нагрузке на залив; в это время процессы трансформации загрязняющих веществ интенсифицируются достаточно высокой температурой воды и солнечной радиацией. Затопленные поля сточных вод удалось проследить на расстоянии от 400 до 5000 м от выпуска. Глубина затопления при работе глубоководного выпуска составляла в основном 30-50 м; в отдельных случаях поле сточных вод находилось в придонном слое (60-85 м). Наблюдения проведены при отсутствии предварительной очистки и после механической очистки.

При горизонтальном продвижении полей сточных вод происходило постепенное снижение концентраций гидрохимических показателей и приближение их значений к фоновым. Их максимальные градиенты наблюдались вблизи выпуска на расстоянии до 400 м от выпуска, в поверхностном слое их величины в 2-3 раза были выше, чем на глубине; в полях очищенных сточных вод были значительно ниже неочищенных.

Концентрация гидрохимических показателей в трансформированных сточных водах на глубине 70 и более метров имели значения, приближенные к величинам этих показателей в окружающих морских водах, вследствие чего на глубинах гидрохимические показатели становились менее чувствительными к хозяйственному загрязнению, чем на поверхности. Индикаторами загрязнения на глубинах оставались санитарно-бактериологические и вирусологические показатели.

На основании гидрохимических данных, полученных при горизонтальном продвижении полей сточных вод в условиях различных температур и концентраций загрязнений определена скорость процесса трансформации загрязняющих веществ, описываемого уравнением реакции первого порядка. Константы скорости рассчитаны по кинетическому уравнению распада органического вещества:

$$C_t = C_0 \cdot e^{-Kt} \quad (2)$$

где C_t - концентрация органического вещества в момент времени; C_0 - концентрация органического вещества в начальный момент; K - показатель скорости распада, именуемый в литературе константой скорости; t - время.

В поверхностном слое на расстоянии до 50 м от выпуска константы скорости имели максимальные величины: 8,05 по окисляемости, 2,16 по минеральному фосфору, 9,94 по органическому фосфору и 3,98 сут⁻¹ по органическому азоту. При заглублении полей сточных вод вследствие снижения интенсивности фотосинтеза, низких температур и отсутствия связи с атмосферой скорость процесса снижается. При удалении полей сточных вод от источника загрязнения идет замедление процесса за счет снижения концентрации загрязнения. Величины констант уменьшаются на один-два порядка.

Повышение скорости течения ускоряет процесс трансформации вследствие интенсификации процессов перемешивания. При повышении скорости течения в 5 раз константы скорости по минеральному фосфору увеличиваются в 20 раз, а по окисляемости - на порядок.

Снижение начального загрязнения с помощью предварительной механической очистки сточных вод уменьшает концентрацию органического вещества; константы скорости очищенных вод по окисляемости в 3 раза ниже, чем неочищенных.

Изменение концентраций гидрохимических показателей в процессе трансформации происходит за счет совместного действия биохимических процессов и физического разбавления. Гидрохимические данные, полученные при горизонтальном продвижении затопленных полей сточных вод позволили выделить долю биохимических процессов, используя величины кратностей общего изменения

гидрохимических показателей (N_o) и физического разбавления (N_ϕ). Величины N_o рассчитаны по формуле смешения:

$$N_o = \frac{X_g - X_M}{X_{CM} - X_M} \quad (3)$$

где X_g - концентрация гидрохимического показателя на выпуске; X_{CM} - концентрация в точке наблюдений; X_M - концентрация в наиболее удалённой от выпуска точке наблюдений, принятая

N_ϕ определены как отношение концентрации красителя в выпуске к концентрации в точке наблюдений. Кратность изменения концентраций гидрохимических показателей за счёт биохимических процессов (N_{biox}) определена как частное от деления N_o на N_ϕ .

В затопленном поле сточных вод на расстоянии до 400 м от выпуска биохимические процессы проходят медленнее физических, величины N_{biox} значительно ниже N_ϕ : по окисляемости и фосфатам - в 8, по нитратам - в 4, по органическому фосфору - в 2,5 раза. С удалением от выпуска доля биохимических процессов в общей трансформации загрязнения снижается. На расстоянии 620 м от выпуска N_{biox} становится ещё ниже N_ϕ : по окисляемости в 9, по фосфатам в 8, по нитратам в 7,5, по фосфору органическому в 4 раза. Понижение скорости течения в глубинной толще вод ускоряет процесс физического разбавления и увеличивает интенсивность общей трансформации загрязнения, в которой доля биохимических процессов снижается.

В поле сточных вод, выходящем на поверхность, до 400 м от источника загрязнения вклад физических и биохимических процессов в общий процесс трансформации равноценен. С удалением от выпуска, так же, как на глубине, доля биохимических процессов снижается. На поверхности биохимические процессы проходят в

1,5-3 раза быстрее, чем на глубине.

Исследования по изучению влияния выпусков различной глубины на гидрохимические условия Ялтинского залива показали, что при сбросе сточных вод в море через близбереговой выпуск, глубина 11,5 м, в зоне его влияния отмечены значительные изменения гидрохимических показателей по сравнению с условно чистой морской водой. Содержание органических и минеральных форм азота и фосфора на поверхности моря на два-три порядка превышало фоновое значение, что создавало аномальные условия для жизнедеятельности гидробионтов. Отмечено уменьшение числа видов фитопланктона на 20-30%, мельчение клеток водорослей, а также преобладание гетеротрофной биомассы над автотрофной в 4-20 раз.

При работе глубоководного выпуска вследствие большой глубины сброса сточных вод (86 м) и наличия плотностной стратификации обеспечивается затопление сточных вод и сохранение концентраций гидрохимических показателей в поверхностном слое близких к фоновым значениям. Ослабление плотностной стратификации приводит к частичному проникновению на поверхность трансформированных сточных вод в районе их выпуска, что говорит о необходимости усиления существующей предварительной очистки сточных вод (подключении второй ступени - биохимической очистки).

Повышение величин отдельных гидрохимических показателей в узкой прибрежной зоне, зоне водопользования и на контрольной станции (6 миль от берега) происходит вследствие влияния дополнительных источников загрязнения, какими являются аварийные близбереговые выпуски, речной сток, рекреационная нагрузка, пробойна в трубопроводе, трасса судоходства и др.,

снижающие эффективность работы глубоководного выпуска сточных вод.

Исследования по изучению влияния стонно-нагонных явлений на санитарное состояние зоны водопользования залива показали, что во время сильных стонов при работе глубоководного выпуска подъёма сточных вод на поверхность моря не происходит. При аварийной ситуации на трубопроводе (сброс на глубине 39 м в 1 км от берега) выход сточных вод на поверхность и перемещение их к берегу обнаруживается по повышенным величинам окисляемости ($2,60 \text{ мгОл}^{-1}$), БПК₅ ($4,75 \text{ мл.л}^{-1}$), концентрациям нитритов (4 мкг.л^{-1}) и фосфатов (67 мкг.л^{-1}).

Оценка эффективности работы глубоководного выпуска сделана по изменению состояния загрязнённости на его поверхности. При заглублении выпусков с 11,5 до 39 метров величины концентраций гидрохимических показателей на поверхности самих выпусков снизились по окисляемости в 4, по фосфатам в 8 и по нитритам в 3 раза. Дальнейшее заглубление выпуска до 86 м привело к уменьшению на его поверхности концентраций биогенных веществ и окисляемости ещё в 2 раза.

Результаты многолетней изменчивости концентраций фосфатов и нитритов, величины окисляемости и БПК₅, полученных по среднегодовым значениям на поверхности станций мониторинга, позволили количественно оценить тенденции к интенсивности изменчивости, для чего имеющиеся ряды среднегодовых по заливу величин были испытаны на тренд. Коэффициенты регрессии (δ), полученные двумя способами, мало отличаются друг от друга; для нитритов и окисляемости их значения совпадают. Согласно рассчитанным за период с 1969 по 1982 г.г. уравнениям регрессии происходило уменьшение концентрации фосфатов и нитритов на $0,33 \text{ мкг.л}^{-1}$, БПК₅ - на $0,11 \text{ мл.л}^{-1}$ и окисляемости - на $0,21$

мгОл^{-1} в год. Коэффициенты регрессии, рассчитанные для периода с 1969 по 1986 г.г., включая аварийную ситуацию на трубопроводе, значительно ниже; они составляли 0,07 (для фосфатов); 0,28 (для нитритов); 0,10 (БПК₅) и 0,14 соответственно для окисляемости.

Результаты гидробиологических исследований подтверждают значительное улучшение состояния фито- и бактериопланктона поверхностных вод залива. Численность сапрофитной микрофлоры в зоне водопользования и на всей акватории залива не превышала 1000 колоний на 1 мл воды, средние значения численности, биомассы и объёма клеток суммарного фитопланктона в зоне водопользования и в чистой воде сопоставимы между собой /Сеничкина, Чепурнова, 1983/.

Санитарно-бактериологические исследования показали, что глубоководный выпуск не оказывает отрицательного влияния на прибрежную зону, в частности на зону рекреации. Микробное загрязнение отмечено лишь в районе оголовка выпуска, на глубине 85 м /Корчак, Григорьева, 1983/. Там же, в узколокальной зоне, прилегающей к оголовку выпуска (по данным бентосных исследований ИнБКМ АН УССР), биоценоз фазеолины находится в угнетённом состоянии.

Полученные результаты позволили дать высокую оценку эффективности работы глубоководного выпуска и рассматривать его эксплуатацию как основное профилактическое мероприятие по предотвращению загрязнения прибрежной зоны моря.

В пятой главе представлены результаты расчётов предельно допустимой нагрузки сточных вод на залив и прогноза ожидаемой концентрации фосфатов в нём к 2000 году по методу баланса, разработанного в Государственном океанографическом институте.

Для решения уравнения баланса и оценки влияния сточных вод на акваторию залива был сделан расчёт элементов баланса за 1982 год по минеральному фосфору и нитратам, как основным загрязнителям морской среды при сбросе бытовых сточных вод.

В приходную часть баланса вошли: приток биогенных веществ со сточными водами, поступление со стоком рек Быстрой и Водопадной, поступление за счёт деструкции НОВ сточных вод, регенерация минерального фосфора из отмершего планктона. Элементы расходной части баланса включают: обмен биогенными веществами между заливом и предзаливным пространством моря, утилизация минерального фосфора микр. планктоном в заливе.

В результате анализа полученных данных установлено, что ежегодно из естественных и антропогенных источников поступает большое количество минерального фосфора и нитратов. Минеральный фосфор поступает в залив в основном со сточными водами, их поступление составляет 82% от общего поступления (без учёта водообмена) и превышает поступление нитратов в 5 раз. Нитраты поступают в залив преимущественно с речным стоком, что составляет 70% от общего поступления и превышает поступление минерального фосфора в 4 раза. Полученные данные свидетельствуют о высоком нитратном загрязнении залива речным стоком, основная доля которого может быть отнесена за счёт сельскохозяйственной деятельности (виноградники, сады, лесные массивы).

Анализ ожидаемых к 2000 году концентраций фосфатов, рассчитанных по уравнению баланса

$$M_t = M_0 + \frac{2q_t - 2M_0 \sum K}{2 + \sum K t} \Delta t \quad (4)$$

где M_t - масса фосфатов в водном объекте в момент времени t ;

M_0 - масса фосфатов в водном объекте в момент времени t_0 ;

$\sum K$ - сумма коэффициентов скоростей вывода фосфатов из водной толщи объекта; q_t - скорость поступления в объект при разных объёмах сточных вод показывает, что при объёме от 60 до 120 тыс. м³.сутки⁻¹ в заливе не происходит изменений в концентрации минерального фосфора. Дальнейшее увеличение объёма сточных вод приведёт к накоплению фосфатов в заливе. Поэтому объём сточных вод в 120 тыс. м³.сутки⁻¹ является предельно допустимой нагрузкой на залив.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Установлено, что за счёт эффекта глубоководного выпуска сточных вод произошло снижение средних по поверхности в заливе величин окисляемости и содержания нитратов в 2 раза, фосфатов - в 3, БПК₅ и нитратов - в 4 раза.

2. Определена тенденция и интенсивность изменчивости среднегодовых концентраций фосфатов, нитратов, величин БПК₅ и окисляемости за период с 1969 по 1982 г.г. Согласно рассчитанным уравнениям регрессии происходило уменьшение концентраций фосфатов и нитратов на 0,33 мкг/л, БПК₅ - на 0,11 мг/л и окисляемости - на 0,21 мгО/л в год. Коэффициенты регрессии, рассчитанные для периода с 1969 по 1986 г.г., когда отмечена аварийная ситуация на трубопроводе и сточные воды выходили на глубине 39 метров, имеют более низкие значения: 0,07 для PO₄³⁻; 0,28 для NO₂; 0,10 для БПК₅; 0,14 для окисляемости.

3. Установлено, что в затопленном поле сточных вод в условиях полной эксплуатации глубоководного выпуска идёт замедление процесса трансформации загрязнения по гидрохимическим параметрам в 2-10 раз по сравнению с поверхностью.

Уменьшение глубины затопления и увеличение скорости течения повышают, а удаление от источника загрязнения снижает скорость трансформации на один-два порядка. Предполагается, что это обусловлено изменчивостью соотношения вкладов физических и биохимических процессов.

4. Удалось показать, что при горизонтальном продвижении полей сточных вод скорости биохимических и физических процессов на поверхности имеют сопоставимые величины, на глубине биохимические процессы идут в 2-3 раза медленнее физических и в 1,5-3 раза медленнее, чем на поверхности.

5. Оценена доля поступления биогенных веществ со сточными водами в общем поступлении их в залив с естественными и антропогенными источниками. Поступление фосфатов составляет 82 % от общего и превышает поступление нитратов в 5 раз. Основной формой минерального азота при деградации нестойкого органического вещества сточных вод является азот аммонийный, он составляет 48 % от общего поступления / орг. Количество вносимых с речным стоком нитратов составляет 70 % от общего поступления в залив и превышает поступление фосфатов в 4 раза.

6. На основании рассчитанных элементов баланса по минеральному фосфору в Ялтинском заливе определена предельно допустимая нагрузка на залив сточными водами, равная 120 тыс. м³/сутки; дальнейшее увеличение объема сточных вод приведет к накоплению фосфатов в заливе.

7. Показано, что выпуск, расположенный на глубине 86 м, обеспечивает затопление поля сточных вод при разной силе стоках, таким образом сохраняя чистоту прибрежной зоны, тогда как при малых глубинах сброса даже слабые стоки ведут

к возникновению однородного водного слоя и загрязнению по поверхности сточными водами.

8. Установлено, что Ялтинский залив и прибрежная часть моря в настоящее время не эвтрофированы. Отмеченные нами в отдельные периоды повышенные концентрации фосфатов и нитратов имеют короткопериодный и локальный характер. Избежать эвтрофикации вод залива позволит полная ликвидация всех мелководных выпусков в сочетании с обязательной полной (механической плюс биологической) очисткой сточных вод перед сбросом их в море через глубоководный выпуск.

ПО МАТЕРИАЛАМ ДИССЕРТАЦИИ
ОПУБЛИКОВАНЫ СЛЕДУЮЩИЕ РАБОТЫ

1. Куракова Л.В., Ковригина Н.П. Особенности процесса нитрификации в загрязненной морской воде // Съезд советских океанологов: Тез. докл. - Вып. 2. - М., 1977. - С. 210-211.

2. Куракова Л.В., Ковригина Н.П. Влияние аэрации загрязненной морской воды на процесс нитрификации // Тез. докл. и сообщений республиканской конф. "Охрана природы и рациональное использование природных ресурсов Юга Украины. - Симферополь, 1977. - С. 50.

3. Ковригина Н.П., Сеничкина Л.Г. Динамика форм азота и фитопланктона при разной степени загрязнения морской воды // Вопросы методологии гидрохимических исследований в условиях антропогенного влияния: Материалы 27 Всесоюз. гидрохим. совещания. - Ч. I. - Л., 1979. - С. 154.

4. Куфтарева Е.А., Ковригина Н.П., Стоянов А.С. Гидрохимические исследования поверхностного слоя моря // Взаимодействие атмосферы, гидросферы и литосферы в прибрежной зоне моря. - София, 1980. - С. 300-307.

5. Сеничкина Л.Г., Ковригина Н.П. Фитопланктон и динамика форм азота в экспериментальных условиях // Гидробиол. журн. - 1981. - Т. 17, № 5. - С. 116-118.

6. Куфтаркова Е.А., Ковригина Н.П. Оценка эффективности работы глубоководного выпуска сточных вод по гидрохимическим показателям // Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоёмах: Тез. докл. 4 Всесоюз. симпоз. (Петрозаводск, 3-5 окт. 1983). - Петрозаводск, 1983. - С. 64-65.

7. Куфтаркова Е.А., Ковригина Н.П., Губарь Г.А., Плотникова И.М. Гидрохимические условия Ялтинского залива как результат комплекса природоохранных мероприятий // Состояние, перспективы улучшения и использования морской экологической системы прибрежной части Крыма: Тез. докл. науч.-практ. конф., посвящ. 200-летию города-героя Севастополя. - Севастополь, 1983. - С. 119-120.

8. Шульгина Е.Ф., Ковригина Н.П., Гольдберг Г.А. Определение констант скорости регенерации минеральных форм азота по максимумам промежуточных веществ в загрязнённой морской воде // Материалы конф. "Экология и рациональное использование природных ресурсов Южного региона Украины". - Ч. I / АН УССР Мор. гидрофиз. ин-т. - Севастополь, 1984. - С. 155-157. - Деп. в ВИНТИ 8.10.84, № 6611.

9. Ковригина Н.П., Куралева Л.В., Сеничкина Л.Г. Суточный режим биогенных элементов и фитопланктона в морской воде разной степени трофности // Материалы конф. "Экология и рациональное использование природных ресурсов Южного региона Украины". Ч. 2 / АН УССР Мор. гидрофиз. ин-т. - Севастополь, 1984. - С. 224-227. - Деп. в ВИНТИ 8.10.84, № 6612.

10. Куфтаркова Е.А., Ковригина Н.П. Распределение и динамика биогенных элементов в прибрежной зоне Южного берега Крыма // Матер. конф. "Совершенствование управления развитием рекреационных систем". Ч. 2 / АН УССР Мор. гидрофиз. ин-т, Севастополь, 1985. - С. 352-358. - Деп. в ВИНТИ 6.11.85, № 779-В.

11. Куфтаркова Е.А., Ковригина Н.П. Влияние антропогенной нагрузки на изменение уровня биогенных элементов прибрежной акватории Крыма // Методология прогнозирования загрязнения океанов и морей: Тез. докл. Всес. науч. семинара (Севастополь, 25-26 марта 1986). - М., 1986. - С. 48-51.

12. Изменение физико-химических свойств морских вод под влиянием загрязнения / АН УССР Ин-т биологии юж. морей, под ред. канд. геогр. наук Шульгиной Е.Ф. - Л.: Гидрометеиздат, 1987. - 200 с. (Проблемы химического загрязнения вод Мирового океана, т.6).

13. Зац В.И., Киселёва М.И., Ковригина Н.П. и др. Состояние качества воды прибрежной зоны района Ялты как результат комплекса природоохранных мероприятий // III съезд советских океанологов: Тез. докл. Секция физика и химия океана. Гидрохимия и проблемы загрязнения океанов и морей. - Л.: Гидрометеиздат, 1987. - С. 96-98.

14. Челурнова Э.А., Сеничкина Л.Г., Куфтаркова Е.А., Ковригина Н.П. Оценка эвтрофирования прибрежных вод Ялтинского залива по гидробиологическим и гидрохимическим показателям // Тез. конф. "Проблемы комплексной застройки Южного берега Крыма". Т. 2. - Симферополь, 1988. - С. 51-52.

15. Ковригина Н.П. Влияние сточно-нагонных явлений на динамику полей сточных вод в Ялтинском заливе // Океанографические аспекты охраны морей и океанов от хим. загрязнений: материалы Всес. науч. симпоз. (Одесса, 2-6 окт. 1988). - М., 1990. - С. 220-222.