

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
МОРСКОЙ, ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

Михайлов

МИХАЙЛОВ Валерий Иванович

УДК 551.4.

ПОВЕРХНОСТНЫЙ МИКРОСЛОЙ МИРОВОГО ОКЕАНА
(ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ И ФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ)

11.00.08 - океанология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора географических наук

Работа выполнена в Украинском

Работа яв



00778380 (X)

Официальные оппоненты: академик НАН Украины, Беляев В. И.

доктор географических наук,

Косарев А. Н.

доктор географических наук,

Шуйский Ю. Д.

Ведущая организация - Институт биологии южных морей

(Одесский филиал)

Защита состоится "25" ноября 1994 г. в 4 часов

на заседании специализированного совета 11.01.01 по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора географических наук при Морском гидрофизическом институте АН Украины (335000, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Адрес библиотеки тот же.

Автореферат разослан "11" окт 1994 г.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

Ученый секретарь
специализированного совета
доктор физ.-мат. наук

А. М. Суворов

I. АКТУАЛЬНОСТЬ И СТЕПЕНЬ ИЗУЧЕННОСТИ ТЕМАТИКИ ДИССЕРТАЦИИ

Основу взаимодействия океана с атмосферой составляют процессы обмена энергией и веществами, которые содержатся в смежных средах гидросферы и атмосферы.

Морская вода ограничена двумя самыми обширными на земле поверхностями раздела. Практически все основные процессы обмена энергией и веществами происходят на поверхностях раздела воздух - вода, вода - морское дно, а также при взаимодействии воды со взвешенными веществами и организмами.

Исключительное значение этих контактных зон, так называемых "зон сгущения жизни", неоднократно подчеркивалось В. И. Вернадским. Сложность и изменчивость процессов переноса, происходящих вблизи раздела поверхность океана и атмосферы тесно связаны с параметрами самой водной поверхности. Свойства воды в поле поверхностных сил существенно отличаются от свойств воды в объеме. Нарушения структуры воды могут сравнительно глубоко захватывать прилегающие слои раствора (0,01 - 0,1 см).

К настоящему времени наиболее полно изучены особенности физических параметров океанской воды у поверхности раздела с атмосферой - главным образом термические /Бортковский, 1979 г., Безбородов А. А., Еремеев В. Н., 1984 г., Шумилов и др. 1973 г./.

Вопросы биологии и бактериоэкологии, представляющие предмет новой области гидробиологии - нейстонологии и бактериоэкологии, обобщены достаточно полно /Зайцев, 1967 г., Израэль, Цыбань, 1989 г./.

Особенности химического состава океанских вод в поверхностном микрослое (ПМС) до настоящего времени не являлись предметом специального изучения /Балашов и др., 1974 г., Корж, 1971 г., Мак-Интайр, 1984 г./ . Еще далеко не завершенные в этом направлении из-

следования усложняются активными воздействиями на природные процессы на поверхности океана, которые происходят в результате загрязнения /Симонов и др., 1982 г./.

Совершенно неизученными в настоящее время являются исследования влияния загрязняющих веществ на основные физико-химические параметры поверхности вод Мирового океана.

Все сказанное определило необходимость в выборе темы диссертации "Поверхностный микрослой Мирового океана (гидрохимические и физические особенности)".

II. ЦЕЛИ И ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ, ПОЛОЖЕНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

Несмотря на длительную историю развития океанографической науки, к настоящему времени под поверхностью океана подразумевают слои различной толщины 0-1 м, 0-10 м и т.д.

В связи с этим, целью данной работы являлось исследование гидрохимических, физических особенностей поверхностного микрослоя (ПМС) вод (до 1 км) и распределения в нем основных загрязняющих веществ на примере Атлантического, Тихого, Индийского океанов и прилегающих к ним морях. Именно в этом слое величина поглощенной солнечной радиации, изменения теплосодержания и адвективных притоков тепла малы по сравнению с общим потоком через микрослой, характеризующейся ламинарным режимом движения.

Для достижения цели в работе необходимо было решить следующие основные задачи:

4) Исследовать особенности распределения основных характеристик гидрохимического состава ПМС в Атлантическом, Тихом, Индийском океанах и прилегающих к ним морях.

2) Изучить основные закономерности в распределении гидрохимических характеристик в ПМС в Мировом океане, и выявить причины, приводящие к таким особенностям.

3) Оценить запасы гидрохимических компонентов в ПМС в различных районах Мирового океана, с целью выявления наиболее продуктивных вод.

4) Исследовать особенности распределения и механизмы концентрирования в ПМС Мирового океана загрязняющих веществ.

5) Исследовать распределение физических параметров ПМС вод Мирового океана и установить закономерности влияния загрязняющих веществ на их изменчивость.

6) Исследовать общие и частные закономерности временной изменчивости физико-химических параметров в ПМС в различных океанах.

7) Исследовать формы существования гидрохимических компонентов и загрязняющих веществ, находящихся в ПМС Мирового океана. Определить основные пути миграции этих форм в Мировом океане.

8) Оценить современное состояние загрязнения ПМС различных районов Мирового океана.

III. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЕГО НАУЧНАЯ НОВИЗНА

Работа является практическим и теоретическим исследованием комплексных процессов, проходящих в ПМС Мирового океана. Это потребовало разработки в ряде случаев новых конструктивных схем исследования, что позволило получить ряд новых результатов.

Основные результаты исследования состоят в следующем:

а) Получены данные по распределению основных характеристик гидрохимического состава ПМС Атлантического, Тихого, Индийского

океанах и прилегающих к ним морям.

б) Основной характерной закономерностью в распределении солености в ПМС является значительное превышение ее по сравнению с нижележащими слоями, и в первую очередь с однометровым слоем.

Максимальное превышение солености в ПМС по сравнению с однометровым слоем наблюдается в Средиземном море до 3,50‰ и связано это с активным испарением.

Минимальное превышение солености в ПМС наблюдается в Северном море, что связано с выносом пресной воды больших рек на поверхность.

в) Установлено влияние гидрометеорологических факторов на изменчивость солености в ПМС. Атмосферные осадки значительно распресняют ПМС, однако в течение 1 - 14 часов в результате активного испарения соленость воды в ПМС возвращается к той, которая была зарегистрирована до атмосферных осадков. Умеренный ветер до 8-10 м/сек значительно не изменяет соленость ПМС во всех районах исследования.

г) В результате исследований установлено, что ПМС Мирового океана значительно обогащен биогенными веществами (фосфором, азотом, кремнием). Концентрирование неорганических форм биогенных веществ в ПМС контролируется процессами минерализации их, обменом между океаном и атмосферой. Средние запасы биогенных веществ равны средним взвешенным их значениям в слое 0-50 м в исследуемых океанах.

В результате исследований выявлено избирательное концентрирование биогенных веществ в ПМС. Максимальное концентрирование отмечается для фосфора.

д) Проведенные исследования распределения растворенного кислорода в ПМС во многих случаях отличается от классического в океа-

нических водах. Отличие заключается в уменьшении абсолютных концентраций его в ПМС по сравнению с нижележащими слоями и, в первую очередь, однометровым. Это зависит от наличия в ПМС в океанах максимального количества органических веществ антропогенного и естественного происхождения.

е) Выявлено, что углекислота в ПМС тесно связана и стремится к равновесию с углекислотой в атмосфере. Доказаны два типа изменчивости - углекислоты абиотический и биологический. Выявлено, что уменьшение РН в кислую сторону связано с окислением огромного количества органического вещества, находящегося здесь.

ж) Доказано, что в ПМС величины органического вещества на 1-2 порядка превышают их величины в нижележащих слоях. В географическом аспекте органическое вещество в ПМС значительно в районах, подверженных активному загрязнению.

з) Долгосрочные исследования показали, что ПМС всех океанов является концентратором суммы нефтяных углеводородов, которые находятся в двух формах - растворенной и взвешенной. Доказано, что растворенная часть нефтяных углеводородов активно участвует в миграции их в системе океан - атмосфера. ПМС - Морская вода, а взвешенная часть их активно участвует в образовании нефтяных комочков (torbals), которые затем длительное время находятся в экосистеме Мирового океана.

и) Изучена пространственно - временная изменчивость в распределении ароматических углеводородов в ПМС. Выявлены механизмы, приводящие к значительному концентрированию их в ПМС.

к) В результате долговременных исследований выявлено, что в ПМС концентрируются хлорорганические пестициды. Доказаны механизмы, приводящие к такому концентрированию их в ПМС, характерные для всех океанов. В наибольших величинах в ПМС зарегистрирован основ-

мой пестицид ДДТ. Хлорорганические пестициды в ПМС находятся в двух формах растворенной и взвешенной.

л) Исследованы основные черты пространственно-временной изменчивости во всех океанах в ПМС синтетических поверхностно-активных веществ. Во всех океанах выявлены характерные количественные связи между гидрометеорологическими, гидрологическими и гидрохимическими параметрами среды и распределением синтетических поверхностно-активных веществ в ПМС. Показано, что синтетические поверхностно-активные вещества находятся в ПМС в двух основных формах - растворенной и взвешенной. Взвешенная форма характерна для открытых акваторий океанов, тогда как растворенная форма встречается в импактных районах ПМС Мирового океана.

м) Выявлены основные физико-химические причины значительного концентрирования тяжелых металлов в ПМС и в первую очередь ртути. Определены формы содержания ртути в ПМС. Изучены гидрометеорологические аспекты формирования в ПМС Мирового океана очагов значительного концентрирования ртути в ПМС.

н) Изучено влияние основных загрязняющих веществ на физико-химические характеристики морской среды. Показано, что поверхностное натяжение ПМС Мирового океана подвержено значительному колебанию в пространстве и во времени.

Активное загрязнение ПМС в Атлантическом и Тихом океанах привело к значительному уменьшению поверхностного натяжения, тогда как для Индийского океана эта тенденция пока не характерна.

о) Обширные исследования в трех океанах: прилегающих к ним морях дают возможность с достаточной надежностью выявить общие и частные закономерности в распределении кинематической вязкости в ПМС. Установлена общая тенденция значительного увеличения кинема-

тической вязкости ПМС во всех океанах, по сравнению с однометровым слоем.

п) Выявлено, что значительное концентрирование основных загрязняющих веществ в ПМС в Мировом океане привело к понижению температуры замерзания воды. Показаны основные механизмы, приводящие к значительному понижению температуры замерзания в различных районах Мирового океана.

р) Проведенные исследования позволяют количественно оценить увеличение электрической проводимости в ПМС в зависимости от разнообразных гидрофизических и гидрометеорологических факторов, взвешенных веществ и основных загрязняющих веществ.

IV. УРОВЕНЬ РЕАЛИЗАЦИИ И ВНЕДРЕНИЕ НАУЧНЫХ РАЗРАБОТОК

Материалы диссертации значительно расширяют и углубляют знания об океане, а также дают новые представления о пространственно-временной изменчивости не исследованного ПМС вод Мирового океана.

Результаты долгопериодных комплексных исследований уже используются и будут в дальнейшем необходимы для расчета баланса и прогноза загрязнения ПМС вод Мирового океана в рамках Национальных и Международных программ.

- Открытое автором качественно новое явление значительного концентрирования в ПМС Мирового океана загрязняющих веществ уже используются и будут использованы в дальнейшем при определении стратегии исследований загрязнения вод Мирового океана, в том числе, и Черного моря и при выработке научно обоснованных рекомендаций для предотвращения дальнейшего загрязнения.

- Полученные в ходе исследования качественно новые данные могут быть использованы для изучения особенностей, скоростей и нап-

равления миграции гидрохимических компонентов и загрязняющих веществ в контактных зонах.

- Результаты исследований по определению биогенных и загрязняющих веществ, органики необходимы для оценки возможного изменения продуктивности вод Мирового океана.

- Результаты исследований также необходимы для расчета возможных изменений газо-влаго-энергообмена естественных процессов взаимодействия океана и атмосферы.

- Результаты исследований внедрены в ряд Международных и Национальных программ по исследованию вод Мирового океана.

В первую очередь это программы:

- Международная программа "Глобальное исследование загрязнения моря (ГИЗМ)";

- Международная программа "Глобального эксперимента по циркуляции Мирового океана (ДИГМА)";

- Международная программа МАРПОЛМОН -Н по исследованию распределения основных форм нефтяного загрязнения;

- Международная программа "Проведение комплексного мониторинга Черного и Средиземного моря Гидроблэк";

- Международная комплексная программа по антропогенному воздействию поверхности океана и глобального изменения климата (ЭКОМОНОК);

- Национальная программа Украины по исследованию и использованию ресурсов Азово-Черноморского бассейна, других районов Мирового океана на период до 2000 года.

Работа докладывалась и обсуждалась на седьмой конференции по химии моря (Москва, 1975 г.), на Всесоюзном совещании по гидрохимическим аспектам изучения и охраны окружающей среды (Новочеркасск, 1975 г.), на I, II, III съездах Советских океанологов

(Москва, 1977 г., Ялта, 1981 г., Ленинград, 1984 г.), на I Советско-Американском симпозиуме по химическому загрязнению морских вод (Одесса, 1977 г.), на Международных конференциях "Экологические проблемы Мирового океана" (Одесса, 1977 г., Терекол, 1979 г., Вашингтон, 1981 г.), на III семинаре МОК/ВМО по проблемам загрязнения морской среды нефтепродуктами (Нью-Дели, 1980 г.), Международном симпозиуме по комплексному глобальному мониторингу состояния атмосферы (Ташкент, 1986 г.), 29 Всесоюзном гидрохимическом совещании (Ростов-на-Дону, 1987 г.), Конференции по комплексному изучению природы Атлантического океана (Калининград, 1989 г.), Международных совещаниях по загрязнению морской среды АКОПС (Севастополь, 1991 г., 1992 г., Архангельск, 1993 г.), Международном совещании по проблемам Черного моря (Севастополь, 1993 г.).

Результаты исследований изложены в монографии, состоящей из введения, 6 глав, выводов. Список литературы включающий 200 наименований, 80 иностранных, на 276 стр.

Основные результаты опубликованы в нижеприведенном списке научных работ.

Для решения поставленных задач были использованы данные океанографических наблюдений за период 1970 - 1991 г.г. в Атлантическом, Тихом, Индийском океанах и прилегающих к ним морях (более 45000 комплексных океанографических станций), которые были получены автором во время экспедиционных рейсов научно-исследовательских судов погоды типа "Пассат". Для научного анализа также использовались данные о влажности, температуре приземного слоя атмосферы, скорости и направлении ветра, атмосферном давлении и многие другие материалы, полученные в тех же экспедициях, а также опубликованные в литературе.

Для исследования сезонной изменчивости изучаемых характерис-

ти в ПМС и слоях нижележащих проводились стандартные океанографические съемки. Съемки (или постоянно выполненные разрезы) в течение нескольких лет давали возможность изучить изменчивость многолетних значений отдельных ингредиентов. С целью изучения короткопериодной изменчивости выполнялись многочасовые и многосуточные станции (15 летняя станция "С" в Атлантическом океане и другие).

V. КОНКРЕТНЫЙ ЛИЧНЫЙ ВКЛАД ДИССЕРТАНТА В РАЗРАБОТКУ НАУЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ, ВЫНОСИМЫХ НА ЗАЩИТУ

В диссертации обобщены результаты исследований, выполненных лично автором и под его руководством в Одесском отделении Государственного океанографического института, ныне Украинского научного центра экологии моря с 1970 г. по настоящее время.

Основные натурные результаты, обобщение их, научные положения и выводы работы получены автором во время экспедиционных рейсов на НИСП Украинского научного центра экологии моря и продолжают накапливаться по Черному и Азовскому морям.

В результате долгопериодных комплексных исследований получены следующие научные выводы, которые выносятся на защиту.

В результате исследований впервые получена качественно новая физико-химическая информация о поверхностном микрослое Мирового океана.

- Пространственное распределение основных химических компонентов (солености, биогенных веществ, рН, растворенного в воде кислорода, окисляемости) в ПМС во всех исследуемых океанах и прилегающих к ним морях существенно отличается от распределения их в подповерхностном однометровом и нижележащих слоях. Короткопериодная и долгопериодная изменчивость основных химических компонентов

в ПМС Мирового океана имеет преимущественно сложный, но достаточно узкий диапазон изменений. Эти обстоятельства позволяют заключить, что поверхностный микрослой является устойчивым биотопом поверхности Мирового океана.

Выявлены частные особенности концентрирования в ПМС различных компонентов основного гидрохимического состава в различных океанах и, особенно, в прилегающих к ним морях. Определены основные причины, приводящие к особенностям концентрирования гидрохимических элементов в ПМС.

- Зарегистрировано, что ПМС Мирового океана является накопителем органического вещества, как естественного, так и антропогенного происхождения. Органическое вещество в ПМС находится в двух формах (взвешенной и растворенной). Растворенная форма характерна для районов, находящихся на шельфа, открытая часть Мирового океана концентрирует в большей мере взвешенную форму органического вещества в ПМС.

- Выявлено, что в ПМС Мирового океана происходит устойчивое концентрирование основных загрязняющих веществ (нефтяных и хлорированных углеводородов, хлорорганических пестицидов (ХОП), углеводородов (АУВ), синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ), тяжелых металлов, в первую очередь, ртути). Это явление - концентрирование практически всех загрязняющих веществ в ПМС предохраняет весь океан от глобального загрязнения.

Одной из главных причин концентрирования основных загрязняющих веществ в ПМС является, с одной стороны, физико-химические свойства самих загрязняющих веществ, а с другой стороны, что пути и канал их поступления приурочены к поверхности океана.

Выявлено, что концентрирование одних загрязняющих веществ (СПАВ) приводит к концентрированию здесь же НУ за счет эмульгиро-

вания их. В свою очередь АУВ растворяют в себе хлорорганические углеводороды (типа ДДТ и бифенилов).

Выявлена роль гидрометеорологических и синоптических факторов, поверхностных течений в распространении и перераспределении основных загрязняющих веществ в ПМС в различных акваториях Мирового океана. Основные загрязняющие вещества в ПМС Мирового океана находятся в двух основных формах - растворенной и взвешенной, их диапазон изменений по акваториям океанов и морей достаточно широко. Доказано, что растворенная форма географически приурочена к местам постоянного загрязнения, и активно участвует в миграции загрязняющих веществ из океана в атмосферу, тогда как взвешенная форма практически из активного геохимического цикла миграции загрязняющих веществ из среды в среду исключена.

- Показано, что выявленное мощное концентрирование в ПМС основных загрязняющих веществ, сказалось в подавляющем числе случаев на изменение консервативных физических параметров поверхности Мирового океана, как поверхностное натяжение, вязкость, соленость, температура замерзания, электропроводность.

- Поверхностное натяжение по акватории ПМС Мирового океана изменяется в достаточно широких пределах, от 50-71 н/м, в отличие от существующих сегодня представлений изменчивости в очень узких пределах 71-72 н/м. Общей причиной уменьшения поверхностного натяжения является нахождение в ПМС значительных концентраций загрязняющих веществ, и в первую очередь, НУ, СПАВ. Впервые показано, что на уменьшение поверхностного натяжения влияние оказывают гидродинамические факторы, особенно в зонах конвергенции. Наибольшее отклонение в сторону уменьшения поверхностного натяжения зарегистрированы во всей акватории Атлантического океана, наименьшее - в Индийском.

Показан достаточно широкий диапазон изменений кинематической вязкости в ПМС во всех исследуемых районах Мирового океана от 0,98 до 1,686 мм²/с. Выявлены по крайней мере три основные причины приводящие к увеличению кинематической вязкости в ПМС по сравнению с нижележащими слоями. Первая причина связана с уменьшением температуры ПМС за счет испарения. Вторая причина - обилие взвешенного органического и минерального материала, находящегося на поверхности вод Мирового океана. Третья - наличие огромного количества на поверхности естественных и антропогенных органических веществ.

- Впервые в мире исследовано распределение кинематической вязкости ПМС на огромных акваториях Мирового океана. Наибольшая кинематическая вязкость зарегистрирована в ПМС Тихого океана, наименьшая - в Индийском.

- Впервые зарегистрировано, исследовано и объяснено аномальное явление по температуре замерзания ПМС Мирового океана. Доказано, что температура замерзания воды ПМС значительно понижена по сравнению с однометровым слоем и расчетными величинами. Это аномальное явление связано с наличием в ПМС огромного количества загрязняющих и органических веществ, которые обволакивая центры кристаллизации, понижают температуру замерзания.

- Выявлено, что находящиеся в изобилии загрязняющие, биологически активные вещества, различного рода органика, находящаяся в растворенном и взвешенном состоянии изменяют в сторону увеличения электропроводность воды микрослоя Мирового океана.

Таким образом, проведенные впервые комплексные долгопериодные и широкомасштабные исследования убедительно показали существование поверхностного микрослоя Мирового океана, значительно отличающегося по физико-химическим и др. параметрам от нижележащих слоев.

• Методологической основой данных исследований является то, что

общепринятая в океанографической практике географическая среда представляет собой единую целостную систему закономерных комплексов, взаимосвязанных и взаимодействующих явлений и процессов, протекающих в атмосфере, гидросфере, литосфере и органическом мире.

Введение

На основе критического анализа современных представлений о процессах (биохимических), происходящих в воде вблизи поверхности раздела с атмосферой сформулирована научная гипотеза и поставлены основные и частные задачи и цель исследования.

Глава 1. Современное состояние исследований свойств морской воды в поверхностной контактной зоне

Из литературных обзоров и собственных исследований показано, что особое внимание уделяется термическим процессам на поверхности океана. Термические особенности ПМС моря рассматриваются как один из важнейших аспектов проблемы взаимодействия воды и воздуха.

Наибольший интерес вызывают особенности теплопередачи, в связи с чем в последнее время получил распространение термин "холодная пленка", до 1 мм. Экспериментально доказано, что она охраняется при скорости ветра до 10 м/с и волнении моря до 3 баллов. Наличие "пленки" на поверхности океана вынуждает считаться с необходимостью учета ее как при решении задач мелкомасштабного физического взаимодействия океан-атмосфера, так и при рассмотрении вопросов теплового баланса океана.

Таким образом, подводя итог сказанному, можно прийти к выводу, что физические процессы в пограничном слое моря (термические) исследованы удовлетворительно.

Вопросы биологии пограничного слоя моря и атмосферы, предс

ставляющие предмет новой области - нейстонологии, обобщены достаточно полно.

Важнейшая роль нейстона в море связана с размножением беспозвоночных и рыб, с развитием представителей планктона, нектона.

Кроме этого работами микробиологов доказано, что в этом приатмосферном тончайшем микрогоризонте моря (до 1 мм) или океана интенсивно развивается бактериальная жизнь.

Таким образом, морской нейстон и бактерионейстон благодаря целому ряду объективных обстоятельств являются настоящими узлами связи "между элементами биосферы", через них проходят потоки веществ и энергии.

Вопросы, касающиеся особенностей химического состава воды у границы раздела океан - атмосфера, до 1 мм до настоящего времени наименее изучены.

В настоящее время имеется незначительное количество работ связанное с изучением некоторых компонентов химического состава ПМС.

Из приведенного обзора видно, что систематического изучения химического состава ПМС океана по основным химическим компонентам практически не проводилось. Не проводились исследования, связанные с влиянием концентрирования загрязняющих веществ на основные физико-химические процессы.

Глава 2. Поверхностный микрослой и система пограничных слоев в океане

В этой главе рассматриваются вопросы терминологии, связанные с системным описанием океана на его внешних границах.

авторами предложена классификация переходных океанских слоев, которая базируется на общем определении Поверхностного Холодного

слоя (ПХС), включающем как межфазные ПХС различного масштаба, так и внутрифазные.

Предложены кратко основные принципы, учитываемые при составлении общей классификации переходных океанских слоев.

Общая классификация разделяется на ветви: физическая, химическая, биологическая, географическая и т. д. Каждая из ветвей разделяется на три типа ПХС в соответствии с агрегатным состоянием сопряженных фаз. В свою очередь каждый из типов разделяется по масштабу ПХС на два класса - микро- и макромасштабные.

К пограничным микрослоям мы относим слои, выделенные по свойствам, изменение которых не связано типом сопряженной фазы, хотя последняя определяет количественную сторону изменения.

Классы разделены на группы в соответствии с формой существования сопряженных фаз. В отличие от предыдущих уровней классификационной системы, общих для всех ветвей и имеющих только количественные различия, группы различны для каждого класса даже внутри одной ветви.

Глава 3. Методы отбора и анализа проб морских вод из поверхностного микрослоя (ПМС)

Проведенный анализ существующих в настоящее время методов отбора проб морской воды из ПМС, приводит к необходимости разработки метода отбора и устройства, которое в экспедиционных условиях позволяет отбирать с определенной корректностью слой наиболее приближенный к поверхности.

Сконструированный автором сеточный пробоотборник действует по принципу, который предложил Гаррет (1969 г.).

Пробоотборник состоит из капронового сита с площадью ячейки 1 мм² (толщина капроновой лески около 0,2 мм). Сито натянуто

на раму не подающую коррозии и не влияющую на физико-химический состав пробы воды.

В рамках отбора проб программы СЭВ "Мировой океан" проведена интеркалибрация и рекомендовано применение сеточного пробоотборника. Сеточный пробоотборник рекомендован МОК ЮНЕСКО в 1985 г. для всех стран, участвующих в Международных программах по исследованию Мирового океана.

Прежде, чем применять описание устройств для отбора проб воды из ПМС, были проведены экспериментальные работы по условиям отбора и оценке толщины ПМС из которого отбирается проба.

Исследования проводились в различных районах Атлантического океана, Северного, Балтийского и Черного морей. В период работ скорость ветра изменялась от 2 до 10 м/с, высота волны от 0,5 до 2,5 м. Атмосферные осадки в период наблюдений не выпадали.

Полученные в натуральных условиях результаты хорошо подтверждаются рассчитанными данными.

Проведенные эксперименты позволили сделать выводы:

1. Скорость ветра от 2 до 10 м/с и высота волны от 0,5 до 2,5 м не влияют на толщину микрослоя собираемого сеточными пробоотборниками.

2. Сеточные пробоотборники из капроновой сетки с площадью ячейки 1 мм² независимо от общей площади самого пробоотборника отбирают из ПМС толщиной около 220 мкм с коэффициентом вариации до 10%.

Глава 4. Особенности распределения основных характеристик химического состава в поверхностном микрослое

Для исследования особенностей распределения многочисленных компонентов естественного химического состава ПМС были выбраны со-

леность, биогенные вещества, растворенный в воде кислород, значение рН, окисляемость.

Соленость в ПМС во всех океанах и прилегающих морях значительно повышена по сравнению с нижележащими слоями воды (до 1 м), (Табл. 2).

Табл. 2.

Статистические характеристики солености в ПМС в различных районах Мирового океана

Океан	Диапазон превышения солености в ПМС по сравнению с одномет- ровым слоем в ‰	Среднее превышение в ‰	Коеф. множ. корреляции пяти переменных*
1. Атлантический	0,08 - 2,86	1,39	0,584
2. Тихий	0,10 - 1,86	1,02	0,720
3. Индийский	0,40 - 2,40	1,13	0,741
4. Северное море	0,10 - 1,20	0,54	0,500
5. Средиземное море	0,60 - 3,50	1,81	0,900
6. Карибское море	0,00 - 1,80	0,78	0,736

Сравнивая осолонение ПМС в различных океанах, выяснено, что диапазон его достаточно широк, неоднозначен и среднее значение велико. Во всех трех океанах отмечается одинаковый механизм осолонения ПМС по сравнению с однометровым слоем за счет интенсивности испарения. Это подтверждается высокими коэффициентами множественной корреляции пяти переменных* (разности солености ПМС и однометрового слоя, разности температуры воздуха и воды, относительной влажности, давления и скорости ветра), которые определяются преи-

мущественно интенсивностью испарения.

В этот механизм осолонения ПМС вносят коррективы районы, на которые действует речной вынос с континентов. Например в Северном море в связи с выносом пресной воды больших рек - Рейна, Мааса, Эльбы, Везера соленость в ПМС незначительно отличается от солености однометровойго слоя.

Осадки значительно распресняют ПМС, соленость его становится ниже, чем в однометровом слое. Распреснение зависит от объема и продолжительности осадков. Однако за короткий период времени, соленость возвращается к исходной. Различия возвращения солености к исходной в ПМС зависит от района исследований, разности температур поверхности воды и приводной атмосферы, влажности, облачности и других метеорологических факторов.

Исследованиями доказано, что наличие умеренного ветра над поверхностью (до 8 - 10 м/с) значительно не изменяет соленость в ПМС во всех районах исследования. Доказано, что устойчивость ПМС по солености в некоторых океанах может сохраняться при скорости ветра до 19 м/с, тогда как температурные градиенты ПМС и однометрового слоя исчезают при скорости ветра около 10 м/с. Объяснением этому может служить тот факт, что температура является менее консервативной характеристикой океанских вод, чем соленость.

Среднее годовое значение скорости ветра над поверхностью океана до 8 м/с по Краусу (1965 г.) доказывает, что ПМС является устойчивым явлением Мирового океана.

Биогенные вещества. В распределении фосфора в Мировом океане в ПМС наблюдается характерная тенденция - увеличение его концентрации по сравнению с однометровым слоем.

Запасы фосфора в ПМС во всех трех океанах равны средневзвешенным их значениям в слое 0 - 50 м.

Доказано, что центральное место при распределении фосфора по путям метаболического цикла занимают фито, зоопланктон и микроорганизмы, а также пузырьки газа на которых фосфор переносится на поверхность. Также обогащение ПМС фосфором происходит за счет атмосферы и в первую очередь атмосферных осадков. Ветер на распределение фосфора в ПМС влияет незначительно.

Азот. Количество нитратов и нитритов в ПМС Мирового океана значительно превышает величины их в однометровом слое. Запасы нитритного и нитратного азота в ПМС Мирового океана идентичны запасам их в слое 1-15 м. Оценочные расчеты показывают, что запасы нитритов и нитратов в ПМС только Атлантического океана составляют 5148 и 13442 тонн соответственно.

Абсолютная концентрация нитритного и нитратного азота зарегистрированы в Атлантическом океане 40,8 мкг/л и 166* мкг/л соответственно. Минимальное -- в Индийском океане 15,0 мкг/л и 11,9 мкг/л соответственно.

Кремний. Концентрации кремния в ПМС изменяются по акватории Мирового океана в широких пределах (от 10 до 200 мкг/л) и они на два порядка выше, чем подповерхностном однометровом слое.

Неравномерность распределения и концентрирования кремния в ПМС обусловлена в каждом конкретном случае различными факторами. Основные из них следующие:

1. Поступление кремния из атмосферы (районы шельфовых вод Африки, Южной и Северной Америки, Западной Европы).
2. Поступление кремния с речным стоком (шельфовые воды Южной Африки, Южной Америки, Северо-Западной Африки, Северное море).
3. Обогащение кремнием ПМС вод при подъеме с глубин (район апвеллингов).

Существенно и неоднородно увеличение концентраций кремния в

ПМС (от 10 до 50%) в зависимости от непосредственного действия атмосферных осадков.

Установлено, что умеренный ветер над поверхностью океана, как правило, почти не влияет на изменение концентраций кремния в ПМС (исключение составляют районы, которые расположены в непосредственной близости от берегов). Так, в частности, увеличение ветра с берегов Западной Африки (район Сахары) значительно увеличивает концентрацию кремния в ПМС. Это влияние прослеживается до 1000 км в сторону моря.

Максимальные концентрации кремния в ПМС встречаются в прибрежных районах Западной Африки в Атлантическом океане и Восточной Африке в Индийском океане.

В некоторых районах Тихого океана, лежащих далеко от берега наблюдается истощение кремния в ПМС. Средние абсолютные концентрации кремния в ПМС выше в Индийском океане по сравнению с Атлантическим.

Доказано избирательное концентрирование биогенов в ПМС по сравнению с подповерхностным однометровым слоем.

Максимальное концентрирование в ПМС по сравнению с однометровым слоем характерно для фосфора. Эта закономерность сохраняется для всех океанов.

Минимальное концентрирование в ПМС обнаруживается для кремния.

Нитритный и нитратный азот занимает промежуточное положение по абсолютному концентрированию в ПМС по сравнению с фосфором и кремнием. Это доказывает, что ПМС является высоко продуктивным, устойчивым слоем вод Мирового океана.

Растворенный кислород. Проведенные исследования распределения растворенного кислорода в ПМС во многих случаях отличаются от классического в океанских водах. Отличие заключается в уменьшении

абсолютных концентраций растворенного кислорода в ПМС по сравнению с нижележащими слоями и, в первую очередь, однометровым. (Табл. 3).

Количественная оценка связи значительного уменьшения содержания кислорода в ПМС с нахождением здесь же органических веществ естественного и в последнее время антропогенного происхождения.

Высокий коэффициент корреляции растворенного в ПМС кислорода, нефти, синтетических поверхностно-активных веществ и окисляемости (от 0,517 до 0,780) подтверждает механизм значительного расходования растворенного кислорода в ПМС на окисление загрязняющих веществ.

Получены общие закономерности в распределении растворенного кислорода в ПМС в исследуемых океанах.

Табл. 3.

Статистические характеристики распределения растворенного кислорода в ПМС в различных океанах

Океан	Среднее [арифметиче- ское, мл/л	Уменьшение концентрации кислорода в ПМС по сравнению с однометровым слоем, мл/л
1. Атлантический	4,69	0,52
2. Тихий	4,63	0,38
3. Индийский	4,35	0,85

Водородный показатель. В ПМС Мирового океана величина pH повсеместно меньше, чем в однометровом слое. Отличительной особенностью является то, что уменьшение pH в ПМС неоднородно и имеет

достаточно сложную картину изменчивости. В географическом плане наиболее значительные уменьшения pH в ПМС приурочены к шельфовым областям, что связано биологической активностью этих зон, а также значительным загрязнением, которое сдвигает величину pH в кислую сторону (Табл. 4).

Табл. 4.

Значение pH в ПМС в Мировом океане

Океан	Среднее значение pH	Уменьшение pH в ПМС по сравнению с однометровым слоем
1. Атлантический	8,10	0,12
2. Тихий	8,08	0,17
3. Индийский	8,03	0,15

Результаты исследований показали, что осадки значительно изменяют pH в ПМС. Изменение неоднозначно и зависит от многочисленных условий.

Исследования влияния ветра на уменьшение pH в ПМС не выявили четких однозначных результатов. Практически ветер до 6-8 м/с не влияет на изменение pH в ПМС.

Уменьшение pH в ПМС во многих районах Мирового океана связано с биологической активностью, продуктивностью, наличием речного стока, органики. Это хорошо подтверждается коэффициентами множественной корреляции между величинами pH и фосфатами, нитратами, нитритами, окисляемостью и щелочностью. Коэффициент этот изменяется от 0,51 до 0,64 от экватории вод Мирового океана.

Окисляемость. Наиболее характерной чертой в ее распределении является существенное (на 1-2 порядка) превышение абсолютных значений по сравнению с однометровым и нижележащими слоями (Табл. 5).

Количественное увеличение окисляемости в ПМС подтверждается значительным содержанием, в первую очередь, биогенных и загрязняющих веществ. Рассчитанный коэффициент множественной корреляции между величинами фосфатов, нитритов, растворенного кислорода pH и окисляемостью подтверждает это. Он изменяется по акватории Мирового океана от 0,51 до 0,73.

Исследование тенденции изменчивости окисляемости в ПМС от гидрометеорологических факторов четкой зависимости в открытых акваториях не выявили. Некоторая изменчивость наблюдается в прибрежных районах, в первую очередь, от атмосферных осадков и стока рек. Несмотря на некоторые географические особенности распределения окисляемости в ПМС выявлены идентичные механизмы, приводящие к значительному увеличению ее по сравнению с однометровым и нижележащими слоями.

Табл. 5.

Окисляемость в ПМС в Мировом океане (мгO_2 /л)

Океан	Средняя окисляемость, мгO_2 /л	Увеличение окисляемости в ПМС по сравнению с однометровым слоем, мгO_2 /л	Коэффициент корреляции по S-переменной
1. Атлантический	5,60	6,2	0,628
2. Тихий	6,29	8,7	0,670
3. Индийский	5,18	10,8	0,56
4. Северное море	8,10	11,2	0,73
5. Средиземное море	6,23	9,4	0,68
6. Норвежское море	4,82	5,2	0,52
7. Карибское море	7,02	6,7	0,58
8. Черное море	6,4 ⁰	8,2	0,64

Глава 5. Химическое загрязнение поверхностного микрослоя

В данной главе представлены результаты исследования особенностей распределения в ПМС наиболее распространенных загрязняющих веществ, вошедших в приоритетный список, определенной различными международными организациями. В этот список включены нефтяные углеводороды (НУ), хлорорганические пестициды (ХОП), тяжелые металлы (прежде всего ртуть) и поверхностно-активные вещества (СПАВ), ароматические углеводороды и т. д.

Нефтяные углеводороды (НУ). Выявлено, что концентрации НУ в ПМС Мирового океана изменяются в широких пределах (от 0,2 до 15,0 мг/л) и отличаются значительной неоднородностью в пространстве и во времени, что обусловлено наличием различных циркуляционных систем, фронтальных зон, неравномерным поступлением нефтепродуктов в разные зоны океана, скоростью их испарения и активностью биологического разложения.

Анализ многочисленных данных позволяют выявить общую характерную тенденцию о мощном концентрировании НУ в ПМС во всех без исключения районах Мирового океана. Такое концентрирование объясняется физико-химическими свойствами самих НУ и динамическими факторами при значительном постоянном поступлении их на поверхность. Выявлено как минимум 5 основных факторов увеличивающих НУ в ПМС:

- а) адсорбация;
- б) транспортировка НУ на поверхность пузырьками;
- в) взаимодействие с другими загрязняющими веществами;
- д) атмосферные осадки.

Нефтяные углеводороды в ПМС Мирового океана находятся в двух основных формах - растворенной и взвешенно. Причем в ПМС всегда присутствует растворенная форма, что подтверждает постоянно-действующее загрязнение.

Четкой зависимости влияния ветра на изменчивость в распределении НУ в ПМС не доказано.

Максимальные концентрации НУ в ПМС зарегистрированы в Атлантическом океане (более 59 предельно-допустимых концентраций). Средняя концентрация суммы НУ в ПМС в Атлантическом океане в 5-6 раз выше, чем в Тихом и в 4-5 раз выше, чем в Индийском (Табл. 6).

Табл. 6.

Концентрации суммы НУ (мг/л) в ПМС в различных районах
Мирового океана

Океан	Средняя концентра- ция	Диапазон изменений	Коэффициент концентрирования
1. Атлантический	1,00	0,00 - 5,40	20
2. Тихий	0,18	0,00 - 0,80	9
3. Индийский	0,22	0,00 - 1,28	22
4. Северное море	0,72	0,00 - 1,12	14
5. Карибское море	0,34	0,00 - 0,72	24

Это связано, по крайней мере, с двумя основными причинами. Первая заключается в том, Атлантический океан наиболее освоен, в нем самое активное судоходство. Вторая - на берегах Атлантики находятся наиболее развитые страны, вносящие ощутимый вклад в его загрязнение. Несмотря на различия в абсолютных концентрациях суммы НУ в ПМС в исследуемых океанах (Атлантическом, Тихом и Индийском) доказаны единые механизмы значительного концентрирования суммы НУ в ПМС, что подтверждается коэффициентами множественной корреляции (14 элементов).

Таким образом, выяснено, что ПМС Мирового океана является концентратором суммы НУ, что предохраняет сам океан от активного загрязнения.

Ароматические углеводороды (АУВ). Концентрации АУВ по акватории Мирового океана в ПМС изменяются в широких пределах от 0,0 до 12,0 мкг/л.

Характерной тенденцией для всех районов исследования является наличие АУВ в ПМС в концентрациях значительно больших, чем в однометровом слое и нижележащих слоях.

Экспериментально установлено, что бенз(а)пирен (БП) является одним из наиболее стабильных представителей в ПМС (до 60%) от суммы АУВ.

В географическом плане распределение АУВ в ПМС показывает, что это вещество является новообразованием для водной среды и не подчиняется законам пространственно-временной изменчивости характерной для гидрометеорологических компонентов и имеет случайный характер распределения в морской среде.

Исследование влияния атмосферных осадков на распределение АУВ в ПМС показало неоднозначность этого процесса. Показано, что в районах материков осадки в некоторых случаях увеличивают АУВ в ПМС (но не более 1-5%). В открытой акватории океана это влияние не обнаруживается.

Увеличение скорости ветра над открытым океаном ощутимо не уменьшает и не увеличивает концентрацию АУВ в ПМС. При скорости ветра 10 м/с с разрушением ПМС уменьшаются и величины АУВ.

Выявлено, что ПМС является поставщиком АУВ в приводную атмосферу, причем, скорость ветра, разность температур воды и воздуха увеличивают процесс перехода АУВ из ПМС в приводную атмосферу.

Во всех трех океанах выявлено значительное характерное концентрирование АУВ в ПМС по сравнению с одиметровым слоем. В Атлантическом океане средний коэффициент обогащения составляет 6,2; в Индийском океане - 9,5 и в Тихом - 7,2.

Таким образом, во всех океанах ПМС является концентратом АУВ, по сравнению с однометровым и нижележащими слоями (Табл. 7).

Табл. 7.

Концентрация АУВ (мкг/л) в ПМС в различных районах
Мирового океана

Океан	Средняя концентра- ция	Диапазон изменений	Коэффициент накопления АУВ в ПМС
1. Атлантический	1,35	0,00 - 12,50	6,2
2. Тихий	1,61	0,00 - 3,44	7,2
3. Индийский	0,73	0,08 - 5,40	9,5

Хлорорганические пестициды (ХОП). Концентрации ХОП в ПМС значительны и изменяются по акватории Мирового океана от 0 до 650 нг/л.

Общими характерными чертами в распределении ХОП в ПМС, являются:

- Значительное концентрирование их по сравнению с нижележащими слоями.
- Значительное превышение ДДТ (основного пестицида по отношению к его метаболитам) всегда более 1, тогда как в нижележащих слоях отношение менее единицы, что говорит о свежем загрязнении этим веществом ПМС Мирового океана.
- В географическом плане уменьшение ДДТ по отношению к его метаболитам происходит по мере удаления от берегов и шельфовых зон.
- Значительное концентрирование ХОП в ПМС обусловлено наличием здесь НУ. Во всех океанах между этими двумя веществами существует устойчивая связь, механизм которой заключается в том, что

ХОП практически не растворимые в воде, хорошо растворяются в НУ.

ХОП в ПМС во всех исследуемых океанах находятся в двух основных формах в вешенной и растворенной. Причем различные представители ХОП в ПМС в каждом конкретном случае находятся в различных формах и эти соотношения различны. Исследования количественных зависимостей между формами содержания НУ и ДДТ показали существование достаточно тесной связи.

При рассмотрении средних концентраций различных ХОП в ПМС Атлантического и Индийском океанах доказано, что Атлантический океан загрязнен больше: по ДДТ в 10,9 раза, по ДДЕ - 20,7 раз, по ДДД - 23,7 раза и по γ - ГХЦГ в 1460 раз.

В связи с различными абсолютными концентрациями ХОП в ПМС в исследуемых океанах отмечаются неоднозначные количественные зависимости их распределения с другими загрязняющими веществами. Количественные зависимости между ХОП и НУ в ПМС в Атлантическом океане выражены четко.

В Индийском океане из-за меньших абсолютных концентраций загрязняющих веществ в ПМС (ХОП и НУ) количественные зависимости между ними выражены нечетко.

Различны в океанах и количественные зависимости распределения ХОП и других загрязняющих веществ, гидрометеорологических и гидрохимических параметров. В Атлантическом океане коэффициенты множественной корреляции между этими величинами гораздо выше, чем в Индийском. В Тихом океане также сохраняется тенденция, отмеченная для других океанов, которая характеризуется наличием в ПМС концентраций ДДТ, на порядок превышающих концентрации его метаболитов. Этот факт еще раз подтверждает, что процесс разложения ХОП в ПМС протекает достаточно медленно и уже в настоящее время загрязнение этими веществами ПМС приобрело глобальный характер (Табл. 8).

Концентрации ХОП (нг/л) в ПМС в различных океанах

Вещество	Средняя концентрация	Диапазон изменений	Коэффициент множественной корреляции по Z переменным по тексту
Атлантический океан			
ДДТ	48,2	0,0 - 600,0	0,560
ДДД	13,9	0,0 - 52,3	
ДДЕ	12,3	0,0 - 71,8	
У-ГХЦГ	14,6	0,0 - 115,6	
Индийский океан			
ДДТ	4,40	0,0 - 5,65	0,317
ДДД	0,67	0,0 - 1,68	
ДДЕ	0,52	0,0 - 2,01	
У-ГХЦГ	0,01	0,0 - 0,05	
Тихий океан			
ДДТ	0,17	0,0 - 0,27	0,302
ДДД	0,03	0,0 - 0,05	
ДДЕ	0,02	0,0 - 0,03	
У-ГХЦГ	0,03	0,0 - 0,11	

Синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ).

Во всех исследуемых районах Мирового океана концентрация СПАВ в ПМС изменялась в широких пределах - от 48 до 1200 мкг/л. СПАВ в ПМС Мирового океана находятся в двух основных формах взвешенной и растворенной. Общей тенденцией в распределении форм содержания СПАВ в ПМС является нахождение их в большей мере в растворенной форме и объясняется это тем, что они принадлежат к "экологически жестким", загрязняющим веществам, менее активно испаряются в атмосферу и растворимость в воде их значительно выше.

Выпадающие на поверхность осадки различной интенсивности вносят вклад в изменчивость распределения СПАВ в ПМС.

В шельфовых областях, и при направлении ветра с берега концентрации СПАВ в ПМС после осадков увеличиваются значительно, от 20 до 50 мкг/л, тогда как в районе океанской станции "С" увеличение не превышает 12-18 мкг/л. Ветер над поверхностью со скоростью до 10 м/с существенно не влияет на распределение СПАВ в ПМС.

Интересны данные по степени концентрирования СПАВ в ПМС по отношению к однометровому слою в различных океанах, от 3,2 раза в Атлантическом океане до 6,1 раз в Тихом океане.

Во всех океанах выявлены характерные количественные связи между гидрометеорологическими, гидрохимическими параметрами и др. загрязняющими веществами со СПАВ.

Коэффициенты множественной корреляции всех этих параметров (всего 15) значимы и доказывают межфакторную связь концентрирования СПАВ в ПМС. Особую тревогу вызывают средние концентрации СПАВ в ПМС.

В двух океанах СПАВ в ПМС в настоящее время лежат в пределах ПДК. Это может повлиять на продуктивность океана, изменить некоторые элементы взаимодействия океана и атмосферы и физико-химические параметры поверхности (табл. 9).

Табл. 9.

Концентрация СПАВ (мкг/л) в ПМС в различных районах Мирового океан

Океан	Средняя концентрация	Диапазон изменений	Увеличение в ПМС по сравнению с однометров. слоем
1. Атлантический	114	26 - 900	3,2
2. Тихий	45	12 - 97	2,3
3. Индийский	97	65 - 134	6,1

Ртуть. Проведенные исследования показали характерные особенности пространственно-временной изменчивости и распределении ртути в ПМС и значительного ее концентрирования по сравнению с лежащими слоями воды.

Ртуть находится в ПМС в органической и неорганической формах. Выявлены основные механизмы, приводящие к образованию органической формы ртути. В некоторых случаях они составляют 100%.

Кроме того ртуть в ПМС находится во взвешенной и растворенной фракциях. Причем во взвешенной фракции находится в большей мере органическая форма. Тогда как к растворенной фракции приурочена минеральная форма ртути.

Выявлено два пути обогащения различными формами ртути ПМС: во-первых, поступление органической и неорганической форм ртути в процессе выноса их в ПМС на пузырьках воздуха, во-вторых, поступление ртути с мельчайшими частицами пыли из атмосферы. Этот механизм обогащает ПМС взвешенной фракции ртути.

Атмосферные осадки влияют неоднозначно на распределение ртути в ПМС.

В районах шельфовых областей материков, увеличение ртути за счет атмосферных осадков ощутимое.

Скорость ветра до 6-8 м/с практически не изменяет распределение ртути в ПМС Мирового океана. При увеличении скорости ветра до 12 м/с, когда происходит, с одной стороны, разрушение микрослоя, а с другой стороны - обильное пенообразование, в одном случае, количество ртути в ПМС увеличивается, в другом - уменьшается. Такая неравномерность, объясняется различным вкладом противоположных процессов: подъема ртути с пузырьками и разрушение самого ПМС (табл. 10).

Выяснено, что кроме самой ртути в ПМС происходит накопление

метилртути и диметилртути.

Различные соотношения между ртутью, метилртутью и диметилртутью связаны с различным временем на металлизацию.

Табл. 10.

Средняя концентрация соединений ртути в некоторых районах Атлантического и Тихого океанов и морях, (мкг/л)

Океан	Концентрация ртути		
	Сумма ртути	Неорганическая ртуть	Органическая ртуть
1. Атлантический	0,61	0,24	0,37
2. Тихий	0,15	0,05	0,10
3. Северное море	0,42	0,16	0,26
4. Средиземное море	0,31	0,18	0,12

Глава 6. Влияние загрязняющих веществ в поверхностном микрослое на некоторые физические характеристики морской воды

Поверхностное натяжение. Впервые проведены долгопериодные исследования в Мировом океане по пространственно-временной изменчивости поверхностного натяжения воды ПМС. Для этого автором разработан и применен прибор позволяющий измерять величину поверхностного натяжения воды в экспедиционных условиях.

В результате исследований выявлено, что поверхностное натяжение воды из ПМС значительно ниже существующих табличных, теоретических и ниже значений, полученных параллельно с одометрового слоя.

Неоднородность уменьшения поверхностного натяжения воды обусловлена в каждом конкретном случае рядом объективных причин и достаточно удовлетворительно согласуется с особенностями распределения других параметров и загрязнения поверхности вод Мирового океана.

Одним из главных механизмов уменьшения поверхностного натяжения ПМС является значительное загрязнение. Коэффициент множественной корреляции между поверхностным натяжением ПМС и 11 переменными (СПАВ, НУ, АУВ, растворенным кислородом, взвешенным веществом, фосфором, окисляемостью, соленостью, рН, температурой) показывает достаточно высокую взаимосвязь. Причем она изменяется от географического места исследования (от 0,542 до 0,987). Не выявлены зависимости во всех океанах между величинами поверхностного натяжения и соленостью (от 0,32 до 0,41).

Произошло значительное уменьшение величины поверхностного натяжения во всех исследуемых районах. Исключение составляет лишь Индийский океан) поверхностное натяжение воды из ПМС отклоняется в сторону уменьшения в среднем на 0,2%.

Значительное загрязнение поверхности привело к уменьшению поверхностного натяжения воды из ПМС в Средиземном море на 20,6%, в Карибском на 27,4%, в Атлантическом океане на 20% и в Тихом океане на 17% (табл. 11).

Табл. 11.

Поверхностное натяжение ПМС в различных океанах (мн/л)

Океан	Средняя величина поверхностного натяжения, мн/л	Уменьшение по по сравнению с однометровым слоем, %	Коэффициент множествен- ной коррел- ляции
1. Атлантический	59	19	0,987
2. Тихий	61	17	0,812
3. Индийский	72,9	0,2	0,421
4. Северное море	65	11	0,670
5. Средиземное море	57,9	20,6	0,681
6. Карибское море	53	27,4	0,607

Кинематическая вязкость. Проведенные, впервые, исследования в ПМС в различных районах Мирового океана показали достаточно широкий диапазон изменений кинематической вязкости, от 0,9857 до 1,6864 мм /с.

Выявлена характерная для всех океанов черта в распределении кинематической вязкости в ПМС. Это значительное увеличение абсолютных величин ее в ПМС по сравнению с однометровым слоем. (Табл. 12).

Значительная изменчивость кинематической вязкости в ПМС связана с факторами изменчивости гидрохимических, гидрометеорологических параметров ПМС, а также наличием значительного количества загрязняющих веществ, которые распределяются в микрослое неоднородно.

Наибольшая изменчивость кинематической вязкости в ПМС наблюдается в районах, лежащих в непосредственной близости от берегов. Это связано в одном случае с наличием достаточного количества взвешенного материала минерального происхождения (район Сахара).

В другом случае с выносом на поверхность за счет апвеллинга биогенных веществ (район Африки), вязкость увеличивается в этом районе от 18 до 23%.

В третьем случае за счет нахождения в ПМС значительных концентраций загрязняющих веществ.

В четвертом случае за счет пониженных температур поверхности воды, что хорошо согласуется с теорией вязкости (зависимость вязкости от температуры).

Для объективной оценки увеличения кинематической вязкости в ПМС были рассчитаны коэффициенты множественной корреляции по 3 переменным (СПАВ, ХОП, НУ, растворенного кислорода, окисляемости, солености, температуры воды и воздуха). Коэффициент корреляции по

акватории вод Мирового океана изменяется от 0,518 до 0,999.

Исследования, проведенные в различные сезоны (лето, зима) показывают, что значения кинематической вязкости в ПМС изменяются незначительно в сторону уменьшения в зимний период.

В межгодовой изменчивости в распределении кинематической вязкости в ПМС в открытой акватории Мирового океана не произошло заметных изменений.

В диапазоне скорости ветра от 1 до 4 м/с кинематическая вязкость в ПМС изменяется незначительно. При увеличении скорости ветра до 6 м/с, когда начинается пенообразование, кинематическая вязкость в ПМС увеличивается. Значительное количество органического вещества, находящегося в пене увеличивает вязкость.

Атмосферные осадки неоднозначно изменяют кинематическую вязкость в ПМС. Доказано, что распределяющее и разбавляющее действие на ПМС атмосферных осадков уменьшает ее.

Табл. 12.

Кинематическая вязкость в ПМС в различных районах Мирового океана (мм /с)

Океан	Диапазон изменений	Средняя величина вязкости	Среднее увеличение вязкости ПМС по сравнению с однометровым слоем в %
1. Атлантический	0,970 - 1,686	1,283	22,1
2. Тихий	0,810 - 1,800	1,520	24,0
3. Индийский	0,981 - 1,038	1,006	0,6
3. Средиземное море	0,847 - 1,670	1,224	20,3
4. Карибское море	0,925 - 1,714	1,224	28,7
5. Северное море	0,316 - 1,695	1,306	8,3

Проведенные исследования показывают значительную неоднородность в распределении кинематической вязкости в ПМС и ее значительного увеличения по сравнению с однометровым слоем.

Исследование температуры замерзания воды в ПМС. В результате исследований выявлены аномальные температуры замерзания воды из ПМС, которые существенно отличаются от рассчитанных температур замерзания и от температур замерзания воды из однометрового и ниже лежащих слоев воды.

Точка замерзания воды из ПМС меняется в зависимости от географического расположения океанографических станций и практически не связана с некоторой изменчивостью величин солености.

Доказано, что наименьшая температура замерзания воды из ПМС (-10 С) отмечена в районах океана, где зарегистрированы значительные концентрации загрязняющих веществ. В районах, где концентрации загрязняющих веществ незначительны температура замерзания воды из ПМС составляет (-4 -5 С).

Показаны механизмы, приводящие к значительному уменьшению температуры воды из ПМС. Загрязняющие и органические вещества обволакивая центры кристаллизации уменьшают температуру замерзания воды в ПМС. Кроме того, сами загрязняющие вещества имеют гораздо более низкие температуры замерзания, чем морская вода (нефть, ХОП и СПАВ имеют низкие эвтектические температуры).

Наибольшее влияние на уменьшение температуры замерзаний оказывают нефтяные углеводороды, СПАВ и органические вещества.

Показано, что механизмов, приводящих к понижению температуры в слоях 1-10 метров за счет загрязняющих веществ и органики не обнаружено.

Таким образом в настоящее время можно считать доказанным влияние основных загрязняющих веществ на температуру замерзания воды из ПМС.

Влияние загрязнения, взвешенных веществ на изменение солености в ПМС.

В результате долгопериодных исследований выявлено, что взвешенные вещества, различные органические вещества антропогенного (НУ, СПАВ) и естественного происхождения влияют на изменчивость электрической проводимости воды из ПМС, в отличие от однометрового и нижележащих слоев.

Количественно оценено увеличение электрической проводимости в ПМС в зависимости от разнообразных гидрофизических и гидрометеорологических факторов, взвешенных и загрязняющих веществ.

Количественные оценки увеличения солености в ПМС в Атлантическом океане на долю взвешенных веществ приходится 21,45 общего повышения электрической проводимости по сравнению с однометровым слоем; на долю растворенных углеводов нефтяного происхождения и СПАВ более 16,6%; на долю испарения - 63,7%.

В Тихом океане влияние взвешенных веществ на увеличение электрической проводимости в ПМС, по сравнению с однометровым слоем составляет 8,7%, углеводов нефтяного типа и СПАВ - 7,5%. Остальное увеличение электрической проводимости в ПМС (83,8%) происходит за счет испарения.

Проведенные исследования показали многофакторность процессов увеличения электрической проводимости в ПМС по сравнению с однометровым слоем. Наряду с доказанной выше причиной увеличения электрической проводимости в ПМС - испарением - выявлено влияние взвешенных веществ и основных загрязняющих веществ.

ВЫВОДЫ

Проведенные долгопериодные исследования физико-химического состава ПМС Мирового океана позволяют сделать основные выводы.

1. Пространственное распределение основных компонентов гидрохимического состава во всех исследуемых районах Мирового океана

существенно отличается от распределения их в подповерхностном од-
нометровом и нижележащих слоях.

Короткопериодная и долгопериодная изменчивость основных хими-
ческих компонентов в ПМС Мирового океана имеет преимущественно
сложный, но достаточно узкий диапазон. Это обстоятельство позволя-
ет заключить, что микрослой является устойчивым образованием по-
верхности Мирового океана.

Выявлено избирательное концентрирование в ПМС компонентов ос-
новного гидрохимического состава в различных океанах.

2. Происходит устойчивое концентрирование биогенных веществ.
Запасы биогенных веществ ПМС идентичны запасам таковых в 1-50 мет-
ровом слое вод. Хотя существуют различия запасов их в исследуемых
районах. На основании этого, за счет включения ПМС, дополнены ти-
пичные кривые вертикального распределения гидрохимических компо-
нентов для вод Мирового океана.

3. Выявлено, что в ПМС Мирового океана происходит устойчивое
концентрирование основных загрязняющих веществ. Одной из главных
причин концентрирования основных загрязняющих веществ в ПМС явля-
ется физико-химические свойства самих загрязняющих веществ, а так-
же тот факт, что пути и каналы их поступления приурочены к поверх-
ности океана. Выявлено также, что концентрирование здесь же НУ за
счет их эмульгирования. В свою очередь НУ растворяют в себе хлори-
рованные углеводороды (типа ДДТ и бифинилов).

4. Выявлена роль ветра, течений и других факторов в распрост-
ранении и перераспределении основных загрязняющих веществ в ПМС в
различных акваториях Мирового океана.

5. Показано, что загрязняющие вещества в ПМС Мирового океана
находятся в двух основных формах - растворенной и взвешенной.
Растворенная форма активно участвует в миграции загрязняющи ве-

ществ в системе океан - атмосфера, тогда как взвешенная форма по-
полняет толщу воды этими веществами.

6. Доказано, что явление концентрирования основных загрязняю-
щих веществ в ПМС, где происходит их активная трансформация пре-
дотхраняет весь океан от глобального загрязнения

7. Показано, что наиболее загрязнен ПМС Атлантического океа-
на, что объясняется активным судоходством и расположением развитых
стран на его берегах.

Наименее загрязнен ПМС Индийского океана. В ПМС Индийского
океана не зарегистрированы бифинилы.

8. Доказано, что мощное концентрирование в ПМС Мирового океана
загрязняющих веществ уже привели к изменению консервативных физи-
ко-химических параметров поверхности вод Мирового океана.

Показано различное действие на физические параметры поверх-
ности накопление основных загрязняющих веществ. Определены основ-
ные факторы, влияющие на уменьшение поверхностного натяжения ПМС
Мирового океана. Общей причиной уменьшения поверхностного натяже-
ния является концентрирование в ПМС загрязняющих веществ и некото-
рые гидродинамические факторы, особенно в зонах конвергенции.

9. Выявлены три основные причины, приводящие к увеличению ки-
нематической вязкости в ПМС, по сравнению с нижележащими слоями.
Первая причина связана с уменьшением температуры ПМС за счет испа-
рения. Вторая причина - обилие взвешенного органического и мине-
рального материала. Третья - наличие огромного количества основных
загрязняющих веществ. Изучена пространственно-временная изменчи-
вость вязкости ПМС Мирового океана.

10. Зарегистрировано и объяснено аномальное явление по темпе-
ратуре замерзания ПМС. Явление уменьшения температуры замерзания
ПМС связано с наличием в ПМС огромного количества загрязняющих и

органических веществ, которые обволакивают центры кристаллизации.

1'. Выявлено и доказано, что находящиеся в ПМС загрязняющие вещества, биологически активные вещества, различного рода органика в растворенном и взвешенном состояниях изменяют в сторону увеличения электрическую проводимость воды микрослоя.

Проведенные исследования убедительно доказали существование поверхностного микрослоя Мирового океана значительно отличающегося по физико-химическим параметра от нижележащих слоев и играющего огромную роль в процессах обмена с атмосферой, а также предохраняющего океан от глобального загрязнения.

**Основные результаты диссертации опубликованы в следующих
основных работах**

1. Практическая экология морских регионов Черного моря. - Наукова Думка, 1990, Киев, 251 с. (под ред. В.П. Кеонджяна, в соавторстве с А.М. Кудиным, Ю.В. Терехиным и др.).
2. Поверхностный микрослой Мирового океана. - Книга. Гидрометеонадат, 1992, с. 276.
3. Влияние загрязнения поверхностного слоя на тепло-, газо- и влагообмен океана с атмосферой, - Книга. Т.З., О., Гидрометеонадат, 1985, 127 с. (Под ред. Э.К. Бютнер, А.С. Дубовой).
4. Динамика и прогноз загрязнения океанических вод. - Книга. Т.1, Л., Гидрометеонадат, 1985, 144 с. (Под ред. А.И. Симонова).
5. К изучению некоторых компонентов химического состава воды на границе океан-атмосфера. - Океанология, 1974, том XIV, вып. 5, с. 817-821, (в соавторстве с А.И. Балашовым, Ю.П. Зайцевым, Г.И. Коганом).
6. Некоторые результаты определения веществ антропогенного происхождения на границе океан-атмосфера в субтропическом районе Се-

- верной Атлантики. - ВНИИГМИ-МЦД, Обнинск, вып. 1(1), 1977, с.1-7.
- О накоплении нефтепродуктов близ границы океан-атмосфера в Атлантическом океане. - ВНИИГМИ-МЦД, Обнинск, вып.1 (N 1), 1977, с. 7-11.
7. Результаты определения углеводов нефтяного типа в пограничных слоях моря и атмосферы (на примере Средиземного моря). - ВНИИГМИ-МЦД, Обнинск, вып.1 (4), 1978, с.1-9.
8. Особенности распределения хлорорганических пестицидов близ границы раздела "океан-атмосфера" в северо-восточной части Атлантического океана. - РЧИИГМИ-МЦД, Обнинск, вып.1(4), 1978, с.9-17.
9. Некоторые причины увеличения солености в поверхностном микрослое Северной Атлантики. - Труды ГОИН, 1979, в.145, с.9-10.
10. Химическое загрязнение тонкого поверхностного слоя Мирового океана. - Труды ГОИН, 1979, в.149, с.5-17 (в соавторстве с А.И.Симоновым).
11. Изменение поверхностного натяжения воды в поверхностном микрослое под влиянием синтетических поверхностно-активных веществ (на примере Северной Атлантики). - Труды ГОИН, 1979, в.149, с.17-21 (в соавторстве с А.Н.Катыхиным).
12. Study of Methods of Sampling Sea Water from the Ocean's Surface Microlayer and Results Determination of Oil in Various Regions of the Atlantic Ocean. - First American-Soviet Symposium on Chemical Pollution of the Marine Environment, 1978, p.92-102 (co-author S.G. Oradovskiy).
13. Результаты определения нефтяных углеводов и хлорорганических пестицидов в тонком поверхностном микрослое Средиземного моря. - Океанология, 1979, т. XIX, вып. 5, с.819-824.
14. Современное состояние исследований морской воды у границы раздела с атмосферой. - Обзор, Обнинск 1981, вып.3, 56 с. (в соав-

- торстве с А. И. Симоновым).
15. Влияние загрязняющих веществ на некоторые физические параметры поверхности морской воды. - Человек и биосфера, 1982, Изд-во МГУ, в. 7, с. 32-41 (в соавторстве с А. И. Симоновым, А. Н. Катыхиным).
 16. Chemical Pollution of the Film layer of the Pacific Ocean. - Second US\USSR Symposium Biological Aspects of Pollutant Effect on Marine Organisms, 1982, 20 p. (co-author A. I. Simonov).
 17. Особенности распределения фосфора в поверхностном микрослое морской воды (на примере Северной Атлантики). - Труды ГОИН, 1983, вып. 64, с. 115-118.
 18. Нефтяные углеводороды и границы океан-атмосфера (на примере северо-восточной Атлантики). - Труды ГОИН, 1983, в. 170, с. 89-94 (в соавторстве с Ю. В. Зарубиным).
 19. Формы содержания основных загрязняющих веществ в воде у границы раздела с атмосферой. - Труды ГОИН, 1986, в. 177, с. 73-81 (В соавторстве с А. К. Симоновым).
 20. Температура замерзания воды в поверхностном микрослое (на примере Северной Атлантики). - Труды ГОИН, 1986, в. 177, с. 87-93 (в соавторстве с Б. С. Назаренко).
 21. Поверхностное натяжение в пробах морской воды из поверхностного микрослоя и причины его изменения. - Труды ГОИН, 1986, в. 177, с. 93-98 (в соавторстве с Н. Е. Павленко).
 22. Исследование состояния химического загрязнения энергоактивных зон Северной Атлантики (в рамках программы "Разрез"). - Труды ГОИН, 1987, в. 171, с. 5-15 (в соавторстве с А. И. Симоновым, И. Г. Орловой).
 23. Деструкция синтетических поверхностно-активных веществ в поверхностном микрослое океана. - Труды ГОИН, 1987, в. 171,

- с. 22-28 (в соавторстве с В. А. Воробьевым).
24. Определение поверхностного натяжения методом капиллярного поднятия в судовых условиях. - Труды ГОИН, 1987, в. 171, с. 71-77 (в соавторстве с В. А. Михайловым, Е. Д. Подгурской).
25. Мониторинг химического загрязнения Северной Атлантики. - Международный симпозиум по комплексному глобальному мониторингу состояния атмосферы. 1986, Ташкент, с. 100-113 (в соавторстве с А. И. Симоновым, И. Г. Орловой, Е. А. Собченко).
26. Marine Surface Microlayer petroleum pollution in the North Atlantic. - Third JOC/WMO Workshop on Marine Pollution, Monitoring, organized with the Support of VNEP NEW Delhi, India. 1980, february (co-author A. I. Simonov).
27. Химические свойства воды из поверхностного микрослоя в юго-западной части Индийского океана. - Труды ГОИН, вып. 182, 1990, Москва, с. 84-94 (в соавторстве с Н. Е. Павленко).
28. Взвешенное вещество водч Северной Атлантики на границе с атмосферой. - Труды ГОИН, вып. 182, 1990, Москва, с. 94-100.
29. Физико-химическое состояние поверхности вод Мирового океана в условиях антропогенной нагрузки. - I Советско-американский симпозиум, (в соавторстве с А. И. Симоновым). Из-во с. 47-52.
30. Обзор состояния химического загрязнения отдельных районов Мирового океана за период 1983-85 гг. - Москва, 1987, Гидрометеиздат, 96 с. (под ред. А. И. Симонова, в соавторстве с И. Г. Орловой).
31. Поверхностный микрослой и система пограничных слоев в океане. Труды ГОИН, вып. 186, 1990, Москва, с. 6-14 (в соавторстве с Н. Е. Павленко).
- 32. Исследование пространственно-временной изменчивости величины

- поверхностного натяжения в Ньюфаундлендской энергоактивной зоне Северной Атлантики. - Труды ГОИН, вып. 186, 1990, с. 14-21. (в соавторстве с Б. О. Трескуновым).
33. Кинематическая вязкость морских вод. - Труды ГОИН, вып. 186, 1990, Москва, с. 21-29 (в соавторстве с В. Е. Соколовым).
34. Исследование фракционирования ионов в процессе образования частиц аэрозоля. - Труды ГОИН, вып. 186, 1990, Москва, с. 35-41 (в соавторстве с В. А. Дулейко, В. И. Мединцом).
35. Измерение поверхностного натяжения проб морской воды в судовых условиях (Методика и результаты измерений). - Труды ГОИН, вып. 182, 1990, Москва, с. 84-94 (в соавторстве с Н. Е. Навленко).
36. Загрязнение нефтяными углеводородами поверхностного микрослоя вод Мирового океана. - Океанографические аспекты охраны морей и океанов от химического загрязнения, 1990, Москва, с. 184-186 (в соавторстве с А. И. Симоновым).
38. Изменчивость поверхностного натяжения вод Мирового океана. - Океанографические аспекты охраны морей и океанов от химического загрязнения, 1990, Москва, с. 246-250.
39. Результаты и методология долгопериодного мониторинга антропогенного загрязнения вод Северной Атлантики. - Киев, 1990 (в соавторстве с И. Г. Орловой, В. А. Михайловым, Р. И. Лисовским).
40. О качестве морской воды (на примере экологических исследований северо-западной части Черного моря). - Стандарты и качество, 1991, Москва, с. 47-52 (в соавторстве с Л. А. Виноградской, Е. А. Собченко, З. Б. Сейфуллиным).
41. Оценка скорости химического разрушения атмосферного озона при его стоке на морскую поверхность. - Труды ГОИН, вып. 194, 1990, Москва, с. 15-17 (в соавторстве с В. М. Бажановым).
42. Изменчивость физико-химических параметров поверхности вод Миро-

- вого под воздействием загрязнения. - Труды ГОИН, вып.194, 1990, Москва, с.17-22.
43. Особенности распределения солености в поверхностном микрослое вод Мирового океана. - Труды ГОИН, вып.194, 1990, Москва, с. 22-27.
44. Поверхностно-активные вещества на границе океан-атмосфера в Северной Атлантике. Труды ГОИН, вып.202, 1992, Москва, с. 33-39.
45. Обзор состояния химического загрязнения вод отдельных районов Мирового океана. 1986-1988 гг. - Обзор под ред. Симонова А.И., Орловой И.Г., 1991, 107 с. (в соавторстве с В.А. Михайловым, И.Г. Орловой).
46. Operation of the OWS "Charlie". - Draft Final Report third Session 25-27, Geneva, p.10.
47. Позиция Минприроды в отношении источников загрязнения Черного моря, расположенных на суше. - Труды ОКОПС, апрель, 1992, (в соавторстве с В.И. Пасадским).
48. Науковий коментар до національної програми досліджень та використання ресурсів Азово-Чорноморського басейну, інших районів Світового океану на період до 2000 року. Київ, 1994 р., с.316, під ред. О.А. Шипцова.

АННОТАЦІЯ

МИХАЙЛОВ В. П.

Поверхностный микрослой Мирового океана
(Гидрохимические и физические особенности)
Диссертация на соискание ученой степени доктора географических наук по специальности 11.00.08 - океанология: Морской гидрофизический институт, НАН Украины, Севастополь, 1994 г.

Защищается девятью научными работами, которые содержат теоретические и практические исследования долгопериодной изменчивости физико-химического состава поверхностного микрослоя различных районов Мирового океана, который существенно отличается от физико-химического режима слоев нижележащих. Обобщены результаты состояния загрязнения основными загрязняющими веществами ПМС. Доказано, что в поверхностном микрослое Мирового океана проходят стадии концентрации практически все загрязняющие вещества, активно разрушаясь здесь. ПМС предохраняет толщу океана от глобального загрязнения.

Установлено, что высокий уровень загрязнения поверхностного микрослоя в водах Мирового океана в подавляющем ряде случаев привел к изменению консервативных физических параметров поверхности (поверхностного натяжения, вязкости, температуры замерзания, электропроводности).

SYNOPSIS

Valeri I. Mikhailov

WORLD OCEAN MICROLAYER
(Hydrochemical and Physical Peculiarities)

Thesis Submitted For a Degree of Geographical Sciences Doctor on the Speciality 11.00.08 - Oceanology: Marine Hydrophysical Institute, National Academy of Sciences of Ukraine, Sevastopol, 1994.

The 9 scientific works are being defended containing theoretical and practical research into the long-period changeability of the surface microlayer (SML) physical & chemical content in different regions of the World Ocean, that differs significantly from the physical & chemical regime of lower layers. The results of the World Ocean SML water pollution by the main pollutants are generalized. The evidence are presented that practically all the pollutants pass the stage of concentration in the World Ocean SML. The pollutants are being actively destroyed in the SML which preserves the depth of the ocean water from global pollution.

It was established that the high level of the World Ocean SML pollution in most cases has led to the surface conservative physical parameters' changes (surface tension, viscosity, freezing temperature, electrical conductivity).

Ключові слова: Світовий океан, поверхневий мікросар, солоність, біогенні речовини, нафтові вуглеводні, хлороорганічні пестициди, поліароматичні вуглеводні, синтетичні поверхнево-активні речовини, поверхневий натяг, в'язкість, температура замерзання, електропровідність.

454484

AB 31.140

AB 31.140