

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

Институт океанологии им. П.П. Ширшова

КООРДИНАЦИОННЫЙ ЦЕНТР СТРАН-ЧЛЕНОВ СЭВ

по проблеме "Изучение химических, физических, биологических и других процессов важнейших районов Мирового океана и разработки современных технических средств для эффективного исследования и освоения его ресурсов"

ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ ПЕЛАГИАЛИ
ЧЕРНОГО МОРЯ

(материалы международного симпозиума "Антропогенная
эвтрофикация и изменчивость экосистем Черного моря"
Москва, 16-19 октября 1984г.)

Институт биологии
южных морей АН СССР

БИБЛИОТЕКА

№ 34548

МОСКВА
1986

ЗНАЧЕНИЕ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ РЕШЕНИИ ПРИРОДООХРАННЫХ ЗАДАЧ В ЧЕРНОМ МОРЕ

В.И.Зац

Институт биологии южных морей АН УССР

Прибрежная и шельфовая зоны Черного моря (как и других морей) относятся к категории активно осваиваемых акваторий. Для оптимальной эксплуатации основных ресурсов этих акваторий (рекреация, биологические, водные и другие ресурсы) необходимо добиться эффективной охраны этих зон от загрязнения.

Разработка научно обоснованных рекомендаций по охране морских акваторий от загрязнения требует проведения весьма сложных и дорогостоящих исследований, изучения разнообразных процессов, которые анализируются в рамках различных научных дисциплин: физической океанографии, гидрохимии, гидробиологии, санитарно-гигиенических, инженерно-технических наук.

Основные направления исследований при разработке научных основ охраны морских вод от загрязнения и решении природоохранных задач могут быть сформулированы следующим образом:

1. Определение влияния различных природных процессов на поле загрязняющих веществ. Основной объем исследований в нашей стране (и во всем мире) проводится в рамках данного направления.

2. Моделирование процессов переноса, трансформации органики и других компонентов сточных вод, процессов самоочищения, разработка методов управления и регулирования процессами самоочищения.

3. Разработка научно-обоснованных мероприятий по охране моря от загрязнения.

Гидрофизические процессы играют важную роль в судьбе сточных вод в море как на начальном этапе сброса, так и в процессах их переноса, рассеяния, осаждения, химико-биологической трансформации.

Когда говорят о значении гидрофизических исследований при решении природоохранных задач, то подразумевают следующее:

а) Установление взаимосвязи между гидрофизическими факторами и другими процессами, определяющими судьбу сточных вод в мо-

ре: адвективный перенос, перемешивание, распределение стоков по вертикали, связанное со стратификацией вод, влияние фронтальных разделов, стонно-нагонных явлений и др.

б) Моделирование процессов переноса, перемешивания, самоочищения морских вод от загрязнения.

В настоящее время в понятие "самоочищение" включают весь комплекс природных процессов – физических, химических, биологических, которые приводят к восстановлению качества воды до определенного уровня (либо до уровня, который существовал ранее до начала загрязнения водоема, либо до некоторого регламентированного уровня).

в) Районирование морского бассейна по критериям турбулентности, турбулентной диффузии и другим динамическим параметрам для выделения динамически активных зон или зон, которые не могут служить приемниками сточных вод (имеется в виду, очищенные сточные воды) /5, 7/.

г) Разработка научно обоснованных рекомендаций по оптимальному пространственному расположению выпусков сточных вод – локальных или систем выпусков. Выбор местоположения выпусков сточных вод, удаленность сбросных устройств от берега, глубина его расположения, тип рассеивающего устройства требуют знания многих динамических, гидрохимических и биологических характеристик /1, 2, 6/.

д) Разработка методов и критериев для оценки эффективности работ отдельных выпусков сточных вод (глубоководных, близбереговых или дальних) или систем выпусков целого региона.

Для решения многих вопросов в рамках перечисленных направлений были осуществлены крупномасштабные эксперименты и натурные исследования на полигонах в Черном море (районы Ялты, Севастополя, в шельфовой зоне Болгарии, Сочи, м. Пицунда, Сухуми, Батуми) /2, 5, 7/.

Цель данной работы – рассмотреть основные гидрофизические процессы, которые определяют поведение поля примеси в море: адвективный перенос, распределение по вертикали, обусловленное плотностной стратификацией, турбулентность.

Исследования на полигонах были комплексными: они включали изучение физико-океанографических, гидрохимических, гидробиологических и санитарно-гигиенических характеристик. Это давало сравнительно полное представление о характере и степени влияния основных природных процессов на поле сточных вод.

На полигонах выставлялось до 3-6 АБС с самописцами течений, проводились натурные эксперименты по изучению процессов турбулентной диффузии пятен и струй красителя с помощью флуориметрических измерений и с помощью аэрометодов, исследования "ричард-соновский" диффузии, мезомасштабной турбулентности, изучалась термохалинная структура вод на полигоне.

Эти исследования позволили получить следующие результаты:

I. Выявлены оптимальные условия адвективного переноса поля сточных вод для устранения их попадания в зону водопользования для ряда регионов Черного моря. Было показано, что в заливах, даже таких как Ялтинский, может существовать замкнутая циркуляция, которая надолго может превратить его в отстойник загрязненных вод. Было также выявлено, что в прибрежной зоне у прямолинейных берегов или слабо изрезанных существует эффект прилипания потока к берегу /2/.

Исследования с помощью дрейфа поплавков и пятен красителя, АБС, по переносу потоков сточных вод, в которых вводились красители, показали, что между берегом и зоной основного потока черноморских течений формируются вихри и противотечения. Размеры поперечников вихревых образований в районе Ялты были порядка 1-2 миль.

Формирование таких вихрей приводит к тому, что в прибрежной зоне повторяемость течений, направленных к берегу, возрастает иногда до 20-30% /2/. Вследствие этого, возрастает вероятность переноса загрязненных вод к берегу. Анализ материалов по циркуляции вод показал, что в районе Ялты деформирующее влияние изрезанности берега (мысы, залив) сказывается на поле течений в зоне шириной до 3-5 миль. Мористее этой зоны основной черноморский поток становится устойчивым, возрастают скорости поверхностных течений и повторяемость вдольберегового переноса /2/. Данные годичного цикла измерений течений со стабилизированного буя в районе Геленджика (4 мили от берега, глубина 70 м) также показали, что с приближением к стрекню основного потока течений повторяемость вдольберегового переноса становится преобладающей как в среднем за год, так и по сезонам, достигая почти 100% /8/.

Эффекты прилипания потока к берегу и формирование вихрей у изрезанных и сравнительно прямолинейных берегов позволяют сформулировать феноменологический вывод, что у изрезанных берегов выпуски сточных вод должны располагаться мористее по сравнению с выпусками у прямолинейных берегов.

Исходя из этих соображений и с учетом других факторов, было предложено для района Ялты вынести оголовок выпуска мористее Ялтинского залива, в зоне основного потока течений. Соответствующие рекомендации по оптимальному расположению выпусков разработаны для районов Севастополя, Сочи, Гудауты и др.

2. Установлены условия затопления поля сточных вод в промежуточных слоях с целью устранения их выхода на поверхность.

Имеется целый ряд соображений о целесообразности устранения выхода даже очищенных сточных вод на поверхность моря в районах морских курортов /1/: предотвращение контакта человека с загрязненными водами, устранение влияния таких вод на пленку гипонейстона, на механизмы микроконвенции, тепло- и газообмена на поверхности раздела море - атмосфера, продуцирования биогенов в верхнем слое и др.

Существуют разные методы прогноза высоты подъема всплывающего факела при глубоководном сбросе. Методы Рама-Цедервала, Брукса-Коха, Фишера-Брукса и др. /1, 6, 10/. Все эти соотношения сконструированы для условий неподвижной среды. Поскольку в реальных условиях это событие не осуществляется, то сопоставить эти соотношения с экспериментальными данными почти невозможно. Нами предложены корректирующие функции, учитывающие влияние течений на высоту подъема факела /1/. Оказалось, что соотношения Фишера-Брукса /10/, модифицированные корректирующими функциями, могут быть сопоставлены с результатами экспериментальных исследований /6/.

На рис. 1 показан график связи между значениями высоты подъема факела сточных вод по данным экспериментов (H_{ϕ}) и расчетными значениями высоты подъема всплывающего факела (H_{ϕ}) по модели Фишера-Брукса /10/ с корректирующими функциями, учитывающими влияние течений /1/. Данные расчетов удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными для условий точечного выпуска. Наилучшее совпадение отмечается в тех случаях, когда градиенты плотности определяются в слое "дно - нижняя граница (или средняя) слоя скачка плотности" (вместо предлагаемых авторами /10/ градиентов плотности для всей толщи вод в зоне выпуска).

Таким образом, проведенное исследование показало, что модель Фишера-Брукса /10/ с корректирующими функциями /1/ может служить критерием для расчета высоты подъема всплывающего факела сточных

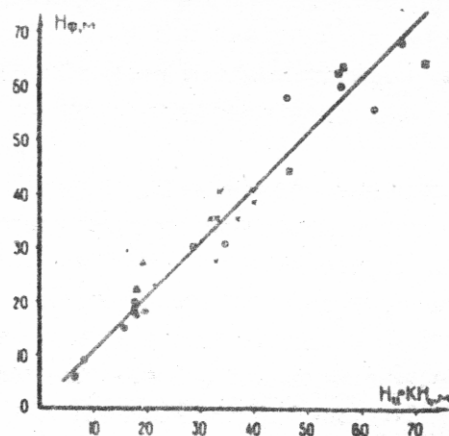


Рис. 1. Связь между фактическими значениями высоты подъема факела сточных вод H_{ϕ} и расчетными значениями высоты факела $H_k = \kappa H_0$ (H_0 - высота по методу Фишера-Брукса, κ - корректирующая функция, учитывающая влияние течений) - / 6 /.

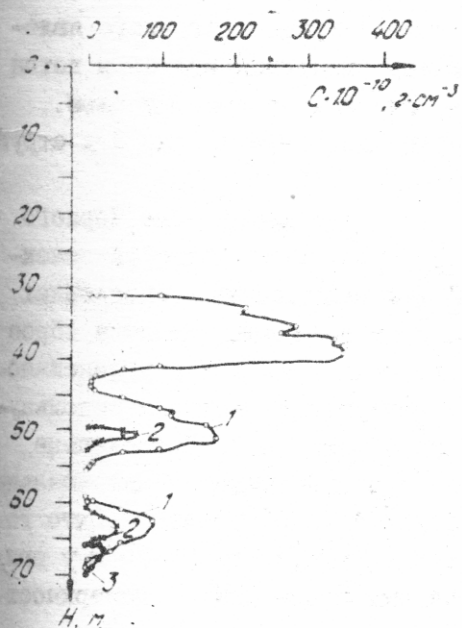


Рис. 2. Вертикальное распределение концентрации красителя в затопленном потоке сточных вод C , г/см³ на разных расстояниях от места их выпуска в опытах 2.УП, 1980 г. (глубина системы конфузоров 86 м)
1 - вблизи выпуска,
2 - в 680 м от него,
3 - в 1100 м от него.

вод и выбора оптимальных глубин расположения рассеивающих выпусков. Входными параметрами при таких расчетах являются данные о плотностной стратификации и вертикальном распределении скоростей течений в зонах предполагаемых сбросов /1/.

3. Комплексные исследования позволили выделить типичные схемы затопления потоков сточных вод при глубоководных сбросах для разных условий плотностной стратификации вод.

Изучение затопленных полей сточных вод при их сбросах на глубинах до 75-90 м выполнены впервые в отечественной практике, а комплексные исследования - гидрофизические, гидрохимические и гидробиологические - в затопленных полях были первыми в мировой практике /4, 6/.

Кратко об этих экспериментах. В трубопровод сточных вод непрерывно вводился флуоресцирующий краситель (уранин). С помощью флуориметра вдоль потока проводилось непрерывное зондирование толщи вод.

На рис. 2 показаны вертикальные профили концентрации красителя при выпуске стоков на глубине 86 м. На этом рисунке видно расщепление потока по вертикали на 3 затопленные струи. Затопленные струи прослеживались на расстояниях до 3-5 км от источника (рис. 3-4). На рис. 4(б) показана ситуация нагонного явления (29.VI.1979 г.), когда слой скачка сместился вглубь и поток сточных вод также сместился глубже, ближе к придонному слою. Здесь же на рис. 4(а) показан затопленный поток в виде 3-х струй, располагающихся в слое от 30 до 70 м.

Степень плотностной стратификации в шельфовой зоне Черного моря достаточна для того, чтобы поле сточных вод было затопленным в глубинной толще в виде одной или нескольких расщепленных по вертикали струй. Однако, необходимым условием является сброс с помощью рассеивающих оголовков, который приводит к интенсивному начальному разбавлению. Система конфузоров, которая используется в районе Ялты, оказалась весьма эффективной. Проведенные эксперименты позволили оценить характер изменчивости максимальной концентрации с удалением от источника /4/. Они показали, что горизонтальное перемешивание в промежуточных слоях 25-75 м у приглубых шельфов соизмеримо с аналогичными процессами в поверхностном слое при слабых ветрах и средних (типичных) течениях.

Удалось выделить типичные схемы затопления струй /6/ при разных условиях плотностной стратификации (рис. 5):

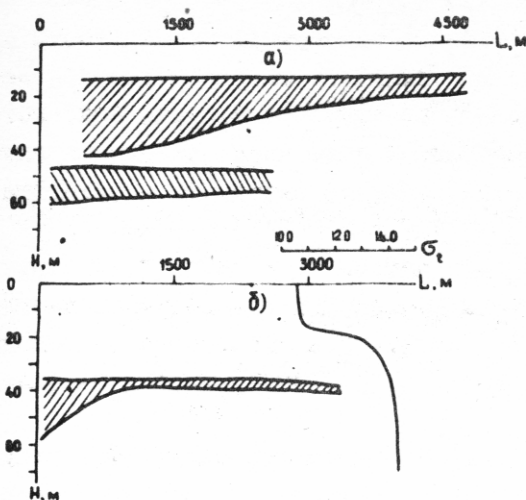


Рис. 3. Положение затопленных струй сточных вод вблизи глубоководного выпуска в районе Ялты (выпуск точечный, глубина залегания 75 м)
 а - система расщепленных струй во время опытов в апреле 1975 г.
 б - положение одного компактного потока сточных вод во время опытов в июле 1975 г.; справа показано распределение условной плотности для этого случая.

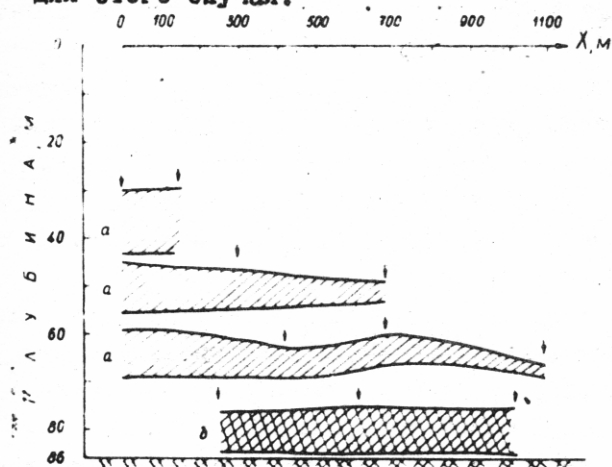


Рис. 4. Положение затопленных струй сточных вод вблизи глубоководного выпуска в районе Ялты (выпуск в виде системы конфузоров, глубина залегания 86 м):
 а - система расщепленных струй, 2.УП.1980 г.
 б - положение потока в придонной области при нагонном эффекте во время опытов 29.УП.1979 г.

а) Всплывающий факел в однородной по плотности среде выходит на поверхность; это типичная ситуация для абсолютного большинства действующих сейчас выпусков сточных вод, которые располагаются в узкой прибрежной зоне Черного моря на глубинах до 10-20 м. В этой зоне стратификация плотности отсутствует почти круглый год.

б) Поле сточных вод затоплено в виде одной струи под термоклинном; в Черном море при расположении выпусков на глубинах 40-50 м такое затопление может быть обеспечено в продолжении 6-7 месяцев теплого периода. В остальное время подъем факела происходит по схеме а).

в) Затопленное поле расщепляется на две-три струи (или больше) под термоклинном; такая ситуация может быть обеспечена в продолжение всего года при соблюдении определенных условий:

- глубина сброса 75-100 м
- эффективная рассеивающая система, которая обеспечивает начальное разбавление, эквивалентное кратности 500-1000 или больше
- наличие течений, усиливающих эффект затопления потока.

г, д) Сложные структуры затопления, связанные с наличием нескольких скачков плотности и развитой тонкой структурой; это способствует расщеплению потока на 2-3 струи, но осевая часть всплывающего факела может подняться в приповерхностный слой или выйти на поверхность. Такие ситуации могут наблюдаться весной, когда термоклин начинает формироваться, а выпуск стоков происходит в виде точечного источника, либо во время сильных стгонных явлений, ослабляющих стратификацию вод.

Можно предположить, что вследствие сочетания различных процессов, стгонно-нагонных явлений, конвективных движений, внутренних волн разной природы, тонкой термохалинной структуры - картина затопленных струй может быть и более сложной.

Дробление всплывающего факела на несколько затопленных струй связано с наличием целой системы скачков плотности разной интенсивности. При таком характере стратификации от периферии всплывающего факела, где смещение происходит более интенсивно, могут отпочковаться отдельные струи, неспособные преодолеть слож скачка плотности и перемещающиеся под этим слоем.

Наличие сложной системы затопленных струй наводит на мысль о возможности управления этим процессом. Это можно осуществлять за счет регулирования начального разбавления и создания нескольких оголовков на одном трубопроводе.

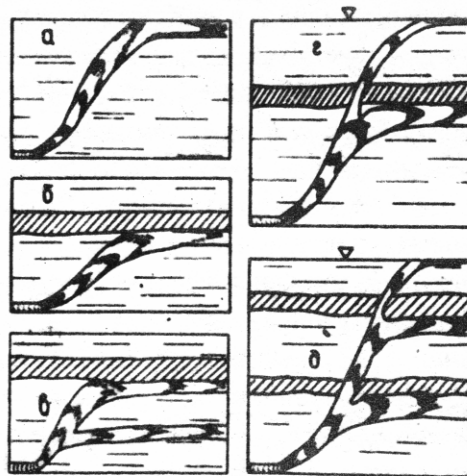


Рис. 5. Схема затопленных струй сточных вод при глубоководном сбросе для разных условий плотностной стратификации /6/:
а - выход факела на поверхность моря в однородной среде,
б - затопление в виде одной струи под слоем термоклина,
в - расщепление потока на несколько струй под термоклином,
г, д - сложные структуры затопления с частичным выходом осевой части факела в поверхностный слой

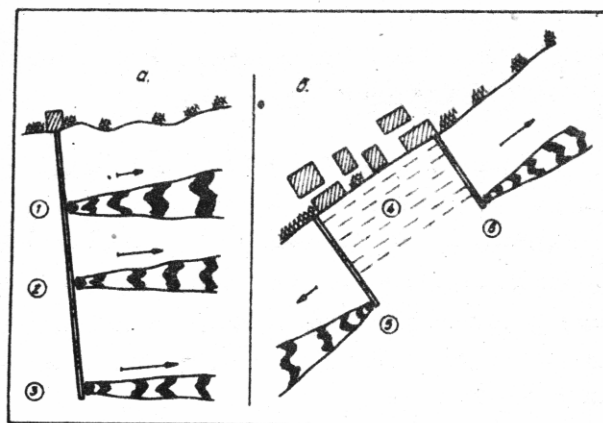


Рис. 6. Схема управляемого перемещения потока сточных вод в пространстве:
а - последовательное включение оголовков выпуска /1-3/, размещенных на одном трубопроводе на разном удалении от берега,
б - последовательное включение оголовков выпусков при разных течениях /5, 6/, размещенных на разных трубопроводах; 4 - акватория, где требуется высокое качество морской воды.

На рис. 6 показана схема последовательного перемещения потока сточных вод в пространстве из разных выпусков. Что это дает? При определенных океанологических ситуациях самоочищающая способность локальных акваторий и слоев могут "истощаться", в то время как потенциальные способности соседних акваторий могут быть значительными. Если последовательно менять источник и перемещать поток сточных вод в пространстве (рис. 6, а, положение I-3), то можно управлять интенсивностью процесса самоочищения, и на определенный промежуток времени устранить загрязнение в данной локальной зоне. Так, например, если локальная зона загрязнения вблизи берега резко увеличилась (слабые течения), или стал проявляться сгонный эффект, то целесообразно выключить оголовок № 1 и включить оголовок № 3 (рис. 6, а).

Если задана акватория, где требуется высокое качество воды в зоне водопользования, то в таких случаях можно использовать 2 выпуска, размещенных на отдельных трубопроводах (рис. 6, б), и в зависимости от направления течений включают либо оголовок 5, либо 6.

Расщепление затопленного потока на ряд отдельных струй, рассредоточенных по вертикали, полезно и целесообразно для более "равномерного" распределения "нагрузки" в толще вод, устранения локальной зоны стационарного загрязнения и улучшения условий протекания процессов самоочищения вод.

4. Знание закономерностей турбулентного перемешивания необходимо для решения теоретических и прикладных задач в области охраны моря от загрязнения, например, для оценки потенциальной способности к перемешиванию тех или иных регионов, для расчетов горизонтального разбавления поля примеси с целью определения оптимального расположения выпусков сточных вод, для моделирования процессов самоочищения и др.

Получены результаты, дающие представление о "турбулентной" активности морских акваторий, и определены параметры турбулентной диффузии, необходимые для решения прикладных задач [2, 5, 6].

Оценка "турбулентной активности" различных акваторий при планировании сбросов сточных вод требует большого объема натурных исследований и экспериментов. Они должны проводиться при разных динамических и термохалинных условиях: штилевые и штормовые ситуации, сгонно-нагонные явления, сильные и слабые течения, зимняя конвекция и др.

Постановки АБС с регистраторами течений типа БПВ от узкой прибрежной зоны до зоны основного потока черноморских течений, осуществленные при разных динамических условиях, эксперименты по "ричардсоновской диффузии" (диффузия вех и поплавок в поверхностном слое), опыты по турбулентной диффузии непрерывно распределенных красителей (струи и пятна) показали, что зона основного потока течений характеризуется сравнительно активным перемешиванием, которое превосходит аналогичные процессы в узкой прибрежной зоне (шириной до 1-2 миль от берега) /2, 4, 6, 7/.

По опытам с непрерывно распределенными красителями исследовались также параметры как дисперсия распределения концентрации красителя в пятнах и струях, коэффициенты турбулентной диффузии, их изменчивость во времени и в зависимости от масштаба явления, изменчивость максимальной концентрации во времени (для пятен) и с удалением от источника (для струй) и др.

Для разных районов Черного моря выявлен характер зависимости коэффициентов турбулентной диффузии K от масштаба явления ℓ , которая аппроксимируется степенной функцией

$$K \sim \ell^m,$$

где показатель степени m изменяется в широком диапазоне - от 0,1 до 1,5 (для разных регионов, экспериментов, сезонов года);

Обобщение данных многих экспериментов по диффузии пятен красителя для приглубых шельфов Черного моря для масштабов от 0,1 до 6 км позволило получить соотношения $K_x(\ell)$ и $K_y(\ell)$, близкие к "закону 4/3". Это, вероятно, обусловлено тем, что опыты с пятнами красителя проводились в 5-15 милях от берега, в зоне основного потока течений (или в акваториях, примыкающих к стрекну потока).

Обобщение материалов экспериментальных исследований в рамках "ричардсоновской диффузии", выполненное Розманом Л.Д. в работе /9/, показало, что в диапазоне масштабов от 0,1 до 15 км зависимость K от ℓ аппроксимируется линейной функцией. Здесь обобщены материалы дрейфа вех и поплавков от узкой прибрежной зоны (100-1500 м от берега) до 5-10 миль от берега.

Таким образом, установлено, что в широком диапазоне масштабов процесса для узкой прибрежной зоны и зоны основного потока черноморских течений могут использоваться модели диффузии, для

которых $K(\rho)$ аппроксимируется линейным законом и "законом $4/3$ ".

Результаты указанных работ в сочетании с данными гидрохимических, гидробиологических и санитарно-гигиенических исследований показывают необходимость ужесточения правил охраны прибрежной зоны моря, особенно районов, используемых для курортно-рекреационных целей. Опыт исследований Института биологии южных морей АН УССР и других учреждений (Минздрава УССР и СССР, ГЭСкомгидромета СССР, Академии наук СССР) показывают, что "Правила санитарной охраны прибрежных вод морей", введенные в 1975 г., несколько устарели, особенно в части определения "ширины района морского водопользования", приоритета использования рекреационных ресурсов перед другими видами использования ресурсов моря и др.

Уже в самих Правилах должны быть четко установлены значения ширины района морского водопользования для крупных курортов Черного моря. Опыт исследований по проблеме охраны прибрежной и шельфовой зоны Черного моря показывает, что для района Ялты, Евпатории, Сочин и других ширина зоны морского водопользования должна составлять не менее 4 км и в связи с расширением сети курортов, морских заповедников и др. может быть увеличена до 5-6 км. Для курортов Гурзуф, Алушта, Планерское, Анапа, Геленджик и др. ширина указанной зоны должна быть не менее 3 км с возможным расширением до 4 км.

Это должно относиться не только ко вновь строящимся сооружениям, но и ко всем выпускам сточных вод, построенным до 1974 г. и активно загрязняющим узкую прибрежную зону, т.е. необходима реконструкция всех старых выпусков.

И крайне необходимо, чтобы в Правилах было зафиксировано следующее положение:

При планировании строительства глубоководных и дальних выпусков сточных вод с комплексом очистных сооружений необходимо, чтобы проектные институты до разработки ТЭО и технорабочих проектов осуществили экологическое обоснование: а) допустимости сброса любых типов сточных и отработанных вод; б) местоположение сброса; в) обоснование параметров выпуска (удаленность от берега, глубина заложения и тип сбросных устройств, степень очистки).

Литература

1. Зац В.И., Степанов В.Н. Условия создания затопленного поля сточных вод в море и определение глубины заложения рассеивающего выпуска. - В кн.: Опыт теоретического и экспериментального исследования проблемы глубоководного сброса сточных вод на примере района Ялты. Киев: Изд. Наукова думка, 1973, с. 121-156.
2. Зац В.И., Кандыко В.В., Агарков А.К. Исследование оптимальной удаленности глубоководного выпуска для устранения загрязнения заданной прибрежной зоны. - В кн.: Опыт теоретического и экспериментального исследования проблемы глубоководного сброса сточных вод на примере района Ялты. Киев: Изд. Наукова думка, 1973, с. 121-156.
3. Зац В.И. К вопросу о регулировании интенсивности самоочищения морских вод от загрязнения. - В кн.: Материалы I Всесоюзн. симп. "Океаногр. аспекты охраны вод от химических загрязнений". М.: Наука, 1975, с. 52-56.
4. Зац В.И., Немировский М.С., Макеев Г.Н. и др. Некоторые результаты изучения затопленных струй в натуральных условиях. - В кн.: Материалы I Всес. симп. "Океаногр. аспекты охраны вод от химических загрязнений". М.: Наука, 1975, с. 57-65.
- ✓ 5. Зац В.И., Озмидов Р.В. Турбулентность и перемешивание в Черном море. - В кн.: Иссл. по динамике вод и гидрохимии Черного моря. Под ред. А.С.Саркисяна. М.: Изд. Коорд. Центра стран-членов СЭВ по проблеме "Мировой океан", 1978, ч. II, с. 237-291.
- ✓ 6. Зац В.И., Немировский М.С., Шульгина Е.Ф. и др. Комплексный подход к исследованию глубоководных выпусков сточных вод. Водные ресурсы, 1979, № 6, с. 181-191.
- ✓ 7. Зац В.И., Розман Л.Д. Районирование Черного моря по параметрам перемешивания вод. - В кн.: II Всесоюзн. съезд океанологов: Тез. докл. Севастополь: Изд. МГИ АН УССР, 1982, в. I, с. 105-106.

- ✓ 8. Кривошея В.Г., Плахин Е.А., Савин М.Т. Временная изменчивость течений в верхнем слое Черного моря. - Изв. АН СССР, ФАО, 1979, т. 15, № 10, с. II09-III4.
- ✓ 9. Розман Л.Д. Анизотропия диффузии дискретных поплавок в поверхностном слое моря. - Geod., Geophys. Veröff., 1979, R. 1V, N. 30, s. 78-83.
10. Fischer H.B., Brooks W.H. Technical aspects of waste disposal in the trough submarine outlets. - Jn.: Marine pollution and Sea life. Fishing News (Books) Ltd, London, 1972, p. 464-471.