

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК**  
**ИНСТИТУТ ОКЕАНОЛОГИИ им. П.П. ШИРШОВА**

**В.И. АВИЛОВ      С.Д. АВИЛОВА**

**ИЗУЧЕНИЕ ЭКОСИСТЕМ**  
**В АКВАГЕОЭКОЛОГИИ**

Издательство «Прима-Пресс»  
Москва 2010

УДК 551.35; 504.42; 550.4; 543.454  
ББК 26.38  
Ш 77

**В.И. Авилов, С.Д. Авилова.** Изучение экосистем в аквагеоэкологии. – М.: Издательство «Прима-Пресс», 2010. – 184 с.

Вступление человечества в новый постиндустриальный цивилизационный цикл развития выдвигает в число приоритетных объединительные тенденции в науке, синтез научных направлений для очередного витка в познании процессов и явлений в естествознании. Одновременное применение достижений геологии и экологии для изучения гидросферы, чем занимается аквагеоэкология, определила методологию исследования водных экосистем с учетом масштабных всесторонних взаимодействий. Жизнь проявляется и развивается в экосистеме. Этот экосистемный подход, учитывающий сумму взаимосвязей в водном объекте и с внешней средой, привел авторов к открытию неизвестных ранее природных явлений, обусловленных проявлением различных форм жизни.

Книга думается, будет интересна для геоэкологов, океанологов, естествоиспытателей и доступна также широкому кругу читателей.

Ответственный редактор  
**Авилов Владимир Игоревич**

Рецензенты:

**Никитин Альберт Николаевич** – доктор технических наук, профессор, член Президиума РАЕН, председатель секции «Ноосферные знания и технологии», академик РАЕН и академик космонавтики им. К.Э. Циолковского, лауреат Государственной премии РФ.

**Снакин Валерий Викторович** – доктор биологических наук, профессор, академик РАЕН, академик РЭА, заведующий сектором музея землеведения МГУ им. М.В. Ломоносова.

ISBN 5-87413-227-9

© В.И. Авилов, С.Д. Авилова, 2010  
© Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 2010

## ВВЕДЕНИЕ

Экосистему как природный объект, начиная от Вселенной, изучали с давних пор, можно сказать, как возникла наука. Только тогда экосистемы называли по разному, в зависимости от того, кто и как её изучал, присваивали им специфические названия: ландшафт, биотоп, биосфера и тому подобное. Каждое научное направление внесло свою лепту в исследование экосистем, создавая современную методологию. Термин экосистема появился в связи с необходимостью более четкого определения природных объектов, где преобладает функция жизни в присутствующих там процессах и явлениях.

Понятие экосистема динамично развивалось параллельно с успехами биохимии, генетики, медицины и других наук, раскрывающими всё новые стороны существования и проявления жизни. Авторы на базе собственных многолетних исследований в океанологии и широкого обобщения полученного ими научного материала раскрыли исторические аспекты формирования современных представлений об экосистеме, способах и методах её исследования. Установили тенденцию использования одновременно методов геологии и экологии при изучении природных взаимодействий и взаимосвязей в водных экосистемах, что приблизило авторов к истине в интерпретации полученных данных.

В основу выводов и представлений, приведенных в книге, положен собственный колоссальный фактический материал по результатам измерения одновременно комплекса концентраций газобиогеохимических показателей (более 30) в акваториях Мирового океана за почти 40 лет натурных наблюдений в более 30 морских экспедициях. Результаты исследований по теме представлены в около 300-х публикациях. В этих публикациях, а также в отчётах по каждой экспедиции представлен весь первичный (виды работ на станциях и на ходу судна, количество и местоположение отобранных проб, тип пробоотборника, методика анализов и подготовки проб, показания аналитических приборов, способ обработки измерения) и фактический (концентрация и распределение изученных компонентов) материал. В публикациях проанализированы и обобщены взаимодействия и взаимосвязи полученных газобиогеохимических показателей, как между собой, так и с внешней средой, с интерпретацией и выводами. Фактический материал по большому комплексу измеренных компонентов в водном объекте, ёмкий и многогранный по сути, проанализирован в публикациях престижных журналах страны («Доклады Академии Наук», «Наука в

России» и других) с разных позиций применительно к проблемам в таких научных направлениях, как гидробиология, океанология, геология, экология. В результате на количественном уровне уточнены некоторые стороны известных природных взаимодействий и установлены неизвестные ранее явления в области океанологии, нефтегазовой геологии, геоэкологии.

Одно из самых главных научных достижений состоит в том, что многолетняя работа по анализу и обобщению полученного обширного фактического материала позволило авторам совершить качественный скачок. Выполненные исследования привели к созданию нового синтезированного научного направления – аквагеоэкологии, науки аквагеоэкологии, сформулированы цели и задачи, разработана методология и определено место аквагеоэкологии в системе наук по естествознанию.

В книге фактический материал показан выборочно как пример, иллюстрирующий новые возможности эффективного, многопланового экосистемного анализа при изучении водного объекта по отдельным направлениям. Данные сгруппированы в самостоятельные информационные системы, созданные специально для выполненных авторами теоретических исследований и раскрытия отдельных сторон, характеризующих свойства и явления природных экосистем.

В первой теоретической главе обсуждены исторические аспекты развития естествознания, аргументируя чёткий выбор места науки аквагеоэкологии в системе наук. Стала яснее преемственность, новизна разработанной методологии этого синтезированного научного направления и обоснованность принципов построения его информационных систем. Экосистемный методологический подход к анализу и обобщению газобиогеохимической информации, полученной авторами, обеспечил классификацию биологически активных веществ с геоэкологических позиций и разделение загрязняющих веществ на биохимической основе. Для объяснения природных явлений разработана и защищена теория биохимического состояния природной среды и предложена концепция экосистемного взаимодействия.

Во второй главе продемонстрирована эффективность применения теоретических разработок на практике. Подробно показаны методические особенности получения данных при тестировании водоёмов. Приведены примеры составления информационных систем для решения конкретных проблем геоэкологической экспертизы водных экосистем по отдельным направлениям. Достигнуто разделение нормально-го и аномального состояния экосистемы на количественном уровне,

обеспечено геоэкологическое районирование акваторий по отдельным маркирующим горизонтам и главенствующим показателям, осуществляя необходимый уровень паспортизации разнотипных водных объектов в целях рационального природопользования.

В третьей главе экосистемный анализ применен к всестороннему изучению процессов и явлений, формирующих то или иное аквагеоэкологическое состояние выделенной экосистемы. Экосистемный анализ дал объяснение непонятым природным взаимодействиям и проявлениям жизни. В таком контексте большое значение представляет обоснование количественных критериев по разделению природной и техногенной нагрузки на водную экосистему. Это в свою очередь способствует пониманию сути процессов, происходящих внутри экосистемы и контактных областях. То есть взаимодействия внутри и вне экосистемы взаимообусловлены. Тогда небольшую локальную экосистему, например ядро клетки, необходимо изучать в рамках следующей, объемлющей экосистемы рангом выше (клетки) и т.д. В таком случае все экосистемы, подобно известным русским матрешкам, входят одна в другую, вплоть до общей Вселенской. Через последовательное взаимодействие экосистем можно ожидать наличие сквозных процессов, отражая единство мира. Эту идею имели в виду, рассматривая проявления жизни в экосистемах и связанные с ними явления по образованию и преобразованию органического вещества в гидросфере, нефтегазоносности недр, жизни в гидротермах и другое, показанное в этой главе. Выдвигаемые концепции и идеи инициируют практические шаги, способствующие прогрессу науки.

Работа выполнена в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН. Авторы признательны и благодарны тем, кто способствовал нашим исследованиям.

## 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ

Изучение экосистем относим к действенному способу познания мира. Такая постановка вопроса таит в себе явную философскую подоплеку. Человек всегда стремился найти объяснение событиям, происходящим с ним в окружающей его природе. Методология подобных исследований имеет глубокие исторические корни.

### 1.1. Методология аквагеоэкологических исследований

Термин методология рассматриваем как наиболее емкое понятие о совокупности общих способов исследования природы с помощью исторически выработанных методов, приемов, методик и средств. Методология – это учение о существовании и развитии общих методов познания мира, в свою очередь обусловленных состоянием и прогрессом человеческого общества.

Все науки прошли исторические этапы становления, следуя циклическим закономерностям развития человеческой цивилизации. Аквагеоэкология не является исключением, поскольку многое унаследовала от образующих её составных частей – геологии, экологии, океанологии.

**Этапы развития науки.** Зарождение современной науки обычно датируют несколькими тысячелетиями назад и связывают с необходимостью объяснять события человеческой жизни и природные явления. Это произошло взамен суевериям и мифам первобытнообщинного общества, которые уже не удовлетворяли потребностям нового классового рабовладельческого государства в познании действительности. Древние научные трактаты найдены в Древнем Египте, Вавилонии, Греции, Риме, Индии и Китае, расположенных в благоприятных климатических условиях того времени. Место образов заняли предметы материального мира, например, первовещество – айперон (субстанция Вселенной) как источник четырех стихий или пять основных элементов: вода, огонь, дерево, металл и земля, к которым можно свести все явления окружающего мира. Древнеиндийские мыслители учили, что первоосновой всего является четыре элемента: огонь, вода, земля и воздух. Влияние этих стихий учитывают, например, в современной астрологии.

На простом предметном фактическом материале древние философовали, исходя из целостного взгляда на мир, стремились объяс-

нить все многообразие явлений как результат одного общего начала. Философия древних видела основу вещей в движении, содержании в себе противоположных начал. Процессы возникновения и исчезновения, приближения и удаления и других противоположностей протекают во времени. Всё существующее постоянно переходит из одного состояния в другое. Известные изречения Гераклита Эфесского, сформулированные им за пять веков до новой эры, живут и поныне: «всё течет и изменяется», «в одну и ту же реку нельзя войти дважды».

Древняя философия в первоначальной трактовке поставила почти все вопросы, которые до сих пор служат предметом теоретических размышлений. Необходимо выделить, что созвучные современным воззрениям умозаключения были сделаны разными мыслителями древности на одинаковой методологической основе – представлении о единстве в бесконечном многообразии явлений природы, целостном взгляде на мир.

Иная сторона этого этапа древней науки – недостаточность знаний. В методике познания древние отводили большую роль органам чувств. Услышанную, увиденную информацию, ощущения они дополняли разумом и исправляли более тонкой работой ума. Многие идеи, включая гениальную гипотезу Демокрита об атомном строении материи, остались неподкрепленные опытом, экспериментом, хотя на многие столетия вперед предвосхитили искания научной мысли. Согласно взглядам Лукреция, вселенная бесконечна во времени и пространстве, но входящие в неё миры, включая Землю, временны. Однако жизнь во вселенной никогда не прекратится. Ему принадлежат слова: «ничего не возникает из ничего».

Философская мысль Древней Греции достигла вершины в воззрениях Платона и Аристотеля, творивших в IV веке до н.э. Материализм Демокрита и идеализм Платона – это две противоположные линии в науке, борьба между которыми наполняет всю её последующую историю. Аристотель пытался занять объединительные позиции, стремясь преодолеть разрыв между миром чувственных вещей (материальным) и миром идей. Сама по себе материя, по Аристотелю, инертна, пассивна. Необходим активный, творческий фактор, благодаря которому вещь становится действительной. Материя вечна, несотворима и неуничтожаема, но она – своего рода глина. Для того, чтобы из неё создать вещи, необходим гончар – бог. Вселенная, продолжает Аристотель, имеет форму шара с центром – Землёй, над которой движутся сферы с прикрепленными к ним светилами.

К важной заслуге Аристотеля относят разработку нового научного направления, сформулированного в одноименном сочинении «Метафизика». Рассматривая явления природы как отдельные, изолированные друг от друга и неизменные, он призывал изучать предметы один после другого и один независимо от другого, накапливая и углубляя знания по каждому из них. Такой подход положил начало дроблению единого естествознания на многие науки, в том числе на современные геологию, химию, механику и другие. Античная наука – это великое торжество разума. Анализируя её наследие, К. Маркс писал: «Греки навсегда останутся нашими учителями ...» Метафизическая методология была исторически обусловленной ступенью в развитии человеческого познания. Разложение природы на её отдельные части, возникновение изучающих их отдельных наук было важным условием тех огромных успехов, которых добилось естествознание в период XV – XVIII веков.

Очередной взлет научной мысли был вызван ростом материально-го производства, промышленности, торговли, мореплавания, военного дела, создавшим экономические предпосылки развития математики, механики и естествознания в целом. Эпоха становления капитализма рождала титанов мысли и чувств, цельные, универсальные натуры. Литература, поэзия, живопись были проникнуты глубокими философскими идеями. Эта волна прокатилась по многим европейским странам, оказавшимся теперь в благоприятных климатических условиях. Среди выдающихся личностей той волны, внесших вклад в естествознание, достаточно назвать Джордано Бруно, Леонардо да Винчи, Р. Декарта, Т. Гоббса, В. Шекспира, Т. Лейбница, И. Гёте, М.В. Ломоносова, А.С. Пушкина и вспомнить многих других. Методологией нового естествознания стало требование опытного изучения реальных причин природных явлений, родился тезис практической значимости научных исследований для человека. Механистический и метафизический подход к изучению природы стал источником роста и накопления знаний, изменивших взгляды людей на мир и на положение в нём человека.

Сумма накопленных базовыми науками знаний, созданные эффективные технологии как инструмент познания новых свойств и качеств предметов не могли не повлиять на естествознание XIX и XX веков, что совпало с эпохой перестройки человеческого общества, войн и революций. Методология исследований сделала очередной исторический поворот: от метафизического мышления к диалектическому ме-

тому, представляющему собой совокупность логических законов и категорий, разработанному Г. Гегелем, Ф. Энгельсом и другими.

Анализ и обобщение мировых научных течений XIX века по изучению природы провел российский «мудрец – естествоиспытатель» В.И. Вернадский в своем труде «Живое вещество», уделяя при этом большое внимание историческим аспектам развития идей, мифам и художественным отображениям действительности, учитывая общую настроенность того или иного ученого. Небезынтересно, что работал он над этим уникальным произведением в период с 1916 по 1922 гг., охваченный творческим порывом, несмотря на перипетии революции и гражданской войны, сменив Петроград в июле 1917 г. на украинский хутор, затем Киев и далее – Крым.

Заслуга В.И. Вернадского в том, что в этом труде он обосновал необходимость исходить в решении проблем естествознания не только из единства природы, но и единства коллективного человеческого сознания. Разработанная им методология – пример подхода к решению важнейших проблем во всей научной широте, воспринимая природу, космос как единое целое. Работа утвердила приоритет российской науки по многим вопросам естествознания, актуальность которых была осознана за рубежом лишь в 50-е годы прошлого века. И тогда там появляется обширная литература, основанная на учении о биосфере, выдвинутом В.И. Вернадским, но в ней его имя часто не упоминается совсем, несмотря на прямое заимствование его идей (Флоренский, 1963).

В историческом экскурсе нами специально выделены созидательные этапы прогресса науки. Однако цикличность её развития вызвана также периодами её регресса и даже забвения на многие годы и столетия, когда в кострах горели и книги, и их создатели. Принимая во внимание всю сложность исторического анализа, авторы все-таки считают возможным и важным выделить закономерности, полезные в разработке и обосновании методологии аквагеоэкологических исследований. Эти закономерности следующие:

\* Работа человеческого разума происходит всегда и в любых условиях. Она устремлена на проникновение в тайны природы и, рассматривая её с разных сторон, порождает массу точек зрения, возникающих практически у каждого из здравомыслящих людей. Например, греки писали, что их древние земляки «...много работали, но ещё больше философствовали. Возможно, они никогда плотно не набивали

свои желудки, но зато никогда не пустовали их головы. Их ноги ходили по тропинкам, но их дух шествовал по широким дорогам».

\* Коллективный разум общности людей формировался и определялся натуралистами, естествоиспытателями, представителями науки и искусства. Взгляды отдельных личностей либо принимались, либо отвергались в зависимости от общественно-экономического состояния и политического устройства общества. Этот процесс инерционен, его скорость зависит от уровня развития науки в обществе. Например, в конце XVIII века Ж. Ламарк вводит название биология для науки по изучению общих явлений и общих законов жизни, но в коллективное сознание биология и биологические явления вошли лишь во второй половине XIX столетия под натиском огромных успехов естествознания. Подобное происходило с учением о биосфере, генетикой, кибернетикой и другими науками.

\* Объективно существует цикличность в развитии науки, обусловленная разными, зачастую взаимосвязанными факторами: экономическими, общественно-политическими, географическими, климатическими, астрологическими и другими. Движение науки можно представить в виде протекающего во времени сложного колебательного процесса, где накладываются друг на друга циклические изменения от каждого фактора. Наиболее мощные по амплитуде и долгопериодные воздействия оказывают космические и геологические катаклизмы, что может приводить к смене цивилизаций. Определяющее значение имеет рост общественного производства для накопления знаний, которому присущи технологические циклы, приводящие к периодическим экономическим кризисам, известных как циклы Н.Д. Кондратьева. Как бы в такт социальным событиям одна за другой следует волна научных открытий в эпоху Возрождения, буржуазных революций, войн и тому подобного.

\* Под внешним воздействием в движении науки чередуются периоды процветания и упадка, а в силу собственной логики развития науки – последовательные два этапа в познании мира: накопление знаний и их осмысливание (широкое обобщение). Каждому этапу свойственна собственная методология. В разные периоды истории потребности человеческого общества могут в той или иной степени регулировать методологию научных исследований, ориентируя её на формирование удобного власти мировоззрения в обществе, которое, как показывает история, может быть материалистическим, религиозным, националистическим, прогрессивным, реакционным, революци-

онным и другое. Научные методы, призванные обосновать заказные мировоззрения, накладывают временный отпечаток на две основные методологии и могут вносить путаницу. Несмотря на всевозможные отклонения, выделяем главные черты обеих методологий и считаем, что они постоянны во все периоды созидательного развития науки.

\* На этапе накапливания знаний (посчитаем его первым) методология научных исследований направлена на поиск новых возможностей в получении новых фактов, повышении достоверности фактического материала, раскрывающие свойства и качества изучаемого предмета. Успехи этих наблюдений связаны с появлением новых технологий (техники и методики измерений), то есть зависит от уровня развития производства и скорости его прогресса в человеческом обществе. Этот, в историческом плане, поступательный процесс постоянно ускоряется, приводя к конкретизации и еще большему дроблению наук.

\* Второй этап – осмысление полученных результатов отличается более консервативной методологией. Она практически сохраняет основные подходы к анализу конкретных данных, начиная от древних естествоиспытателей до современных исследователей-натуралистов. Методология привлекает все известные способы теоретического познания, делая акцент на выявление природных закономерностей и взаимодействий изучаемых объектов. При этом имеем в виду главное, что отдельный компонент – это всего только часть, которая живет реальной жизнью лишь в составе целого. В противоположность первому этапу (накапливание знаний), на этом втором этапе (осмысление знаний) более эффективен синтез наук.

\* Оба этапа научного познания находятся в диалектическом взаимодействии, а вместе они представляют сложный, целостный процесс приближения к истине. Специфику методологии чередующихся этапов, как их часто называют эмпирического и теоретического познания, авторы выделяют и при разработке общей методологии исследования в аквагеоэкологии.

### **Разработка методологии аквагеоэкологических исследований.**

Разработка авторами науки «аквагеоэкология» происходила тем путем, который свойственен появлению нового междисциплинарного научного направления. Зарождение аквагеоэкологии можно сказать шло одновременно с двух сторон: с одной – под натиском возникающих общественно-экономических проблем при закономерном прогрессе человечества, с другой стороны – под влиянием научной мысли

(Авилов, Авилова, 2008). То есть её появление исторически обусловлено созидательным движением науки.

В развитии аквагеоэкологии присутствовало попеременное чередование обоих названных выше этапов познания – накопления и осмысления научного материала. Анализируя ход процесса и понимая наступление очередного этапа, авторы для ускорения событий применяли соответствующую ему методологию. При этом руководящим был тезис, высказанный основоположником отечественной океанографии адмиралом С.О. Макаровым, что обобщение полученного фактического материала никогда не бывает преждевременным. Первым практическим шагом аквагеоэкологии считаем наши комплексные исследования (одновременно применены более 30 различных газовой-геохимических и биохимических методов) в морской экспедиции в 1976 году (22 рейс НИС «Академик Курчатов», возглавляемый член-корреспондентом РАН В.Г. Нейманом) при изучении водной среды, в том числе глубоководных объектов, северо-западной части Индийского океана и Красного моря.

До этого в океанологии произошли знаменательные события. В 70-е годы XX века отмечен определенный рубеж океанологической науки. К тому счастливому для советских океанологов времени в многочисленных и длительных океанических экспедициях на кораблях целого научного флота страны был получен колоссальный фактический материал. По инициативе директора Института океанологии, академика А.С. Мониina в подведение итогов издана десяти томная монография «Океанология», в которой изложена «накопленная в мире сумма знаний по главным перспективным проблемам океанологии на уровне 1976 года». Состоялось дробление океанологии на многие направления, впитавшие достижения науки и техники той поры, начиная от химии и кончая космическими технологиями.

Отличительной чертой того периода следует назвать сбор (накопление) океанографической информации и выявление наиболее общих закономерностей в пространственном распределении физических, химических, биологических, геологических показателей морской среды. Процветало четкое разделение труда – узкая специализация, когда один исследователь углубленно занимался изучением одного – двух параметров в морской воде или осадках.

К тому времени авторы, обобщив опыт предшествовавших исследований, убедились во мнении, что имевшаяся на тот период информация не вполне достаточна для понимания сути океанических про-

цессов – она разрознена и не всегда достоверна. Поэтому авторы, начиная с 1972 г., выбрали направление по созданию комплексной методологии исследования морской среды, устраняющей названные недостатки. В качестве первых шагов были разработаны новые пробоотборники компенсационного типа, обеспечивающие отбор герметичных проб морской воды и осадков, защищённые более 20 авторскими свидетельствами и патентами (Авилов, Гуськов и др., 1975; Авилов, Геодекян и др., 1976; Авилов, 1976 и др.). С помощью созданных приборов при натурных наблюдениях в различных акваториях выполнены количественные измерения до 9 компонентов газового состава (Геодекян, Авилов, Троцюк, 1977 и др.). Разработаны, усовершенствованы и внедрены более 20 передовых биохимических методов изучения биологически активных веществ (биохимических показателей) (Миркина (Авилова), 1977, 1977а и др.). Подготовлена аппаратура для их определения в судовых условиях.

Уже к середине 70-х годов были заложены основы новой технологии морских газобиогеохимических исследований. Она использовалась авторами, начиная с 1976 г., при исследованиях природной среды системы Мирового океана, выполненных по акваториям Атлантического, Индийского, Тихого океанов, Балтийского, Баренцева, Карского, Каспийского, Красного, Охотского, Средиземного и Чёрного морей, озера Байкал, по водоемам Сахалинского шельфа, подмосковным водохранилищам и другое. В итоге многолетних изучений получены тысячи образцов воды и донных осадков, выполнены десятки тысяч биохимических и газово-геохимических определений. Установлено присутствие биологически активных веществ во всех природных объектах, обнаружена чрезвычайная вариабельность их концентраций, отмечено множество взаимных сочетаний и видов распределения во времени и пространстве, что отражено в сотнях публикаций авторов. На этом этапе накопления данных в комплексной методологии исследований был сделан акцент на использование новых технических средств и методов отбора проб, усовершенствованных методик биохимических определений и газового анализа с целью повышения достоверности получаемой газобиогеохимической информации.

Полученный комплекс представительных данных позволил поновому подойти к их анализу. Вступил в силу другой этап – осмысление выполненных измерений. В методологии сделан упор на поиск причин, приведших к образованию выявленных закономерностей распределения показателей в морской среде. Особенно это касалось не-

обычных, аномально высоких значений нескольких компонентов, обнаруженных в глубинах Красного моря и Индийского океана. Уверенности в достоверности неизвестных ранее данных давало применение разработанной на первом этапе технологии газобиогеохимических наблюдений, гарантирующей полную сохранность компонентов и небольшие погрешности измерения их содержаний, на уровне нескольких процентов. Проведенное авторами обобщение комплекса собственных данных привело к открытию двух новых явлений о существовании жизни в глубинных подводных гидротермах и об образовании собственного органического вещества в промежуточных и глубинных водах.

Суть обоих открытий и их значение раскрыты в последующих главах. Здесь важно отметить в плане методологии, что были выявлены причинно – следственные связи живого вещества (сообщества микроорганизмов) с окружающей средой. Такой подход дал толчок последующим изысканиям как в направлении совершенствования технологии и проведения аналогичных наблюдений по другим акваториям (первый этап), так и широкого обобщения получаемых данных (второй этап). В дальнейшем обе стадии развития аквагеоэкологии меняют друг друга, обеспечивая её поступательное движение. Одна дает пищу для ума, другая расширяет горизонты познания.

Оба подхода в объединенном виде составляют общую методологию аквагеоэкологических исследований. В практике натурных наблюдений и экспериментальных работ она позволяет получить представление о свойствах изучаемого объекта, оценить его состояние и пригодность к практическому применению. Результаты изучения конкретных природных объектов – отдельных акваторий, процессов и явлений разного масштаба, являются главной темой данного труда и представлены в последующих главах.

В теоретическом плане раскрывается ещё одна грань методологии как науки о методе аквагеоэкологических исследований. Здесь имеет место своя история, своё движение и стадии развития. Теоретические основы аквагеоэкологии развиты в предшествующих работах авторов и в сконцентрированном виде представлены ниже в разделах этой главы.

## **1.2. Развитие теоретических основ**

Наука аквагеоэкология занимается отдельными задачами экологии, океанологии и геологии, отличаясь собственной спецификой. Унаследованные темы она решает с использованием новых подходов,

в которых оценивается и учитывается роль биоты в исследуемых планетарных или локальных процессах. Развитие науки аквагеоэкологии потребовало уточнения и конкретизации целого круга научных терминов. Ранее уже выделяли часто используемые понятия и привели ключевые слова в предыдущей работе (Авилов, Авилова, 2008), где им даны определения и объяснена их значимость в аквагеоэкологических исследованиях. Кроме того, для некоторых терминов авторы предложили уточненные трактовки и по необходимости ввели новые понятия (жизнеземлезнание и др.), названные и обоснованные далее по тексту.

Изучение распределения биологически активных веществ в окружающей среде рассматривалось как первое и основополагающее звено в методологии естественных наук. Не были исключением океанология, геология и другие сопричастные научные направления, накопившие бесценный фактический материал по пространственному распределению компонентов в геосистеме. Результаты представлены в огромном количестве публикаций. Познание продолжается, сотни экспедиций ежегодно изучают Мировой океан и увеличивают массив данных. Задача науки воспользоваться накопленной суммой знаний. Для себя считаем обязательным проанализировать огромный комплекс собственных газово-геохимических и биохимических данных и сделать достоверные выводы.

Рассмотрение фактического материала по биологически активным веществам, полученного нами при натурных наблюдениях, выявило ряд проблем, возникающих при анализе и осмыслении громадного числа измерений. Выделяем главное. Изучены одновременно десятки компонентов, выполненные количественные измерения показали высокую вариабельность их содержания в водных объектах гидросферы и разнообразные варианты пространственного распределения, а также временную изменчивость. Многообразие частных особенностей иногда мешает определить генеральную линию наблюдаемых природных явлений. На повестку дня был поставлен **вопрос о систематизации накопленной информации.**

Оглядываясь назад, осознаешь, что начало второго этапа осмысления материала, пришедшегося на рубеж 80 – 90-х годов прошлого века, оказалось не случайным событием. Тогда совпали положительные амплитуды нескольких циклических факторов, среди которых выделяем как определяющий – «перестройку» и революционные преобразования в нашей стране. Но этого положительного события могло бы не быть, поддайся авторы повальному увлечению коммерцией, захва-

тившему некоторых наших коллег. Как сказал известный актер, нельзя днем подрабатывать, а вечером вдохновенно играть героев Шекспира и Чехова.

В качестве первоочередной задачи возникала необходимость классификации биологически активных веществ. Ранее её уже проводили по тем или иным признакам. Например, на основании учения В.И. Вернадского о живом веществе и биосфере стало общепринятым разделять вещества в зависимости от происхождения на следующие типы: косные (минералы и другое), биокосные (нефть, уголь и другое), антропогенные (пестициды и другое), компоненты живой природы (мы выделяем АТФ, ферменты и другое). Всё множество веществ этих четырех типов находится во взаимодействии и взаимовлиянии в природе. В этой классификации, как видно, экологические оценки носят весьма общий характер. Тогда как само понятие «биологически активные вещества» основано на их отношении с биотой. В широком смысле слова биологически активные вещества – это все химические соединения, в той или иной степени обладающие способностью воздействовать на живую материю. Их число огромно. Известно более десятка миллионов индивидуальных соединений, извлеченных из природных источников или синтезированных. Такое широкое толкование позволяет почти любое химическое соединение или композицию соединений отнести к биологически активным веществам. Все они в различной степени биологически активны и могут оказывать заметные экологические эффекты.

Разночтения о роли тех или иных биологически активных веществ в оценке экологического состояния отдельных экосистем может привести к ошибкам во многих сферах человеческой деятельности. При этом страдает окружающая среда, в свою очередь отрицательно влияя на судьбы людей. Приостановить негативные тенденции в силах только строгий научно обоснованный взгляд на эффективность методов, используемых в оценке состояния природных экосистем, среды обитания человека. В этом плане первоочередным шагом видится создание теоретической базы, призванной выявить стержневой подход к экологическим оценкам, единый для любых биологически активных веществ. **Авторы разработали теорию биохимического состояния природной среды**, которая, как полагаем, становится важным этапом в серии практических шагов по решению экологических проблем. В неё составными частями входят базисные положения, классификация

биологически активных и загрязняющих веществ, биохимическое состояние экосистемы.

Определено главное назначение теории – объяснить проявление жизни в природной среде путем выявления причинно-следственных связей, управляющих состоянием и вектором развития разнообразных экосистем. Теория является результатом обобщения, прежде всего собственных газобиогеохимических данных, а также при её разработке использован современный взгляд, накопленный многими научными дисциплинами. Основные положения теории доложены на различных конференциях (Авилова, 1982, 1986; Avilova, Avilov, 1989 и др.), а в целом – защищена в докторской диссертации (Авилова, 1990) и опубликована (Авилова, Авилов, 1990 и др.).

Вначале в обобщённом виде были просуммированы некоторые, необходимые современные воззрения. Жизнь трактуется как способ существования белковых тел. Её проявление – присутствие в экосистеме активно действующей живой клетки или их совокупности (живой организм). Живая клетка состоит из неживых молекул. Эти молекулы, выделенные из клетки, подчиняются известным физическим и химическим законам, определяющим поведение неживых веществ, а их обнаружение в экосистеме ещё не означает проявление жизни.

Живые организмы обладают отличительными свойствами, отсутствующими в скоплениях неживых веществ. Окружающая среда, составная часть экосистемы, – вода, грунт, осадочные породы – обычно представляют собой смеси относительно простых химических соединений со слабо выраженной структурной организацией. Живые организмы, другая составная часть экосистемы, напротив характеризуются сложностью и высокой степенью структурной организации. В живой клетке происходит переход от простых молекул к сложным биологическим структурам – биополимерам. Простейшие одноклеточные бактерии содержат до 5000 различных органических соединений, включая примерно 3000 разнообразных белков и около 1000 нуклеиновых кислот, причем многие настолько сложны, что их точное строение до сих пор не установлено. У растений и высших животных число белков приближается к 5 млн, и эти белки отличаются гораздо большим разнообразием. Уникальным свойством живой природы является самовоспроизведение живых организмов. Генетическая информация в клетке хранится в форме сложной макромолекулы дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК). Элементы высокой структурной организации – ДНК, биополимеры, органеллы, да и сама клетка – служат пока-

зателем проявление жизни в экосистеме, но не всегда однозначным, поскольку они могут принадлежать и активно действующим, и погибшим клеткам.

Второе важнейшее свойство живых организмов, отличающее их от неживого, – они создают и поддерживают присущую им высокую степень структурной организации или упорядоченность за счет внешней среды, которая для них абсолютно необходима как источник свободной энергии и строительных материалов. Живые организмы представляют собой неравновесные открытые системы или, можно сказать, машины по извлечению свободной энергии из внешней среды, поскольку обмениваются с ней веществом и энергией, преобразуя и то и другое. Живые клетки получают извне энергию в виде квантов света или химическую энергию органических и неорганических веществ и преобразуют её в энергию химических связей АТФ. Универсальный источник энергии в клетке АТФ используется для выполнения химической работы, направленной на биосинтез клеточных компонентов, совершение механической работы сокращения и перемещения, а также осмотической работы, необходимой для транспорта веществ в клетку. Как всякая машина, клетка подчиняется законам термодинамики, в ней энергия переходит из одного состояния в другое. В результате живой организм отдает во внешнюю среду продукты метаболизма – энергию (тепловую) и различные вещества. При этом растет энтропия окружающей среды, а сами живые организмы в отличие от неживой природы – антиэнтропийные.

Другое отличительное свойство заключено в необычайной эффективности активной живой клетки как химической машины. Каждая составная часть клетки, не только ядро, мембрана и другие структуры, но и химические компоненты – белки, липиды, нуклеиновые кислоты, отдельные молекулы – имеет специальное назначение и выполняет строго определенную функцию. Все они участвуют в многочисленных внутриклеточных химических реакциях. Высокая эффективность машины достигается за счет того, что клетки содержат ферменты – катализаторы, способные значительно ускорять химические реакции. Известны тысячи различных ферментов, и столько же реакций протекает в клетке, причем многие – одновременно, определяя направленность внутриклеточных биохимических преобразований, в частности – специфической биологической функции системы «АТФ – АДФ». Большой экологический эффект имеет принцип саморегуляции сложной системы ферментативных клеточных реакций, также реализуемый

ферментами. С участием ферментов могут изменяться как скорости, так и направленность химических реакций, параллельно протекающих в разных частях системы, используя ингибирование по типу обратной связи. Более того, живая клетка способна выключать синтез своих собственных ферментов, необходимых для производства какого-либо продукта из его предшественников, каждый раз, когда она получает этот продукт в готовом виде из окружающей среды. В активной живой клетке коэффициент полезного действия химических реакций приближается к 100% за счёт специфичности и каталитической активности ферментов, которые значительно превосходят искусственные катализаторы. Они способны в течение миллисекунд осуществить сложные многостадийные внутриклеточные реакции, для проведения которых химикаты потребовались бы дни, даже месяцы работы.

Отличительные признаки живого проявляются в экосистемном взаимодействии и находят отражение в количественных показателях различных биологически активных веществ. Естественным шагом было стремление найти место измеряемым газобиогеохимическим компонентам среди показателей состояния экосистемы. Два последних свойства живой природы (извлечение свободной энергии из внешней среды и саморегуляция внутриклеточных процессов) чрезвычайно важны для понимания сути процессов, происходящих в экосистемах. В них активно действуют АТФ и ферменты. Они определяют единство экосистемы, объясняют принципы взаимодействия обеих её составных частей – живой и неживой. Оба эти свойства высоко специфичны, присущи активно действующим живым клеткам. В связи с этим авторы ввели **новое понятие** – «**активное живое вещество**» и его количественную характеристику – биомассу активных живых микроорганизмов (БАЖМ), определили методику её измерения по содержанию АТФ (Авилова, 1984; Авилов, Авилова, 1991 и др.).

Проведенные нами исследования биологически активных веществ показали принципиальную возможность измерять в экосистемах содержание АТФ, активность ферментов, продуктов метаболизма (мочевина, метан и другое) и иные характеристики окружающей среды. Наши теоретические и практические разработки позволяют нам заключить, что проявление жизни в экосистеме однозначно идентифицируется обнаружением в ней АТФ и ферментов, а также косвенно подтверждается наличием необходимых веществ и энергии для жизнедеятельности организмов в окружающей среде, присутствием продуктов метаболизма и локальным повышением температуры. Исходя

из всего, необходимо провести классификацию биологически активных веществ по степени их значимости для экологической оценки природной среды.

Для более точной оценки состояния экосистемы и объяснения происходящих в ней процессов нами разработана **классификация биологически активных веществ (БАВ)** на базе выполненных измерений их содержаний в водной среде и анализа полученных данных (Авилова, 1990; Авилова, Авилов, 1990). При этом руководствовались следующими принципами. Выделены 7 групп биологически активных веществ по степени их значимости в индикации проявления жизни. Учтено наличие того или иного компонента в живой клетке и в среде её обитания. Указаны научные дисциплины, где традиционно изучаются компоненты отдельных групп (Авилова, Авилов, 1997). Процедура систематизации использованной информации и обобщения данных, графическое отображение результатов – рисунки, подробно представлены в публикациях и суммированы в двух книгах (Авилов, Авилова, 2008, 2009д). Здесь даны только выводы, а рисунки и описание не приводятся, чтобы не затенять логику изложения.

Главное достижение настоящей классификации – построение логической кривой, объединяющей всю сумму сведений о биологически активных веществах в морской среде и определяющей вклад отдельных научных направлений в аквагеоэкологию. Наглядно определились две области исследований: одна, биохимическая – группы 1–3, даёт информацию о живой компоненте экосистемы, другая, биогеохимическая и гидрохимическая – группы 5–7, характеризует в основном внешнюю среду, а также показано промежуточное положение гидробиологии. Причем все они вносят свой вклад в экосистемный анализ состояния природной среды.

Классификация даёт ответ о роли различных биологически активных веществ в оценке состояния экосистемы. Вещества пятой – седьмой групп определяют саму возможность существования экосистемы. Вещества четвертой группы отражают проявление жизни в экосистеме на качественном уровне. Вещества первой – третьей групп дают достоверную количественную оценку живого в экосистеме и направленность процессов его дальнейшего развития. Соответственно уровень значимости биологически активных веществ – показателей состояния экосистемы повышается снизу вверх. В результате для индикации экологического состояния водных объектов, как наиболее информативные, выбраны биохимические показатели первой и второй групп

(АТФ и ферменты). Состояние водной среды, соответствующее определенному уровню содержания биологически активных веществ биохимического ряда в обитающих там живых организмах, названо биохимическим. Выбор главенствующих биохимических показателей обоснован с позиций оптимизации исследовательских работ на современном этапе развития аквагеоэкологии.

Экологически не менее значима **классификация загрязняющих веществ**. Биологически активные вещества пятой – седьмой групп включают в себя множество химических соединений косного, биокосного и антропогенного типов по происхождению. Поступая в водный объект, они вызывают разнообразные экологические эффекты, в том числе загрязняющее действие. Механизм воздействия загрязняющих веществ многообразен и в значительной степени специфичен для каждого из них. Это создает сложности в понимании их влияния на экосистему и идентификации загрязняющих веществ при экологических нарушениях. При этом опасность одних веществ можно переоценить, а других недооценить.

Отсутствие достоверной оценки чревато ошибками в прогнозах и конкретных планах человеческой деятельности. Зачастую приоритеты в области охраны окружающей среды в конкретном регионе выбираются из общих соображений об опасности тех или иных источников загрязнений, а не из фактической картины действующих факторов. Наилучшего понимания общих закономерностей в многочисленных проявлениях негативного воздействия загрязняющих веществ на биоту можно достичь с биохимических позиций. По биохимическому признаку или степени участия в биохимических процессах, авторами разработана классификация загрязняющих веществ, разделив их на три типа: – 1, вещества, включающиеся в обменные процессы организма и участвующие в обменных циклах круговорота веществ в природе (нитраты, фосфаты и другие). Их загрязняющее действие проявляется в поступлении в водный объект в неестественно больших количествах, что приводит к эвтрофированию водной среды; – 2, инородные, но влияющие на процессы метаболизма, частично включаясь в обмен веществ (пестициды и другие). Отрицательный экологический эффект проявляется в токсичном воздействии этих веществ на организм. Они обладают кумулятивным свойством. По скорости выведения токсикантов из организма их делим на слаботоксичные (высокая скорость выведения), токсичные и высокотоксичные; – 3, инертные вещества, не включающиеся в обмен веществ организма (синтетиче-

ские плёнки, твёрдые пластмассы и другие). (Авилова, 1990; Авилова, Авилов, 1990, Авилов, Авилова, 2008 и др.).

Классификация загрязняющих веществ необходима для понимания механизма их пагубного воздействия на биоту. Принцип действия загрязняющих агентов един для всех живых организмов, но для водных экосистем существует определенная специфика. Сообщество микроорганизмов представлено многими видами, которые между собой находятся в сложном взаимодействии. Тот или иной экологический эффект зависит от реакции определенной группы микроорганизмов на действующее вещество, в том числе от его концентрации в окружающей среде. Соответственно можно говорить об ареале действия загрязнителя в водной среде или о выделении локальной экосистемы, подверженной загрязнению. Также важно, что среди бактерий существуют формы, устойчивые к общим клеточным или метаболическим ядам (сероводород, фенол и другие), и более того – способны использовать их как источник энергии.

Загрязняющие вещества первого типа создают избыток питательных веществ для определенных микроорганизмов, что вызывает увеличение первичной продукции, эвтрофикацию водоема. Химические агенты второго типа замедляют или полностью тормозят рост микроорганизмов. Инертные вещества представляют опасность как не утилизирующиеся в природе.

Систематизация биологически активных веществ углубила знание о сложных взаимодействиях в природных экосистемах, что дало возможность оценивать экологическое состояние водных объектов по биохимическим показателям (Авилова, Авилов, 1997). Для повышения достоверности таких изысканий авторами создано **представление о биохимическом состоянии природной среды**, открывающее путь к количественным оценкам.

Сообщество микроорганизмов, существенно отличаясь от остальной биоты, наилучшим образом отражает биохимические свойства водного объекта. Микроорганизмы, как часть водной экосистемы, наиболее чутко и быстро реагируют на изменения условий окружающей среды. Эти изменения приводят к вариации численности микроорганизмов, при этом может перераспределиться состав микробialного сообщества, но в целом для сообщества микроорганизмов эти изменения отразятся на интенсивности биохимических процессов, протекающих в экосистеме.

Осмысление наших газобиогеохимических данных привело к выводу, что механизм взаимодействия сообщества активных живых микроорганизмов с внешней средой аналогичен подобному взаимодействию, свойственному живой клетке. Микробальное сообщество также как и клетка, представляет собой открытую физико-химическую систему, которая может активно существовать только во взаимодействии с внешней средой в условиях достаточно интенсивного обмена веществ. С этих позиций водная экосистема может быть названа метаболической клеткой. Она находится в стационарном состоянии, при котором скорость переноса вещества и энергии из среды в открытую систему живых организмов уравнивается скоростью переноса из неё. В самой системе устанавливается определенный уровень внутриклеточных биохимических реакций, обеспечивающих извлечение из внешней среды свободной энергии для её жизнедеятельности. Этому уровню соответствуют определенные количественные биохимические показатели – биологически активные вещества первой – третьей групп, адекватные стационарному состоянию экосистемы. Поскольку эти биологически активные вещества являются биохимическими индикаторами специфических биохимических функций экосистемы, то и определенное по этим показателям состояние экосистемы названо биохимическим.

Вполне естественно, что биохимическое состояние сообщества живых микроорганизмов полностью зависит от среды их обитания. При изменении условий внешней среды, уменьшении или увеличении потока вещества и энергии, стационарное состояние этого сообщества также изменится и перейдет на новый уровень. Это неизбежно отразится на количественных биохимических показателях – содержании биологически активных веществ первой – третьей групп, характеризующих уже новое состояние экосистемы. Следовательно, биологически активные вещества первой – третьей групп (АТФ, ферменты, витамины), измеренные во взвешенном органическом веществе (ОВ), составляют систему количественных критериев биохимического состояния природной среды, которая в свою очередь является обобщенным индикатором экологического состояния водной экосистемы.

Биохимическая индикация, как метод изучения биохимического состояния природной среды, имеет ярко выраженную экологическую окраску. Она позволяет эффективно использовать метод абсолютной оценки экологического состояния водной среды и метод сравнительной экологической оценки, которые реализуются при мониторинге

изучаемого объекта, для сопоставления водоемов в экологически разнотипных регионах.

Эти воззрения составляют основу **теории биохимического состояния природной среды** (Авилова, 1982, 1986, 1990; Avilova, Avilov, 1989; Авилова, Авилов, 1990; Геодекян, Авилов, Авилова, 1990, 1992 и др.). В её основе лежит принципиально новый подход к экологической оценке через изучение интенсивности и направленности биохимических процессов на внутриклеточном уровне. Главные положения созданной нами теории биохимического состояния природной среды сформулированы следующим образом.

Микроорганизмы в том или ином состоянии присутствуют во всех водных экосистемах, можно сказать, они вездесущи. Сообщество микроорганизмов в целом обладает рядом уникальных свойств. Взаимоотношения различных микроорганизмов основано на принципах сосуществования, а не по схеме «хищник – жертва», рассматриваемой в гидробиологии как основа межвидового взаимодействия в трофической цепи. В сообществе же микроорганизмов имеются разветвленные межорганизменные метаболические связи, порождаемые внутриорганизменным обменом веществ. Конечное звено этого процесса у одного организма (выделение метаболитов) становится начальным звеном у другого организма (потребление метаболитов). В водной среде внешние метаболиты образуют между микроорганизмами сеть тонких и разнообразных биохимических коммуникаций. Групповой симбиоз экосистемы поддерживается процессами внутренних биохимических взаимодействий. Это свойство признается признаком живой материи, поэтому морскую экосистему можно отнести к некому самостоятельному живому образованию.

Разработка теории стала необходимым инструментом для анализа и обобщения обширного фактического материала, полученного авторами в натурных условиях морских экспедиций. При этом утвердили **главный методологический подход** – рассматривать изучаемый объект как биологически целостную, открытую физико-химическую систему. В результате открылась возможность объяснить разнообразные проявления жизни в водной среде. Используя этот подход при анализе нового фактического материала, авторы установили факты доминантного воздействия планетарных, геологических процессов на экологическое состояние изучаемых объектов, положив начало геоэкологической направленности в изучении различных экосистем гидросферы и происхо-

дящих в них явлений (Авилов, Авилова, 1986; Avilov, Avilova, 1989; Геодекян, Авилов, Авилова, 1990, 1990а, 1991, 1992, 1993, 1994 и др.).

Успехи и достижения геоэкологического подхода в исследовании акваторий, особенно при изучении нефтегазопроявлений, фактически предопределили формирование нового научного направления, получившего название «**аквагеоэкология**» (Авилов, Авилова, 1997, 1997а). Исследования, проведенные в области геоэкологии океана, обозначили первоочередные задачи и применяемые методы аквагеоэкологии. Проблемы аквагеоэкологии многопланово переплетаются с различными, традиционными направлениями океанологии, гидробиологии, нефтегазовой геологии, морской инженерной геологии, экологии и других наук. Налицо преемственность морской геоэкологии в опыте натурных наблюдений традиционными методами. Вместе с тем геоэкология гидросферы (или аквагеоэкология) призвана решать ряд новых задач, вытекающих из поступательного развития науки и практической деятельности человека. В число главных выдвигаем оценку геоэкологического состояния водных объектов (аквагеоэкологического состояния объектов), которая является одной из самых важных характеристик, определяющих возможность рационального водопользования или необходимость проведения природоохранных мероприятий. За последние десятилетия накоплен многогранный эмпирический и теоретический опыт изучения морской среды, что дало возможность развить теоретические основы аквагеоэкологии (Авилов, Авилова, 2008, 2009а, 2009в и др.).

На современном этапе аквагеоэкологию определяем как многоцелевую науку. Синтезируя в себе многие научные направления, геоэкология океана объединяет частично цели и задачи отдельных дисциплин океанологии и геологии, но с экологическим уклоном. Однако аквагеоэкология возникла главным образом для того, чтобы ставить собственные цели и решать свои задачи. В целом роль аквагеоэкологии состоит в том, чтобы поднять на более высокий уровень теоретические и экспериментальные изыскания и вытекающие практические рекомендации во всех базисных направлениях изучения гидросферы, а также дать оценку экологического состояния всего Мирового океана или его составных частей, выявить интенсивность и направленность формирующих это состояние процессов и факторов.

Главный постулат аквагеоэкологии вытекает из биохимических представлений о сути жизни (по разработанной теории) – необходимым условием существования экосистемы является поток вещества и

энергии. Живая клетка представляет собой высокоорганизованную материю, для создания и поддержания которой она постоянно обменивается с окружающей средой. Соответственно наличие потоков вещества и энергии в окружающей среде обеспечивает функционирование активных живых организмов, составляющих основу экосистемы. Логично заключить, что специфическим предметом изучения аквагеоэкологии могут стать все те явления и процессы, в которых присутствуют потоки вещества и энергии. В общем случае к ним относится движение воздушных, водных или земных масс и потоки лучистой, тепловой и других видов энергии.

В аквагеоэкологии на передний план выходит изучение и осмысление многочисленных процессов и явлений. И здесь вступает в силу биотическая составляющая. Данное обстоятельство выдвигает её методологию в число главных инструментов познания в естественных науках, определяет необходимую комплексность исследований и снабжает её собственным универсальным методом наблюдения.

### **1.3. Особенности информационной системы аквагеоэкологии**

Так совершенно обоснованно возник вопрос о создании собственной информационной системы на завершающей стадии развития аквагеоэкологии (Авилов, Авилова, 1997а и др.). По идее новая система должна была перешагнуть традиционно приписываемые ей рамки базы данных и расширить свои функции до контроля их достоверности, последующего анализа и широкого обобщения. Свой замысел авторы постепенно проверяли и оттачивали при исследовании разнообразных природных явлений (например, Авилов, Авилова, 1999, 2002, 2003 и др.) и в 2009 году изложили в завершенном виде (Авилов, Авилова, 2009д).

В главном, созданная информационная система служит действенным механизмом реализации в натурных наблюдениях основных направлений исследования в аквагеоэкологии. Своей структурой информационная система должна соответствовать целям аквагеоэкологии по изучению гидросферы планеты, оценке геоэкологического состояния планетарных и локальных экосистем, выявлению интенсивности и направленности формирующих это состояние процессов и факторов. Назначение информационной системы заключено в практическом воплощении целей и задач аквагеоэкологии, что определяет принципы её построения.

**Принцип разумной достаточности** позволяет установить наиболее значимые показатели, ограничить число измеряемых параметров, определить для практических целей комплекс существенных информационных признаков, входящих в создаваемую информационную систему. **Принцип достоверности используемой информации** очень важен в выборе методов исследования для получения данных, пригодных для дальнейших обобщений и правильных выводов. Принципиально важное значение имеет методология оценки аквагеоэкологического состояния экосистемы с использованием **экспертных систем**, а не одного показателя. **Минимизация риска** принятия верного решения в аквагеоэкологии достигается путем познания природных процессов и явлений.

Представленные принципы задают общую тенденцию, главную нить в построении информационной системы аквагеоэкологии. Конкретное воплощение этих принципов само по себе многовариантно, зависит от разных факторов, хотя бы – от появления новых современных методов анализа и приборов. Это свойство находится в согласии с постоянно увеличивающимся кругом проблем аквагеоэкологии и делает информационную систему достаточно гибкой, способной соответствовать новым целям и задачам. С другой стороны соблюдение всех рассмотренных принципов при детальной разработке элементов системы придает единообразие и целостность создаваемой информационной системы и обеспечивает сходимость результатов, а также сопоставимость выводов для различных экосистем.

Предложенные принципы открывают возможность создания современной сбалансированной информационной системы, которая обеспечивает решение всех задач аквагеоэкологии с высокой степенью объективности, приближения к истине. На их основе определен **элементный состав единой информационной системы аквагеоэкологии**, который включает следующие позиции:

- существенные информационные признаки;
- достоверная база данных;
- экспертная система оценки геоэкологического состояния природных водных объектов;
- специфические методы обработки получаемой и используемой информации.

Каждый элемент информационной системы достаточно сложный и емкий, требует значительных по объему экспериментальных и теоретических исследований. Авторы выполнили этот комплекс необходимых

изысканий, результаты представили в многочисленных публикациях и защитили в докторских диссертациях (Авилов, 1985, 1997; Авилова, 1990; Авилов, Авилова, 2007а и др.). В разработке элементов использован принципиально важный единый подход – **доминирование главенствующих информационных свойств и качеств компонентов системы**. Наличие всех перечисленных элементов информационной системы является необходимым условием для принятия объективно обоснованного решения при аквагеоэкологических исследованиях.

Выделение природного объекта в конечных границах происходит не стихийно, а в силу определенного единообразия и целостности предмета наблюдения по сходным свойствам и качествам. Ответственный выбор объекта служит залогом успешного выполнения исследования. В общем виде объектом наблюдения является вся гидросфера плюс контактные зоны

С позиций теории биохимического состояния природной среды показано **доминирование газобиогеохимических показателей** (Авилов, Авилова, 2008), и к существенным информационным признакам отнесены концентрация АТФ и активность гидролитических ферментов, как главенствующая характеристика биотической составляющей экосистемы, а для абиотической компоненты – содержание наиболее подвижных газообразных компонентов. Этот выбор крайне важен также и с позиции приборного обеспечения. Он необходим, чтобы ограничить до минимума исходное число измеряемых компонентов в пробах воды и осадков для нужд аквагеоэкологии, сделав её пригодной в эффективном (экспресс-оценке), практическом использовании.

Среди множества методов сбора информации по изучаемым объектам выделен общий методический прием: отбор проб с любых глубин океана с точностью, соизмеримой с размерами самого объекта. Эта составная часть метода газобиогеохимических исследований океана функционально определяет главное свойство комплекса приборов в целом и является доминантным методологическим признаком. Частные методические приемы определяют свойства отдельных приборов или их систем (Авилов, 1997).

Захват проб воды, газов, осадков происходит без нарушения их нативных свойств. Пробоотборники обеспечивают полную сохранность взятых на глубине компонентов. Погрешности на операциях по отбору и обработке проб так малы, что погрешность метода в целом практически равна погрешности анализа. Эти признаки определяют главные

свойства приборов и являются доминантным методологическим принципом их построения.

Для придания заданных свойств приборам пришлось разработать и исследовать новые способы захвата проб и компенсации изменения их объема. В процессе разработки технической документации найдены оригинальные технические решения, новизна которых защищена авторскими свидетельствами и патентами – более 20 (Авилов, 1985, 1997). Приборы комплекса при эксплуатации показали высокую надежность работы, удобство и простоту обслуживания, подтверждены новые свойства и качества, значительно превосходящие отечественные и зарубежные аналоги. Внедрение комплекса в практику морских экспедиций обеспечило **наполнение базы информационной системы достоверными данными** (этап накопления знаний) о содержании и распределении существенных информационных показателей (признаков) в разнотипных экосистемах Мирового океана.

С этого момента (этап осмысления полученных результатов) раскрываются основные преимущества информационной системы – вступают в действие её методы анализа и обобщения фактического материала, тогда как некоторые исследователи уже ставят точку. В функцию информационной системы входит решение задачи о том, как воспользоваться полученным массивом данных наиболее эффективным образом. Выбран путь оптимизации количества используемых показателей на различных этапах аквагеоэкологической экспертизы, объединения разрозненных данных в единую экспертную систему, имеющую определенную геоэкологическую значимость.

Созданы и включены в информационную систему критерии оценки геоэкологического состояния водной экосистемы, выявления формирующих его процессов и явлений. В результате анализа разнообразных подходов к оценке состояния природных вод разработаны **специальные экспертные системы** аквагеоэкологии с использованием в первую очередь существенных информационных признаков. В их состав обязательно вводим наиболее значимый обобщенный показатель – содержание АТФ.

Он один, как главный критерий геоэкологического состояния водного объекта, вполне достаточен для образования однокомпонентной экспертной системы. В определенном смысле АТФ подобен используемому в медицине обобщающему критерию – температуре тела. Если в воде измерена концентрация АТФ менее 1000 нг/л, то в первом приближении, с высокой долей вероятности можно говорить о нор-

мальном состоянии этой экосистемы. При более высоких значениях АТФ наблюдаем отклонение от нормы – своеобразное «болезненное» состояние. В таком контексте – для приближенного или предварительного определения геоэкологически нормального состояния природного объекта, содержание АТФ выступает в роли самостоятельной экспрессной экспертной системы. Для более детального исследования экосистемы и оценки её состояния используем более сложные экспертные системы.

Усложнение структуры экспертной системы идет по нескольким путям: увеличение числа значений одного компонента, использование нескольких показателей одновременно или последовательно, добавляя их по мере надобности, применение системы показателей, придавая им табличный, графический или иной вид и другое. Во всех случаях исследователь, попав на изучаемый природный объект, стремится выполнить как можно больше измерений. В результате образуется массив данных, которые необходимо систематизировать и понять их генезис.

Оценка геоэкологического состояния экосистемы водных объектов основана на индикации происходящих в ней процессов. Максимально приближенное представление даёт углубленное изучение причинно-следственных связей комплекса взаимодействий биотической и абиотической составляющих экосистемы. Пониманию внутрисистемных процессов и явлений способствует теория биохимического состояния природной среды. Исходя из её постулатов, разработаны **номограммы**, которые служат как экспертные системы, содержащие несколько показателей.

Выбраны главенствующие биохимические показатели: содержание АТФ (первый высший уровень значимости) и активность щелочной фосфомоноэстеразы – ЩФА (второй уровень значимости). Создана 2-мерная номограмма с двумя параллельными осями АТФ и ЩФА (рисунки не приводим, см. Авилова, Авилов, 1990). Определяющим показателем в геоэкологической оценке является АТФ. На этой оси нанесены реперные точки, в которых значения АТФ устанавливают границы между различными стационарными состояниями микробиального сообщества в экосистеме – от фонового, свойственного олиготрофным водам, до состояния особо высокой биологической активности, называемого гипертрофным (Авилова, Авилов, 1997).

Номограммы дают возможность определить направленность развития микробиального сообщества на момент исследования, спрогнозировать его состояние. Если линия, соединяющая два показателя, от-

клонится от горизонтали по часовой стрелке, то это свидетельствует о растущем микробиальном сообществе (линия «развития»). И наоборот, если линия отклоняется против часовой стрелки, то это свидетельствует о деградации и старении, и, возможно, стрессовом состоянии микробиального сообщества (линия «угнетение»). Чем больше угловое отклонение от горизонтали, тем более ярко выражена динамика этих процессов и нестабильность биохимического состояния экосистемы.

Разработанные номограммы дают количественные критерии оценки геоэкологического состояния водных объектов по биохимическим показателям, содержат принципиально новые подходы для изучения природных процессов и явлений на достоверной количественной базе информационной системы аквагеоэкологии.

Приведенные примеры раскрыли лишь часть возможностей, заключенных в идее применения экспертных систем в аквагеоэкологии. В примерах отражены наиболее общие закономерности, используемые при экспертизе геоэкологического состояния природных объектов. В этом плане их можно назвать «глобальными». Кроме них авторы часто строят и так называемые «локальные» экспертные системы, отражающие специфические свойства конкретных водоемов. Они были разработаны в том или ином виде практически для всех исследованных акваторий, включая Балтийское, Чёрное, Охотское и другие моря, оз. Байкал и т.п. (Авилов, Авилова, 1987, 1997 и др.).

Экспертные системы могут принимать различные формы – численные значения, линии, графики, плоскостные и объемные изображения, модели в реальном и виртуальном формате и другое. Их построение – не самоцель, а достижение эффективности и качества обобщений в аквагеоэкологии. Соответствовать целесообразности экспертные системы будут в том случае, если при их разработке исследователь руководствуется всеми указанными выше принципами создания информационной системы аквагеоэкологии.

Информационная система формируется индивидуально для каждого объекта наблюдения. Информационная система аквагеоэкологии представляет собой достаточно сложный конгломерат специальных подходов и методов отбора и получения необходимой информации, накопления и создания базы достоверных данных, объективного рассмотрения и анализа фактического материала, обоснования результатов и выводов, обеспечения их максимального приближения к истине и высокой степени геоэкологической значимости.

Комплекс измеренных газобиогеохимических показателей (существенных информационных признаков) составляет фактологическую базу экосистемного анализа, указывающего путь к идентификации аномальных явлений, установлению причинно-следственных связей процессов, происходящих в самой экосистеме и пограничных областях. Здесь в качестве достоверной информации выступают только количественные измерения.

Разработанная информационная система предназначена для использования при проведении исследований в столь же широком спектре проблем, сколь разнообразны цели и задачи аквагеоэкологии. Преимущество информационной системы в её гибкости – состав её элементов может меняться в зависимости от сложности задач, но базовый экосистемный подход остается неизменным – использование всех элементов информационной системы. Экосистемный анализ, применяемый авторами в итоговой части методологии обобщения собственного фактического материала, дал возможность по-новому оценить некоторые процессы и явления в разных областях жизнеземлезнания.

#### **1.4. Концепция экосистемного взаимодействия**

Изучение природных экосистем ставится главной целью данной работы. Предварительно надо досконально разобраться с самим понятием экосистема, которое претерпело заметные изменения в процессе развития науки экология и расширения её функций. Рассмотренные выше аспекты и этапы становления аквагеоэкологии, накопленный опыт интерпретации собственного фактического материала дают основание авторам применить диалектический подход к разработке современной трактовки экосистемного взаимодействия. Логика и динамика развития понятия экосистема и свойственного ей характера взаимодействия её составных частей связаны с общими тенденциями и достижениями различных научных дисциплин, имеют глубокие исторические корни. Столь широкий взгляд необходим для максимального приближения к истине в понимании разноплановых взаимодействий между элементами экосистемы, а также в определении побуждающих причин такого взаимодействия и в прогнозировании дальнейшего хода событий.

Понятие экосистема – это плод человеческой мысли, направленной на познание мира, в котором человек живет и с которым он взаимодействует. То есть сам человек является частью экосистемы, но это

осознание пришло не сразу. Термин экосистема родился в науке биология, которая утвердилась, как уже отмечали, в XIX веке. Его появлению предшествовали периоды разъединения и соединения в биологии, свойственные процессу познания в целом. Биология, исходно как единая наука о живой природе, постепенно превращалась в комплекс разнообразных научных дисциплин (зоология, ботаника, физиология, биогеоценология и др.). Немецкий биолог Э. Геккель на рубеже XIX – XX веков выделил раздел биологической науки – экологию, занимающуюся взаимоотношениями между организмами и средой (синэкология и аутоэкология).

Вначале экология занималась чисто биологическими проблемами, взаимодействием организма и видов с внешней средой, то есть продолжилось дробление биологии и конкретизация задач. Но вскоре стало ясно, что эти проблемы гораздо сложнее и их следует решать при более широком взгляде на вещи. Начался объединительный период в экологии, а её исходные задачи сохранились в биологии в разделе, изучающем совокупность организмов, их устойчивые взаимоотношения между собой и средой – биоценоз. Объединительные тенденции в экологии развились из-за недостаточности собственной научной информации, поэтому можно сказать продвинутые идеи пришли в неё извне, а не в результате научной работы. Наверняка здесь сказалась цикличность в восприятии научных знаний коллективным разумом, а также влияющие экономические, общественно-политические и другие факторы. Создалась благоприятная обстановка, то есть пришла пора, и стали вновь востребованы наиболее общие взгляды о целостности мира.

В истории науки их накопилось достаточно за чередующиеся этапы осмысления данных, начиная от философии древних, воззрений эпохи возрождения, на которых уже останавливались выше (раздел 1.1). Это лишний раз подтверждает – нельзя отмахиваться от прошлых достижений и событий, весь опыт человеческой цивилизации в том или ином виде вновь может служить в необходимый момент, в частности, при формировании нового научного направления – аквагеоэкологии. Выразители передовых созидательных настроений в обществе, отчасти названных выше, своими философскими взглядами в определенной степени способствовали формулированию основных постулатов науки экология и её главного понятия – экосистемы.

Во многих областях знаний человек, осмысливая накопившийся эмпирический материал, всё чаще в многообразии событий пытался найти общие закономерности. Например, Л.Н. Толстой в романе

«Война и мир», рассуждая об исторической предопределенности нашествия Наполеона в 1812 г., исходил из принципа: «Несомненно, существует связь между всем одновременно живущим...» А.И. Герцен отмечал, что в природе вечно и непрерывно существует «течение, перелив, движение», причем движение происходит через борьбу двух противоположных тенденций (или стремлений): возникновение и разрушение. Н.Г. Чернышевский «понял этот великий, вечный повсеместный закон. Вечная смена форм, вечное отвержение формы...» Подобные идеи и создали предпосылки главного постулата экологического взаимодействия в природе.

Предшествовавшие высказывания отечественных и зарубежных мыслителей блистательно проанализировал и обобщил академик В.И. Вернадский в известной работе. Рассматривая трактовку «живого вещества» в биологических науках, он пользовался термином биоценоз, но не использовал термин «экология». Это не помешало В.И. Вернадскому сформулировать представление о живом веществе с чисто экологических позиций. Общеизвестно его определение живого вещества, содержащее пять позиций, которые включают: все живые организмы; все необходимые для их жизни вещества из окружающей среды; все выделения организмов; все теряемые при жизни их части; все их останки. Этим определением В.И. Вернадский, по сути, ввел понятие экосистемы и назвал её состав, предвосхитив появление самого термина. При этом он дал важное разъяснение: «Мы будем всех их считать одинаковым проявлением массы, состава и энергии живого – а не мёртвого – вещества». Говоря современным языком, он утвердил, что жизнь проявляется в экосистеме, и дал методику количественной оценки всего живого.

Сам термин экосистема назвал А. Тенсли в 1935 г., имея в виду устойчивую систему динамического равновесия, в которой организмы и неорганические факторы являются полноправными компонентами. Его формулировка менее ёмкая по сравнению с понятием экосистемы (живого вещества), к которому пришел В.И. Вернадский. Но оба эти определения не нашли широкого хождения в научной среде, не были приняты коллективным разумом. Так, в монографии «Океанология» (1976 г.) термин «экосистема» еще не употребляли, хотя активно использовали приблизительно тождественные термины биоценоз, биогеоценоз, биотоп и др.

Наука экология тоже не стояла на месте, постоянно повышая комплексность задач и методов. В наиболее общем, как иногда говорят

«чистом», виде она предстала в трудах Ю. Одума (1975 г.). Здесь понятие экосистема занимает одно из центральных мест и определена как совместно функционирующие на данном участке организмы (биотическое сообщество). Они взаимодействуют с физической средой таким образом, что поток энергии создает четко определенные биотические структуры и обеспечивает круговорот веществ между живой и неживой частями экосистемы. При этом центральной концепцией экосистемы традиционно остается представление о цепях питания и трофических уровнях.

И вновь в науке экология прослеживаем две встречно направленные тенденции – дробление и единение. Динамично следуя первому направлению, в соответствии со словообразующим сочетанием (от греческого *oikos* – дом, место и *logos* – учение, слово) в экологии появляются и функционируют такие научные направления, как экология человека, экология прикладная, ландшафтная экология, промышленная и инженерная экология и другие. В объединительном варианте экологию трактуют как комплекс наук о природе и взаимодействии природы и общества и тому подобное. В соответствии с этими направлениями изменяются понятия экосистемы.

Разные авторы, следуя конкретным задачам исследования в своем разделе экологии, в той или иной степени трансформируют понятие экосистемы, но в центре всегда стоит жизнь, живые организмы. Например, в экологии жилища в состав экосистемы входят дом и его обитатели. В самом общем случае экосистема в своей функциональной части близка к понятию биогеоценоза, но без географичности последнего. Её отличие в том, что размеры экосистемы не ограничены заранее заданными правилами и могут меняться на несколько порядков от мелких локальных структур до всей биосферы.

Налицо динамичное развитие науки экология и, как следствие, многообразие трактовок термина экосистема. Вполне резонно возникает вопрос: что обозначает термин экосистема в аквагеоэкологии? Он также приобретает разные оттенки и постоянно совершенствуется в процессе развития аквагеоэкологии. Исчерпывающий ответ на вопрос может быть дан в контексте преобразований в человеческом обществе, науке, в практической значимости аквагеоэкологических исследований. Заостряем внимание на самых важных факторах.

Периоды объединительных тенденций науки находятся в исторической взаимосвязи с цивилизационными циклами человеческого общества. Конец второго тысячелетия пришелся на закат индустриаль-

ной эпохи, сопровождающийся кровопролитными войнами и техногенными катастрофами и кризисами. Резко возросло народонаселение планеты. Человечество подошло к грани, за которой стало реальной перспектива самоуничтожения в термоядерной войне. В XXI веке человечество вступает в новую постиндустриальную эпоху. На гребне цивилизационного цикла происходит формирование новой постиндустриальной научной парадигмы, ноосферного знания (Яковец, 1999). Выход из кризиса виден в смене взглядов на закономерности развития природы и общества, служащих основой для успешных управленческих решений. Среди наук в лидеры выходят науки объединительных тенденций – науки о жизни, о человеческом обществе. Первостепенное значение приобретают междисциплинарные исследования, синтез наук. Этот глобальный исторический фон способствует синтезу геологии и экологии на океанологической основе в виде нового научного направления – аквагеоэкология.

Более конкретные побуждающие мотивы синтеза геологии и экологии рассмотрены подробно в предыдущих публикациях авторов (Авилов, Авилова, 1997; 2003б; 2008 и др.). Сложившаяся индустриальная научная парадигма оказалась не в состоянии распознать суть процессов в нефтегазовой геологии, морской экологии, важных с позиции практики. Понимание того, какое воздействие – естественное или техногенное, доминирует в изучаемой экосистеме, оказалось необходимым для теоретического представления и практических действий в разумном природопользовании. Раздельно ни экология, ни геология не располагают достаточной теоретико-методологической базой для всестороннего изучения сложных природных явлений и выдвигаемых жизнью проблем. Это под силу объединенной, синтезированной науке, называемой аквагеоэкология. Развиваются смежные науки, практически одновременно в 70–80-х годах XX века формируется общественная необходимость и возникает экспериментальная возможность геоэкологических исследований, что является объективной побуждающей причиной зарождения нашей новой методологии проведения морских геоэкологических (аквагеоэкологических) наблюдений. Понятие экосистема было заимствовано из общей экологии как совокупность растительных и животных организмов, среды их обитания, находящихся во взаимодействии и взаимосвязи. Для дальнейшего прогресса в аквагеоэкологических исследованиях требуется развить представление об экосистеме.

Понятие «экосистема» в значительной мере связано с задачами и методологией исследований. Исходя из современных представлений, авторы для поиска ответов исследуют и определяют место аквагеоэкологии среди других наук (Авилов, Авилова, 2009а; 2009б; 2009д и др.). К настоящему моменту в прикладной науке уже сложилось достаточно много научных дисциплин, где базовые подходы геологии и экологии соединяются и довольно хорошо дополняют друг друга. Сформировались такие научные направления, как геология окружающей среды, ландшафтная экология и часто употребляемые как их синонимы – экологическая геология и геоэкология (Трофимов, 2008; Троль, 1972). Но отдельные понятия ещё не устоялись и являются предметом дискуссий. Поэтому авторы, проведя соответствующие и необходимые исследования, разработали схему иерархических связей между различными ступенями синтеза геологии и экологии, сформировавшиеся в самостоятельные научные направления, и определили среди них место аквагеоэкологии (Авилов, Авилова, 2009а; 2009д).

Для придания стройности и логичности построения этой схемы, даем название объединенному геолого-экологическому направлению – «жизнеземлезнание», которое помещаем на высшую ступень (1 уровень) иерархической лестницы. В жизнеземлезнании выделяем две ветви, занимающие ступень ниже (2 уровень) – экогеологию и геоэкологию. Ещё ниже (3 уровень) размещаем геологию окружающей среды и литоэкогеологию (экогеологическая ветвь), а также ландшафтную экологию и аквагеоэкологию (геоэкологическая ветвь). Как видим, считавшиеся ранее синонимами термины разнесены по разным ступеням (уровням), исходя из сути стоящих за ними понятий (Авилов, Авилова, 2009д). Главное достоинство такого построения в делении жизнеземлезнания на две ветви по различающимся методам исследования. Обе они принципиально отличаются методологией изучения природных объектов: в одном (экогеологии) преобладает геосистемный подход, в другой (геоэкологии) – экосистемный подход. Этим предопределена наиболее продуктивная методология аквагеоэкологии (входящей в геоэкологическую ветвь) – экосистемный подход.

Суть экосистемного подхода в том, что изучаемый природный объект рассматривается не сам по себе, а как экосистема. Изучаемые свойства и характеристики объекта существуют не сами по себе, а есть результат экосистемного взаимодействия. И эти свойства, характеристики проявляются, высвечиваются в экосистеме. Вопросами эко-

системного взаимодействия занимается экосистемный анализ. В нём доминирующую роль отводим жизненным явлениям.

Экосистемный анализ нацелен на определения экологического состояния и других показателей биотического сообщества, выявление причинно-следственных связей между элементами экосистемы, а также на изучение внешнего воздействия на экосистему. В этом плане экосистема выглядит не только как смесь или симбиоз живого и неживого, но и как живой своеобразный организм. Из этого следует вывод, что понятие экосистемы очень тесно связано с представлением о явлении «жизнь». Чтобы полнее уяснить эту сторону понятия экосистемы в аквагеоэкологии, необходимо акцентировать внимание на роли жизни в экосистеме. То есть проблема жизни входит в круг интересов аквагеоэкологии. Для исследования этой проблемы эффективным образом применяем разработанный нами механизм решения задач аквагеоэкологии – её информационную систему.

Строим информационную систему специально для изучения проблем жизни в соответствии с разработанными принципами. Но на первых же шагах, при выделении существенных информационных признаков возникают серьезные затруднения. Дело в том, что во все века существуют разные трактовки понятия «жизнь». Так, В.И. Вернадский пишет: «Понятие «живого» не создано наукой. Оно вошло в неё извне как создание здравого смысла, донаучного народного знания. ... Резкое отличие живого от мертвого является аксиомой ...» Это высказывание можно рассматривать как своеобразное признание великим ученым факта отставания науки от практики в вопросе о жизни. Дело в том, что, руководствуясь принципом биогенеза (например, всё живое всегда происходит из живого же – итальянский исследователь Ф. Реди, XVII век), наука на исторических этапах из-за отсутствия достаточных знаний не могла объяснить многие явления природы. Но человек так устроен, что для его душевного равновесия необходимо найти всему объяснение. Вспомним ребёнка в возрасте почемучки – пока ему не скажешь, что его нашли в капусте, он не успокоится. Младенческое восприятие сохраняется в общности людей – если наука не в состоянии объяснить какие-то факты и события, то людям нужна вера для сохранения спокойствия нации и её поступательного развития. К тому же вера спасает от противоестественных научных течений и догм. То есть человеческое общество для практических нужд всегда строило систему взглядов на мир, создавало необходимое мировоззрение, упреждая науку.

Древние использовали философские взгляды, где четыре начала объясняли проявление живого (допускали образование четвероногих, высших организмов из земли, ила и тому подобное). В мифах божества любви, создатели жизни Астарт и Афродита рождались из морской пены. В естествознании появились теории о самопроизвольном зарождении жизни, например, у насекомых, которые вылились в два научных течения. Абиогенез – происхождение живого из мертвой материи; гетерогенез – образование организмов при особых условиях из зародышей, принадлежащих организмам другого рода. Эти идеи держатся тысячелетиями, с ними частично считался Аристотель. В XVII веке признание постоянно совершающегося гетерогенеза было широко распространено и господствовало среди ученых, духовенства, влиятельных кругов государств. Возражать можно было только с большой осторожностью.

Оба генеральных направления находятся в длительном историческом противостоянии, но под натиском научных достижений чаша весов постоянно склоняется в пользу биогенеза, и это следует держать в уме. Хотя поиски первоначала, эксперименты в поддержку абиогенеза присутствуют до сих пор. Его выразителями часто становятся крупные ученые, которые в момент своих высших достижений в конкретной научной дисциплине вдруг начинают сомневаться в ценности этих научных изысканий, столкнувшись с необъяснимым фактом, не вписывающимся в их теории, или отсутствием достаточной аргументации.

В последнее время неуверенность в истинности научных результатов чаще всего наблюдается в сфере науки о жизни, общественных и иных наук. Кризис в науках обостряется на гребне цивилизационных циклов (Яковец, 1999) и сопровождается возрождением религиозных верований. В России кризис марксистской философии, её отставание от практики привели к краху коммунистической идеологии (научного коммунизма), способствовали распаду СССР и возрождению православной церкви на тяге людей к вере, как альтернативе.

Возвращаясь к общей тенденции преобладания идей биогенеза констатируем, что В.И. Вернадский, анализируя явление жизнь с геохимических позиций, сделал шаг в сторону сближения позиций обоих генеральных направлений – биогенеза и абиогенеза. Он разделил окружающую организмы материю на две части – биокосную и косную. Не принижая принципа биогенеза, В.И. Вернадский несколько отошел от него – ввёл широкое понятие живое вещество, в котором объединил живые организмы и биокосную материю, оставив неживой материи

только косные вещества. Это был вынужденный шаг, чтобы легче было установить причинно-следственные связи в природе, поскольку многие явления и внешние события оставались неясными. Однако этим шагом отставание науки от практики в естествознании до конца не было преодолено.

Спустя почти век, есть возможность развить эту тему, выделив следующее. Наука экология, включая понятие экосистемы, имеет глубокие исторические корни, но ещё не смогла обобщить богатый эмпирический материал и сформулировать достоверное представление о жизни, чтобы быть воспринятой в полной мере коллективным разумом. Современные теоретические положения всех разделов экологии раскрывают лишь отдельные стороны экологических взаимодействий в природе и обществе. Корень проблемы – в отсутствии четкого понимания и определения явления «жизнь» – базового понятия экологии и её производных наук. Пока не будет дан окончательный ответ на вопрос: может ли живое быть образовано из неживого? – никакие рассуждения об экосистемном взаимодействии (по существующим представлениям между элементами экосистемы, живым и неживым) не будут до конца достоверны. При нынешнем состоянии вопроса наверняка возможны разнонаправленные выводы и, как следствие, двойные стандарты в экологических оценках и конфликт мнений.

Современные трактовки понятия «жизнь» не дают повода для оптимизма, так как отражают самые общие взгляды на живое, не устраняя тем самым отставание науки в решении практических задач. В охране природы (Толковый словарь..., 1995) используют следующее определение: «Жизнь – явление природы, сущностью которого является постоянная самоорганизация, в первую очередь, на основе увеличения размерности собственного пространства на базовых переменных (пространства жизни)». Во вступительной статье коллективной монографии «Проблемы зарождения и эволюции биосферы» (2008 г.) сформулировано обобщенное определение жизни: «жизнь – это явление возрастающего и наследуемого упорядочения, присущее при определенных условиях химической истории соединений углерода» (Галимов, 2008). Известное изречение К. Маркса «Жизнь есть форма существования белковых тел» несколько обособило и конкретизировало исследования по проблеме жизни, которые сконцентрировались в науке биохимия и дали заметный практический выход. Углубленное изучение внутриорганизменных и внутриклеточных процессов раскрыло явление жизнь сразу с нескольких сторон. Прежде всего – это отме-

чаемый всеми высокий уровень структурной организации (упорядоченность), а также виды взаимовлияния живых организмов и взаимодействия с внешней средой. Последнее имеет ярко выраженный экологический характер, подробно рассмотренный в теории биохимического состояния природной среды в предыдущих работах (Авилов, Авилова, 2008; Авилова, Авилов, 1990 и другие). Сделан важный вывод, что все характерные черты и свойства живого должны входить в информационную систему для изучения жизни в качестве существенных информационных признаков (раздел 1.3), а также признаков проявления живого в экосистеме. К ним относим не только главенствующие биохимические показатели (АТФ и ЩФА), но и различные биологически активные вещества, выбираемые в зависимости от направленности аквагеоэкологических исследований. Экосистемный анализ направлен на выявление признаков проявления жизни в экосистеме под воздействием биологически активных веществ разного генезиса.

Внедрение человека в новые экосистемы (космос, океан и другое) и соответствующий прогресс науки постепенно переводит всё большее число веществ косного типа в биокосные. Например, обычно инертный газ азот при водолазных работах на больших глубинах оказывает наркотическое действие, то есть в определенных ситуациях должен быть отнесен к биокосным веществам. Деление веществ на косные и биокосные становится несколько условным. Такой консервативный подход приводит к искаженным результатам в практической деятельности. При изучении природных экосистем необходим новый подход – деление веществ по характеру их взаимодействия в экосистеме (Авилов, Авилова, 1986; 2008 и др.). Многолетние авторские исследования природных экосистем в натурных условиях позволили выделить четыре группы признаков проявления жизни в экосистеме: обнаружение живого организма и его останков, упорядоченность вещества; наличие потоков вещества и энергии для поддержания структурной упорядоченности; высокоскоростные процессы для эффективных внутренних превращений; обнаружение двух и более одинаковых объектов или явлений как функция обмена информацией, в том числе наследственной (Авилов, Авилова, 1986; 1991; 2001; 2001а; 2002; 2003; 2009д и др.).

Рассмотренные характерные качества живой материи и соответствующие им признаки проявления жизни во внешней среде (Авилов, Авилова, 2009д) создают теоретические предпосылки для разработки информационной системы специально по проблеме жизни. По составу

эта система сложнее всех предыдущих. В неё входят существенные информационные признаки, а также вводим дополнительную информацию – факты, сгруппированные вокруг названных выше признаков проявления жизни (4 группы), сведения о необычных, аномальных событиях, наблюдаемых в Природе. Задачи такой системы также несколько шире – исследовать любые экосистемы, а не только те, в которых возможны прямые измерения биохимических показателей. Усложняется и анализ массива данных, когда к имеющимся методам добавляем логические построения. Соответственно результаты исследований носят оттенок предпочтительности суждений, свойственной новым идеям и концепциям.

Все в сумме приведенные выше доводы и выводы позволяют авторам сделать очередной логический шаг – признать всю материю живой. Выделить для всего материального единое качество – способность выполнять жизненные функции и назвать его «жизненность». Все элементы материального мира имеют свой уровень жизненности. Экологическое значение этого качества выразится в разной степени активности его проявления в экосистемах. Такой подход приводит к заключению, что жизнь нельзя выделить (определить) саму по себе, её необходимо характеризовать через экосистемное взаимодействие.

Экосистемный анализ прямых и косвенных проявлений жизни приводит к некоторым общим заключениям, изложенным тезисно. Разные стороны явления «жизнь» находят отражение в конкретных проявлениях в окружающей среде и соединены с ними определенной логической связью. Жизнь может существовать и развиваться только в экосистеме. В экосистеме материя становится живой и в результате экосистемного взаимодействия приобретает разнообразные формы жизни. Все формы жизни и их проявления находятся в постоянном взаимодействии и взаимосвязи. Степень жизненности материи обнаруживаем и измеряем по интенсивности её проявления в экосистеме. Жизнь, подобно материи, не возникает ниоткуда и не исчезает, а переходит из одной формы в другую.

Опираясь на современный уровень знаний, выделяем как минимум четыре формы жизни (в порядке возрастания их сложности и уменьшения изученности): вещественную, белковую (углеродную), информационную и космическую.

Вещественная – включает вещества в виде физико-химических соединений и их структурных образований.

Белковая (углеродная) – объединяет живые существа с ведущей ролью белков в процессах жизнедеятельности.

Информационная – содержит сведения, выполняя роль памяти живой материи.

Космическая – является накопителем и преобразователем вещества и энергии.

Каждая форма жизни имеет множество сосуществующих видов и требует постоянной подпитки для сохранения собственной структурной организации. Высказанные положения все вместе составляют концепцию существования живой материи и дают определение понятию «жизнь». Теперь термины материя, живая материя, жизнь используем как синонимы. Признание всей материи живой меняет методологию познания природы и имеет ряд преимуществ. Вот некоторые из них.

Наука получает в свое распоряжение более совершенную методологию изучения природных явлений в единстве со всем миром. Её применение наиболее эффективно в той области, где специализированные исследования зашли в тупик. Экосистемный подход в решении таких задач поможет открыть в них варианты новых, обычно упускаемых из вида взаимодействий. Но экосистемный анализ не исключает применения апробированных методов геоэкологии особенно в её прикладных дисциплинах. При этом только надо иметь в виду, что окружающая среда, составляющая её «неживое» вещество, по сути, – частный случай живого, но с низким уровнем жизненности, влияние которого в конкретной практической задаче можно пренебречь. Однако в принципиальных, постановочных вопросах жизненность окружающей среды необходимо учитывать.

В науке постепенно исчезает многовековое противостояние концепций биогенеза и абиогенеза, что освободит умы для построения более логичного мироздания и приблизит достижения интеллекта к практике. Разительное отличие живого и мертвого в коллективном разуме (общественном сознании) уступит место экологическим воззрениям о взаимосвязи форм жизни в едином мире. Есть надежда, что это позитивно скажется на самооценке человека и поддержит его созидательное начало, снизит риски самоуничтожения человечества.

В проявлении общего свойства материи – жизненности – находит продолжение воззрение древних о единстве мира и вечности жизни, отдельными частями входят мифы и легенды и, уж конечно, нашли место достижения науки во все времена. Это вдохновляет тем, что никакая мыслительная деятельность не пропадает даром, а переходит в

информационную и космическую формы жизни, и в определенный момент она может быть востребована.

Признание всей материи живой, выделение форм существования живой материи вносит определенность в основные понятия аквагео-экологии. Формулируем в окончательном виде основополагающие понятия **концепции экосистемного взаимодействия**. **Экосистема** – это элемент или объем живой материи, содержащий все формы жизни разной степени активности или жизненности и находящейся в единстве с окружающим миром (материей). **Экосистемное взаимодействие** включает влияние друг на друга различных форм и видов жизни в любых сочетаниях и в зависимости от степени их активности или жизненности. **Экосистемный анализ** предполагает детектирование признаков проявления разных форм жизни в экосистеме, определение степени их активности (жизненности), изучение характера взаимодействия различных форм и видов живой материи, интенсивности их влияния друг на друга, выявление причинно-следственных связей такого взаимодействия, выяснение неизвестных и объяснение загадочных природных явлений и закономерностей.

Предложенные формулировки в сумме раскрывают концепцию экосистемного взаимодействия. Приняв её базовые положения, уточняем элементный состав информационной системы аквагеоэкологии. В него кроме показателей белковой материи включаем признаки всех остальных форм жизни. Это повлечет увеличение объема существенных информационных признаков и количества измеряемых компонентов, а также методов измерения, включая разработку новых. Косвенные признаки проявления других необычных форм жизни могут быть включены в базу достоверных данных. За ростом элементной базы информационной системы последует вовлечение в анализ новых связей и взаимодействий всех видов и форм жизни. К плюсам следует отнести незыблемость принципов её построения. Они вполне пригодны и действенны и в этой усложненной информационной системе, что подтверждает её высокую гибкость и практичность. Указанные свойства позволяют уже сейчас применить разработанную информационную систему и предложить решение многих проблем жизни, хотя бы на концептуальном уровне. Приведём тезисно отдельные примеры по взаимодействию форм жизни и их проявлений в экосистеме.

Все виды и формы жизни обмениваются между собой веществом, энергией и информацией. Выделяем преобладающее направление обменных процессов. Вещественная и белковая формы жизни воспри-

нимают и передают различные виды информации, поступающие от информационной формы жизни, в частности, вещественная принимает информацию от белковой формы жизни. Вещественная форма жизни передает вещество и энергию белковой субстанции, а та, в свою очередь, транспортирует информацию и энергию в информационную и космическую формы жизни, соответственно. Космическая форма жизни при содействии информационной формы преобразуется в вещественную форму жизни, порождая звезды, планеты и тому подобное. Взаимодействие форм жизни осуществляет круговорот жизни, а значит и материи, во вселенной.

Разные виды живой материи воспринимают из массива информации ту, которая приемлема и может быть реализована в конкретных условиях экосистемы. Для таких случаев вводим понятие «благоприятная экосистема». Оно объединяет в себе используемые более расплывчатые представления «благоприятная обстановка», «благоприятное стечение обстоятельств» и другое. Понятие благоприятная экосистема даёт более чёткое представление об условиях проявления жизни в экосистеме. Например, споры растений, зерно могут долгие годы сохраняться, мало чем, отличаясь от «неживого», то есть практически с нулевой жизненностью. Но попав в благоприятную экосистему, они воспринимают информацию в виде тепла, света, влажности и начинают проявлять высокую степень жизненности, вырастая до гигантского по сравнению с исходным размера. Кстати, зерно может сгнить, сгореть в неблагоприятной экосистеме.

Концепция экосистемного взаимодействия позволяет развить и уточнить различные течения «теории панспермии», предложенные на рубеже XIX–XX веков многими естествоиспытателями. Её рациональное зерно в том, что жизнь распространена повсеместно в мировом пространстве и продолжилась на Земле в благоприятных условиях, уточняем – благоприятной экосистеме. Концепция панспермии полностью не воспринята, поскольку таит много нерешенных проблем. Главное – ставится под сомнение возможность пребывания в космосе белковой жизни в виде мельчайших спор организмов, а также ограниченность их распространения из-за перемещения с малыми скоростями, например, вместе с космической пылью, метеоритами и другое. Проведенный авторами экосистемный анализ, исходя из нашей концепции о единстве материи и жизни, позволяет этой гипотезе дать новое звучание. В космосе повсеместно распространена не белковая, а жизнь в информационной и космической формах, имеющих

возможность перемещаться с колоссальными скоростями (больше скорости света). Их взаимодействие с вещественной формой (или в результате их воздействия на неё) приводит к переходу в белковую жизнь в благоприятных экосистемах на космических телах, на Земле.

Проблема появления белковой жизни на Земле вроде бы опять приходит к неразрешимому абиогенезу. Но при новых подходах к анализу проявлений жизни в земной экосистеме всё выглядит принципиально по-иному. В коллективном разуме растут представления о вырабатываемой биотой (белковой формой жизни, включая человека) информации и энергии, которая постоянно или периодически отсылается в космос. По нашей концепции подобные проявления означают, что в результате жизнедеятельности биотой вырабатываются определенные виды информации и энергии (кроме тепловой), подпитывающие глобальную информационную и космическую форму жизни. Авторы предполагают существование такой же функции в вещественной форме жизни, хотя бы как частный случай общего круговорота жизни (Авилов, Авилова, 2009д).

Наука здесь тоже не стоит в стороне. Установлен научный факт мгновенного уменьшения веса человека на десятки грамм в момент ухода из земной жизни. Считаем аналогичное и с другими видами организмов (к сожалению, нет исследований в этом вопросе). Такому факту не найдено достоверного объяснения, однако с позиции предложенной концепции экосистемного взаимодействия становится понятно. При смерти белковое образование переходит частями в вещественную, информационную и космическую формы жизни. Конкретно – теряемая масса превращается в сгусток энергии по известной формуле А. Эйнштейна.

Природа даёт нам множество примеров обратимых реакций и процессов. По аналогии при рождении белкового образования идёт обратная процедура – вещественная, информационная и космическая формы жизни частями переходят в белковую форму, создавая живой организм. Соответственно около четырех миллиардов лет назад взаимодействие вещественной и информационных форм живой материи под импульсом сгустка энергии привели к появлению белковой жизни на Земле. Дальнейшая эволюция живого также протекала при содействии информационной формы жизни, когда биота шаг за шагом воспринимала к действию все более сложную информацию. Эта процедура случается в благоприятных экосистемах. Концепция в такой трактовке вполне приемлема, и даём ей название **«всежизнь»**.

Авторы подробно остановились на концепции всежизни, так как её подходы играют большую роль при изучении отдельных природных экосистем. Применение концепции всежизни в рамках информационной системы аквагеоэкологии показано в последующих главах. Полученные авторами результаты натурных исследований рассматриваем как подтверждение практикой теоретических положений концепции всежизни.

## **2. АКВАГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА ЭКОСИСТЕМ**

Экспертиза как вид государственной и общественной деятельности находит широкое применение при разработке хозяйственных планов и производственных проектов с точки зрения оценки эффектов их воздействия на окружающую среду. Суждение специалиста об эффективности плановых и проектных решений и их соответствии экологическим требованиям обычно опирается на прежний опыт, отдавая приоритет медико-биологической безопасности. Однако экспертиза постепенно охватывает все более широкий круг проблем взаимодействия человека и природы. В её обязанности входит решение и обратной задачи – воздействие природных факторов на творение рук человеческих. Методология экспертных оценок приобретает геоэкологическую направленность. В обиход вводятся такие понятия, как геориски, природные катаклизмы, устойчивые экосистемы, катастрофы экологические и другие. Аквагеоэкологическая экспертиза природных экосистем носит междисциплинарный и многокритериальный характер, поэтому широту наблюдений обеспечивает геоэкологический подход к экспертизе природных экосистем, который созвучен разработанной авторами методологии аквагеоэкологических исследований (Авилов, Авилова, 2008; 2009д).

Актуальность такой постановки вопроса проистекает из необходимости минимизировать последствия кризисных явлений в природных экосистемах, прежде всего – ущерба действия на биоту и среду её обитания (отдельные водные объекты или всю гидросферу). К тому же в различных сферах жизни накопилось немало обратных примеров. Редко какое промышленное производство, в том числе энергетической отрасли обходится без потребления водных ресурсов. В отдельных промышленно развитых регионах общий объем водопотребления приближается, а иногда превосходит естественные притоки

эксплуатируемых водных объектов. Загрязненные промышленные стоки, возвращаемые в те же объекты, ухудшают экологическую ситуацию в зоне природных водных систем. Значительный экологический ущерб наблюдался в районах разработки нефтяных и газовых месторождений, например, на о. Сахалин (Геодекян, Авилов, Авилова, 1994). Авария на морской скважине компании ВР в Мексиканском заливе в 2010 г. сопровождалась длительной утечкой нефти, приведшей к экологической катастрофе у берегов Америки. Одноразовая техногенная нагрузка на водные экосистемы периодически возникает при транспортировке углеводородного сырья трубопроводным, речным, морским транспортом. Вероятность аварий повышают объективно существующие геориски. Они могут отрицательно влиять на локальные участки ландшафта длительное время. Так, исследуя последствия аварийного разлива мазута танкером «Глобе Асими» при ураганном ветре, ученые установили негативное длительное влияние нефтяного загрязнения на различные звенья экосистемы прибрежной части Балтийского моря на протяжении 90 км от места катастрофы в порту Клайпеда (Авилова, 1984). Геовоздействия могут стать причиной аварий на нефтяных и газовых трубопроводах (Авилов, Авилова, 2007).

Геориски находятся в зоне повышенного внимания со стороны человеческого сообщества. Ураганы, наводнения, землетрясения происходят по всему Миру. Природные катаклизмы наносят колоссальный экономический и социальный ущерб многим странам и народам, вызывая дополнительно техногенные катастрофы с заметными негативными последствиями. Стихийные бедствия ежегодно затрагивают массы людей, например, в Китае в 2006 году количество пострадавших от тайфуна «Билис» превысило 29 миллионов человек (Статистика..., 2008). В некоторых странах убытки в социально-экономической сфере исчисляются миллиардами долларов, например, недавний авиатранспортный коллапс в европейских странах в апреле 2010 г. как результат мощного извержения вулкана в Исландии с выбросом огромного количества пепла в атмосферу. Правительства многих стран придают значение проблеме геоэкологических рисков, вызванных действием сил природы, разрабатывают программы их прогнозирования, уменьшения ущерба и ликвидации последствий катастроф.

В нашей стране в 1993–1995 гг. была реализована Государственная Программа «Экологическая безопасность России», которая заострила внимание органов управления и научной общественности на этой важной стороне жизни страны. Результаты исследований по этой Про-

грамме положили начало экологическому мышлению на государственном уровне. Однако многие ценные разработки не нашли должного практического воплощения. К ним можно отнести вопросы рационального водопользования. Вместе с тем чрезмерные антропогенные нагрузки на водосборной площади приводят к деградации водного объекта, делают его менее устойчивым к внешнему воздействию, усиливая пагубные последствия природных и техногенных катаклизмов.

Изменения могут вызвать истощение водных ресурсов, затрагивая всю экосистему в целом, включая человека. Не случайно при возникновении чрезвычайных ситуаций в зоне водных объектов первым дефицитом становится питьевая вода, поскольку природные источники оказываются уже давно загрязненными и непригодными для этих целей. На недавней памяти жители и туристы черпали воду непосредственно с берега из озера Байкал для приготовления пищи, что сейчас противопоказано. Её даже применяли как очень чистую при некоторых химических анализах. Ухудшилась ситуация с поддержанием экологической целостности речных экосистем (Красногорская, Елизарьев, Фащевская, 2008). Возникла необходимость экспертизы водных объектов для принятия решения их включения в систему водопользования.

Многоплановость проблемы выдвигает в число актуальных комплексные подходы к её решению. Ставится задача повысить научную обоснованность экспертных оценок. Один из вариантов её решения разработан и защищен авторами в рамках названной Госпрограммы по теме 5.2.1.20. Материалы изданы в виде Методических указаний «Оценка экологического состояния водных объектов по биохимическим показателям» (Авилова, Авилов, 1997). Дальнейшие исследования авторов привели к созданию нового синтезированного научного направления – аквагеоэкология, основанном на едином методологическом экосистемном подходе к общему решению совместных вопросов экологии, геологии и океанологии. Разработаны теоретические основы аквагеоэкологии (Авилов, Авилова, 2008), определен широкий спектр направлений исследований в геоэкологии в пределах гидросферы (Авилов, Авилова, 2007; 2009д), найдены практические решения вопросов экспертизы водных объектов как природной экосистемы путем оценки их геоэкологического состояния (Авилов, Авилова, 1997а и др.).

Цель аквагеоэкологической экспертизы состоит в получении достоверного заключения о пригодности изучаемого водного объекта в рациональном использовании водных ресурсов, названном среди

главных в утвержденном Президентом РФ (2006 г.) Перечне приоритетных направлений развития науки, техники и технологий. При этом решаются задачи различных уровней геоэкологической значимости: сбор информации, паспортизация объекта, оценка его геоэкологического состояния, соответствие природоохранным нормативам, выявление действующих на него факторов и явлений, прогнозирование и мониторинг его состояния, составление обоснованного заключения о возможности использования объекта в сфере хозяйственной деятельности, оценка устойчивости его экосистемы в чрезвычайных ситуациях, проведение необходимых природоохранных мероприятий и другое. Уровень задач выбирается исходя из экологического, культурного, производственного предназначения водного объекта.

Названные вопросы решает аквагеоэкологическая экспертиза. Для каждого изучаемого водного объекта или связанного с ним явления составляем собственную информационную систему. Аквагеоэкологическую экспертизу наделяем единым методологическим, экосистемным подходом – исследовать природные объекты как экосистемы, рассматривать во взаимодействии биотическую и абиотическую её составляющие, отдавая предпочтение первой из них и учитывая степень жизненности её элементов.

В этой и последующих главах приведены и обсуждены результаты многолетних натурных наблюдений и лабораторных экспериментов, выполненных авторами, начиная с 1972 г. Исследования основаны на собственном фактическом материале, полученном в экспедициях по разным акваториям и при экспериментальном моделировании. Работы выполняли в соответствии с целями и задачами конкретных экспедиций, тематикой лабораторий, договорных обязательств и сверх того – по инициативе авторов с учетом личных научных интересов. Как следствие, исследованиями охвачен широкий круг проблем в различных научных направлениях – биохимии, гидробиологии, океанологической техники, нефтегазовой геологии, геохимии газов, загрязнения и охраны окружающей среды, рационального природопользования, аналитических методов и средств по этим направлениям. Геоэкологическая экспертиза водных экосистем носит междисциплинарный и многокритериальный характер, поэтому широта выполняемых наблюдений обеспечивает выявление, оценку и прогнозирование природного и техногенного воздействия на природные комплексы, что является главной методологией экспертизы природоохранных проектов и вопросов эффективного использования природных ресурсов.

Инициатива авторов выражалась в том, что все работы имели аквагеоэкологическую направленность. Это проявлялось в подходе к выбору и тщательности изучения объектов, комплексности исследований, когда измеряли сразу несколько показателей, что практически всегда превышало требуемый объем работ в разы, и другое. Авторами постоянно двигал интерес к получению достоверной информации в неизведанных ранее местах, выяснению причин обнаруженных фактов, выявлению закономерностей или случайностей их появления в природной среде. В связи с этим предметом исследований стали многочисленные природные объекты и явления, которых насчитываем несколько сотен.

Используя специфику каждого объекта и исходя из имевшихся технических и приборных возможностей, применяли полномасштабные или ограниченные по числу методики измерения содержания компонентов, что учитывали при анализе и обобщении полученных данных и отмечали в соответствующих отчетах и научных трудах. Полученные результаты подробно рассмотрены и отражены в более 300 публикациях. Всё своеобразие использования методик укладывается и входит в разработанную и апробированную годами технологию аквагеоэкологических исследований, которую в сжатом виде представляем в следующем разделе книги.

## **2.1. Технология аквагеоэкологических исследований**

Эта технология отличается от простого сбора всевозможных данных по наблюдаемому природному объекту. Она естественно вобрала в себя весь опыт выполнения научно-исследовательских работ, адаптировала его к своим целям и задачам и включила новые специальные элементы, реализующие принципиальные подходы к изучению природы, заложенные в концепции экосистемного взаимодействия. В технологии выделяем две части – выбор предмета изучения и построение для него собственной информационной системы с учетом специфики методов аквагеоэкологии (Авилов, Авилова, 2008 и др.).

Первая часть, хотя в основном соответствует традициям в естественных науках, достаточно своеобразна в рамках жизнеземлезнания, куда, напомним, входит интересующая нас аквагеоэкология (раздел 1.2). После постановки проблемы, определение цели и задач по изучению природного объекта выбираем научное направление, в котором они достигаются с наибольшей эффективностью – экогеологию или

геоэкологию. Свойственная каждой из этих ветвей жизнеземлезнания методология позволяет конкретизировать в реальном масштабе границы изучаемого предмета. В аквагеоэкологии используем экосистемный подход к выделению объекта наблюдения в виде экосистемы, как элемента или объема живой материи (раздел 1.4).

Исходя из целей и задач аквагеоэкологии, определяем объектом изучения всю гидросферу в целом и её отдельные составные части, включая донные отложения. Выделение природного объекта в конечных границах происходит не стихийно, а в силу определенного единообразия и целостности предмета наблюдения по сходным свойствам и качествам. Ответственный выбор объекта служит залогом успешного выполнения исследования. В аквагеоэкологии к выделенному объекту подходят не как к изолированному предмету, а как к экосистеме, пространственно ограниченной, но находящейся во взаимосвязи и во взаимодействии с окружающей средой (Авилов, Авилова, 2009д и др.).

Практикой подтверждена целесообразность деления экосистем гидросферы по разным признакам – на глобальные, региональные и локальные в пространственно-временной ориентации. Определяем разные типы экологического состояния: норма, эвтрофирование или токсикация – по степени развития микробиального сообщества; естественное и загрязненное – по генезису воздействующих факторов на экосистему (Авилова, Авилов, 1997; Dmitrievsky, Avilov, Avilova, 1999 и др.).

Для двух ветвей аквагеоэкологии сложились разные подходы к определению объекта наблюдения. В литоакваэкологии выделение экосистем обоснованно происходит по пространственно-территориальному признаку на базе сейсмических данных и структурных построений, например, актуальное с позиций нефтегазоносности выявление пограничных структур платформ и плит (Бондаренко, 2009). В геоэкологии океана к обязательным относим объекты, обычно изучаемые в океанологии – вся водная толща и верхний слой донных отложений. В общем виде объектом наблюдения является вся гидросфера плюс контактные зоны. Детализируя, назовем поверхностные, глубинные и придонные воды, лед, снег, донные отложения, подземные воды, влагосодержащие участки литосферы.

Вторая часть технологии аквагеоэкологических исследований гораздо больше по объему и, по сути, представляет собой собственно технологию или механизм реализации целей и задач по изучению выделенного объекта, то есть построения для него информационной сис-

темы в соответствии с изложенными выше принципами (раздел 1.3). Специфика технологии заключена в определенной последовательности выполнения работ. Она включает единый методологический подход к решению любых задач по изучению природного объекта путем выполнения следующих разделов работ: наполнение информационной системы существенными информационными признаками; оценка аквагеоэкологического состояния изучаемой природной экосистемы; выявление формирующих это состояние процессов и явлений; экспертное заключение о геоэкологической особенности водного объекта, его пригодности для практических целей; прогнозирование изменений в его состоянии и необходимость природоохранных мероприятий. Отсутствие информации по какому-нибудь из разделов снижает достоверность аквагеоэкологической оценки и выводов, а иногда уводит исследователя за рамки аквагеоэкологии в область решения узких специальных задач.

Формирование информационной системы начинаем со сбора данных по природному объекту при его тестировании. Тестирование направлено на выбор характерных точек в объекте, измерение в них главенствующих показателей проявления жизни в экосистеме и проведение аквагеоэкологической экспертизы состояния экосистемы.

Учитывая многообразие целей изучения водных объектов, а также различия и особенности последних, устанавливаем пять основных этапов тестирования с последовательным усложнением задач и увеличением числа проб и параметров наблюдения.

1 этап – определение аквагеоэкологического состояния на момент исследования.

2 этап – выявление отклонений от нормы.

3 этап – изучение факторов среды, влияющих на состояние водной экосистемы.

4 этап – поиск очага загрязнения.

5 этап – площадная съемка и картирование объекта.

Количество тестируемых точек объекта и число измеряемых в них компонентов возрастают от этапа к этапу (Авилов, Авилова, 1997; 2009д и др.). Этапность работ зависит от решаемых задач аквагеоэкологической экспертизы и может меняться в зависимости от состояния самого изучаемого объекта, выявленного в процессе тестирования.

Как видно требуемая емкость информационной системы различна, в чем реализован принцип разумной достаточности созданной информационной системы. Рациональное размещение точек тестирования не

менее важно. Положение точек, где производят измерение прибором или отбор образцов воды и донных осадков для определения различных компонентов, должно отвечать требованию о представительном фактическом материале. С этой целью точки тестирования (отбора проб на станциях) располагают равномерно по исследуемому водному объекту. Их не следует размещать непосредственно у границ объекта, избегая тем самым краевого эффекта.

Количество станций должно, прежде всего, определяться задачами исследования по каждому из этапов тестирования. Кроме того, оно зависит от типа самого водного объекта, от применяемых технических и плавсредств, возможностей измерительной и аналитической аппаратуры. По высказанным соображениям, а также из опыта работ, для паспортизации водоема, которая проводится на первом этапе, достаточно 3–5 станций. На последующих этапах тестирования число станций увеличивают в основном за счет исследований на притоках и оттоках из водного объекта, поиске загрязнителя и других задач.

На каждой станции следует отбирать:

а – пробы воды:

- из поверхностного слоя с горизонта 0–1 м;
- из фотического слоя с горизонта 0–50 м;
- в промежуточных водах по слоям мощностью 50–200 м на различных глубинах;
- из придонного слоя в 1 – 1,5 м от дна;

б – пробы осадков:

- из верхнего слоя в интервале 0–5 см;
- из глубоких слоев до 5 образцов на 1 метр.

Общее количество проб на станции должно обеспечить построение вертикального распределения газобиогеохимических показателей по аналогии типичным профилям. Отбор проб осуществляем герметичными пробоотборниками, исключающими фильтрацию пробы и стрессовые нагрузки на микроорганизмы в ней. Для этих целей используем разработанные в ИОРАН компенсационные пробоотборники, обеспечивающие сохранность нативных свойств пробы (Авилов, 1985; Авилов, Авилова, 2009д и др.).

При отборе проб воды и донных осадков на станции последовательно выполняют следующее:

- подготовка пробоотборников к спускам (проверка их работоспособности, очистка и стерилизация внутренней полости);

- спуск-подъем батометра БИН (интегральный батометр) на заданную глубину на тросе;
- спуск системы пробоотборников на тросе до дна и подъем на борт судна;
- визуальный контроль отобранных проб и передача их на анализ для биохимических определений (воду сливаем из батометров через фильтр «газ» размером пор 200 мкм в стерильную посуду из темного стекла; грунт извлекаем из трубки на лотки и разрезаем вдоль, а затем из середины стерильным шпателем отбираем образцы осадков по заданным интервалам и помещаем в стерильную емкость);
- перевод газовых проб проводим по специальной методике, предупреждающей потерю легколетучих компонентов (Авилов, 1985);
- чистка и высушивание пробоотборников.

Пробы воды и донных осадков, отобранные в заданных точках водного объекта и доставленные на борт плавсредств, немедленно обрабатывают и анализируют для получения информации о содержании газобиогеохимических показателей – существенных информационных признаков, и заносят в базу данных по тестируемому объекту. Методы отбора и обработки проб, их последующего анализа должны удовлетворять требованиям получения достоверной газобиогеохимической информации. Конкретные методики определения содержания биохимических и газовых компонентов в пробах опубликованы во многих работах, а в объединенном виде представлены в книге (Авилов, Авилова, 2008).

По результатам тестирования водного объекта получаем массив данных о концентрации и распределении газобиогеохимических показателей, который требует специального обобщения и анализа по канонам нашей информационной системы. Тем самым проводим геоэкологическую экспертизу водных экосистем, а также изучаем явления и процессы, происходящие в природном объекте.

По принципиальным позициям данную технологию авторы постоянно используют при натурных наблюдениях, поэтому её описание не повторяем в дальнейшем при рассмотрении изученных экосистем, которые показаны далее в разделах и главах. В случае заметных отклонений от принципиальной схемы, их оговариваем в тексте. Внедрение технологии требует значительных усилий, но они с лихвой окупаются полученными результатами, как отмечено ниже.

## 2.2. Нормальное и аномальное состояние экосистемы

С использованием основных приемов разработанной технологии авторы выполнили комплексные исследования разнотипных объектов Мирового океана и получили массив данных, включающий содержания более 30 индивидуальных компонентов в воде и осадках. Результаты количественных измерений показаны в многочисленных публикациях (около 300) и послужили фактическим материалом, аргументирующим научные положения и выводы защищенных докторских диссертаций (Авилова, 1990; Авилов, 1997). Даже беглый взгляд отмечает удивительное многообразие сочетаний и вариабельность изученных компонентов. Анализ данных был нацелен на выявление закономерностей распределения показателей и причин их возникновения. В этой книге представлены существенные, экологически значимые закономерности, которые рассмотрены под углом зрения методов, подходов, заложенных в информационную систему аквагеоэкологии.

На первых этапах морских работ, выполненных силами Лаборатории нефтегазонасности акваторий в начале 70-х годов, выдвигалась идея внедрения методов газовой съемки, применявшейся в геолого-разведке на суше, начиная с 30-х годов, для изучения и индикации нефтегазопоявлений в морской среде. Как положительный момент воспринимали консервативность морской воды по удерживанию газобразных углеводородов в сопоставлении с атмосферным воздухом, где они улетучивались с высокой скоростью. Серьезным препятствием рассматривали неприспособленность имевшейся на тот период океанологической техники для обеспечения сохранности газов в отбираемых пробах при проведении высокоточных хроматографических определений состава природных газов морской среды. Перед автором стояла задача устранить это препятствие. За короткий срок в Лаборатории были модернизированы имевшиеся пробоотборники (ПД-3М; ЧЕНИЗ; БМ-48 и др.), а по инициативе автора разработана и реализована принципиально новая идея компенсационных пробоотборников, обеспечивающих полную сохранность объема пробы и содержащихся в ней компонентов в нативной форме (Авилов, 1976; 1985). Новизна идеи и созданных технических решений и средств защищены авторскими свидетельствами и патентами (более 20). Их внедрение обеспечило исполнение принципа достоверности данных, составляющих информационную систему аквагеоэкологии (раздел 1.3).

Уже первые количественные измерения содержания газовых компонентов в пробах морской воды, отобранных с помощью компенсационных пробоотборников, дали значения, на много отличающиеся от известных ранее (Авилов, 1976). В экспедиции по Каспийскому морю на НИС «Бакуви» (1973) были обнаружены аномально высокие содержания УВГ (мл/л  $10^{-4}$ ) в придонной воде над Апшеронским порогом до максимальных величин – 53,9  $\text{CH}_4$ ; 0,156  $\text{C}_2\text{H}_6$ ; 0,753  $\text{C}_2\text{H}_4$ ; 0,13  $\text{C}_3\text{H}_8$  (Геодекян, Троцюк, Авилов, 1978).

Возникла необходимость систематизировать накопленную информацию. Сам метод газовой съемки таил в себе геоэкологический подход. Она основывалась на представлении о движении газов от залежи нефти и газа по осадочной толще к дневной поверхности. И если их улавливать в контактной зоне, то можно говорить о наличии залежи в недрах. Осталось только надежно идентифицировать эти нефтегазопроявления. Дело в том, что в любой точке тестирования зоны контакта одновременно могут оказаться углеводородные и попутные газы разного происхождения. Обычно по генезису различают газы химические, биохимические, катагенетические, радиационные и другие, по месту образования – автохтонные и аллохтонные (пришедшие), по источнику поступления – аэрогенные, эндогенные, магматические, вулканические и другие. Картина очень пестрая, поэтому выделить газы из залежи весьма сложно. Для этого в практических целях применяют разные критерии: величина отношения метана к сумме тяжелых углеводородов (УВ), предельных и непредельных УВ, азота к аргону, изотопный состав углерода и тому подобное, но они, даже все вместе, не всегда дают однозначные результаты. Кроме того, эти критерии неравнозначны, отражают разные процессы, что усложняет выделение среди них доминантного показателя. Поскольку в процессы газообразования активно вмешиваются микроорганизмы, решение проблемы более эффективно при экосистемном подходе по канонам аквагеоэкологии. То есть названные критерии относим лишь к дополнительным информационным признакам. Исходя из положений экосистемного анализа, более информативным является не величина соотношений показателей, а количественные характеристики потока газообразных компонентов и других веществ. Именно потоки являются существенными информационными признаками.

Такой вывод лежит в основе понимания процессов, определяющих нормальное геоэкологическое состояние природной водной экосистемы. Всё зависит от потоков веществ внутри и из вне экосистемы. Че-

рез их характеристики определяем нормальное состояние природной экосистемы – для него характерны малая изменчивость, стабильность потоков вещества и энергии во времени, невысокие скорости потоков, наличие одновременно нескольких потоков разных компонентов, а также воздействующих на них факторов. Другими словами нормальное аквагеоэкологическое состояние экосистемы определяем многофакторным воздействием и взаимодействием природных процессов на её многокомпонентный состав.

Предложенная формулировка не опровергает многолетний опыт наблюдений в океанологии. Это был этап накапливания знаний, который способствовал внедрению новых технологий, повышению требований к достоверности получаемого фактического материала, дроблению океанологии на самостоятельные направления. Он привел к типизации регионов Мирового океана по отдельным параметрам, построению типичных профилей вертикального распределения компонентов по океанам и акваториям. Например, для биогенных элементов такие типичные профили подробно описаны в монографии «Океанология», в них суммированы данные, полученные в многочисленных экспедициях на кораблях Института. В профили заложены осредненные значения, которые отражают нормальное состояние вод океана по каждому параметру. Этот метод осреднения, хотя и зависит от индивидуальных способностей исследователя, остается действенным и при экосистемном анализе, а сами профили могут исполнять роль экспертной системы (раздел 1.3).

Экосистемный подход, основанный на представлении о многофакторном взаимодействии в естественном, обычно присущем водному объекту состоянии, позволяет широко применять методы математической статистики и более обоснованно вычислять параметры нормального состояния экосистемы. Для экосистемного анализа полученной океанографической информации используем приемы статистической обработки данных. Расчеты ведем отдельно по каждому компоненту экосистемы. Это необходимо не только с позиции статистических методов, но и для накапливания информации и углубления знаний о возможной роли изучаемого вещества в создании потоков и влиянии на геоэкологическое состояние водной экосистемы.

Все выполненные измерения по содержанию компонента в экосистеме (общее количество  $n$ ) при экспертизе водного объекта составляют генеральную совокупность его концентраций. Исходно считаем, что экосистема находится в нормальном состоянии, сформированном

при многофакторном воздействии. Содержания компонента изменяются в незначительных пределах, а различия измеренных концентраций могут быть обусловлены температурой  $t$  и соленостью  $S$ , скоростью диффузии, гидродинамикой вод, слабым по мощности источником поступления компонента, глубиной отбора пробы и другими факторами. На всё это дополнительно накладывается погрешность метода измерения. В таком случае все полученные данные (в генеральной совокупности) по канонам статистики можно считать измерениями, распределенными во времени и пространстве случайным образом, а методы статистической обработки таких данных приносят надежную информацию о законах их распределения в экосистеме.

Совокупность всех значений описывается нормальным законом распределения, выражающимся формулой  $N(X, \sigma)$ . Для  $n$  измерений вычисляем среднюю величину содержания компонента  $X$  и среднее квадратичное (квадратическое) отклонение  $\sigma$ . Проводим проверку гипотезы о нормальном законе распределения концентраций компонента по критерию согласия (Пирсона), вычисляем величину вариационного коэффициента  $v$ . Если генеральная совокупность не проходит проверку, то из неё делаем выборку из  $m$  измерений (элементов), удовлетворяющую требованиям о нормальном законе распределения.

Такая выборка (из  $m$  элементов) даёт количественные границы ожидаемого разброса концентрации компонента, свойственному нормальному состоянию экосистемы по данному океанографическому показателю. По законам статистики точность, с которой выделяем диапазон рассеяния измеряемой величины, возрастает с увеличением числа замеров  $m$ . Поэтому обязательно исследуем погрешность вычисления самих статистических параметров. По величине  $\sigma$  и в зависимости от числа  $m$  оцениваем среднюю квадратичную погрешность  $D(X) = \sigma / \sqrt{m}$  выборочной средней  $X$ . Величина  $D(X)$  показывает, что при многократном повторении таких выборок отклонения средних этих выборок определяется средней квадратичной  $D(X)$ , то есть средняя  $X$  является более надежной характеристикой исследуемого явления, так как её рассеяние в  $\sqrt{m}$  раз меньше, чем у отдельных измерений.

Параметр  $\delta$  можно рассматривать в качестве показателя естественных колебаний содержания только в первом приближении, так как в него дополнительно входит погрешность метода измерения. Повышение точности измерений и увеличение их количества даст более приближенное к истинному среднее квадратичное отклонение  $\sigma$ . Это ещё раз обосновывает необходимость соблюдения принципа досто-

верности базы данных информационной системы аквагеоэкологии (раздел 1.3). В отдельных случаях для аэрогенных газов правомерно сопоставление с параметрами статистической обработки табличных данных, соответствующих их растворимости в точках тестирования (необходимо одновременное измерение температуры  $t$  и солености  $S$  морской воды).

Статистические параметры очерчивают поле значения компонента, в котором окажутся 95% (практически все) измерений его концентраций при нормальном состоянии экосистемы. Нормальное распределение приобретает вид  $N[X \pm 2D(X); \sigma]$ . Другие измеренные величины генеральной совокупности в количестве  $A = n - m$  отражают аномальное состояние экосистемы водного объекта или его отдельной части. Необходимо акцентировать внимание на двух обстоятельствах. Метод выявляет геоэкологическое состояние экосистемы только на момент исследования. Если ожидаются годовые, сезонные и другие колебания, то при определении нормального суммарного состояния экосистемы необходимо проводить периодические тестирования объекта (мониторинг), а затем усреднять статистические параметры соответствующих выборок. Для поиска аномалий (например, при газовой съемки) необходимо соблюдать идентичность по погрешностям методов исследования, так как более грубый метод однозначно повысит число аномальных определений  $A$  и амплитуду отклонений от нормы, выверенной высокоточной технологией.

Метод статистической обработки океанографической информации обладает несомненными преимуществами. Он не просто усредняет данные, но при этом определяет, с вычисляемыми доверительной вероятностью и методической погрешностью, поле ожидаемых содержаний компонента при нормальном геоэкологическом состоянии экосистемы. По данным выборки надежно проводится граница экосистемы с нормальным геоэкологическим состоянием, что служит научной базой геоэкологического районирования природного объекта.

Если природа нормального состояния заключена в слабом устойчивом во времени многофакторном воздействии, то источником аномального состояния служит интенсивный поток вещества или энергии, преобладающей по мощности над остальными факторами. Причины возникновения аномалий весьма разнообразны – от кратковременных техногенных или естественных нагрузок до длительных планетарных и космических воздействий. Последствие (наличие аномалий) также различается по масштабам и времени жизни. Каждую ано-

малию рассматриваем как выделяющуюся над фоном структурную организацию, проявление какой-либо формы жизни, для поддержания которой нужен приток вещества или энергии. По продолжительности жизни аномальные состояния экосистемы делим на кратковременные, периодические и длительные. Длительные аномалии могут формировать долговременное постоянное аномальное состояние водного объекта, которое может существовать десятки и сотни лет (например, Чёрное море, Мертвое море и другое) и воспринимается как их обычное состояние, часто его называют фоновым. Соответственно фоновое состояние приписываем экосистеме с постоянными во времени, стабильными параметрами, которые могут быть свойственны как нормальному, так и аномальному состоянию. Экспертиза водного объекта среди многих ставит задачу изучения причинно-следственных связей существования аномалий, выявления причин её возникновения и прогнозирования ожидаемой продолжительности её жизни. Решение этих вопросов обычно имеет важный научный и практический выход. Методом математической статистики, примененным в рамках информационной системы аквагеоэкологии, обеспечиваем первый этап исследования аномалий – их надежное выявление.

В этом смысле использование метода внесло существенные коррективы в представление о газовом режиме Охотского моря. Впервые были проведены полномасштабные измерения содержаний комплекса газовых компонентов в 13-м рейсе НИС «Дмитрий Менделеев» (1974 г.) и статистически обработан массив полученных данных (Геодекян, Авилов и др., 1977). Размещение газометрических станций выбирали исходя из плана маршрутной съемки и их равномерного распределения по всей акватории моря. Наибольшее число проб было отобрано из приповерхностного (40–60 м от поверхности) и придонного (10–13 м от дна) слоев, представляющих повышенный интерес с точки зрения изучения миграционных газов и биологической активности. На ряде станций в объеме имевшегося времени отбирали пробы в промежуточных точках водной толщи. По всем пробам проводили измерения температуры и солёности.

Параметры статистической обработки данных по концентрациям азота и аргона соответствуют нормальному закону распределения для генеральной совокупности всех выполненных измерений. Для азота (мл/л) распределение в приповерхностном слое имеет вид  $N(13,24 \pm 0,9; 2,58)$ , а вариационный коэффициент равен  $v=19,5\%$ . Там же для аргона (мл/л) вычислено:  $N(0,358 \pm 0,0194; 0,042)$ ,  $v=11,7\%$ . По при-

донному слою концентрации возрастают на доли процента, что принципиально не меняет картину (Геодекян, Авилов и др., 1977). Проверка по критерию согласия дала положительный результат. Доказано нормальное геоэкологическое состояние экосистемы Охотского моря в целом по обоим показателям  $N_2$  и Ar. Аналогичная обработка данных о растворимости этих данных показала хорошую сходимость результатов. Измеренная концентрация азота совпадает с полным насыщением вод этим газом. Насыщение аргоном также высоко – достигает 96%. Из этого следует, что оба газа поступают во все точки водной толщи из атмосферы, то есть здесь они – типичные аэрогены. Они не связаны с геолого-геохимическими процессами и не определяют геоэкологическое состояние водной экосистемы.

Содержание  $O_2$  в приповерхностном слое также близко к насыщению (85%) и имеет нормальный закон распределения  $N(6,52 \pm 0,418; 1,32)$ ,  $v=20,2\%$  аналогичный по соотношению параметров выражению для  $N_2$  и Ar. В придонном слое распределение концентраций кислорода заметно отличается от нормального. Среднее содержание снизилось до  $X=2,21$  мл/л, то есть на  $4,31$  мл/л меньше насыщающей концентрации, вариационный коэффициент увеличился до 78%. Полученные статистические параметры по  $O_2$  указывают на преобладающее действие отдельных факторов, в том числе гидрохимических и гидрологических. Пробы придонного слоя отбирали в широком диапазоне абсолютных глубин моря от 200 до 1500 м, и потребляемый на глубине кислород восполнялся там с разной скоростью при диффузионном переносе из поверхностного слоя. Аэрогенный фотосинтетический кислород является необходимым условием для существования нормального состояния морской экосистемы, но в придонной зоне его роль не всегда определяющая.

Статистическая обработка данных по углеводородным газам (УВГ) встречает значительно большие трудности. Во-первых, сам фактический материал дает разброс значений в генеральной совокупности, отличающихся друг от друга на порядок и более. Во-вторых, в отличие от  $N_2$ ,  $O_2$  и Ar, концентрации которых определяются поступлением из воздуха, содержание УВГ в водной толще отражает сложную взаимосвязь геологических, геохимических, биохимических факторов, регулирующих процессы генерации этих газов в осадочном чехле и морской воде. В-третьих, слабая изученность данного вопроса не позволяет проводить прямых аналогий с результатами предшествующих исследований других акваторий.

Анализ результатов полученных концентраций УВГ позволил принять гипотезу, согласно которой в большей части водной толщи акватории их содержания изменяются в незначительных пределах и подчиняются нормальному закону распределения. Из генеральной совокупности, содержащей  $n=29$  измерений концентраций метана в приповерхностном слое, выполнена выборка из  $m=23$  величин, удовлетворяющая критериям нормального закона распределения. Эта математическая операция определила поле фоновых концентраций метана ( $\text{мл/л } 10^{-4}$ ) в виде  $N(1,65 \pm 0,24; 0,533)$  и надежно выделила аномальные содержания в  $A=n-m=6$  случаях. Аналогичным образом по придонному слою из генеральной совокупности  $n=26$  сделана выборка  $m=17$  с нормальным законом распределения фоновых содержаний метана и обоснованы аномалии в  $A=9$  измерениях, то есть в 35% от всех тестирований в придонной зоне.

Вслед за разделением концентрации метана на фоновые и аномальные последовал этап исследования причинно-следственных связей в экосистеме Охотского моря. В методологии этапа осмысления полученных результатов преобладает синтез наук, привлечение всех известных способов теоретического познания, делая акцент на выявление природных закономерностей и взаимодействий изучаемых объектов. При этом имеем в виду, что изучаемая экосистема составляет всего лишь часть, которая живет реальной жизнью лишь в составе целого – геосистемы. Для комплекса одновременно измеренных газовых компонентов эффективен принцип максимального правдоподобия при сопоставлении статистических параметров по выборкам разных газов. Проверка гипотезы о нормальном распределении фоновых значений по критерию согласия дала удовлетворительные результаты. Рассеяние концентраций метана и, соответственно, величина вариационного коэффициента дают основание выделить фоновые зоны с более однородным источником генерации метана. Результаты подсчетов показывают, что статистические параметры фоновых значений метана в придонном слое наилучшим образом согласуются с таковыми для кислорода в той же зоне. Среднее значение  $X$  метана для придонного слоя в 2,5 раза меньше, чем у приповерхностного, а вариационный коэффициент в 2,7 раза больше, что в совокупности отражает основную тенденцию уменьшения концентрации метана с глубиной моря по фоновым областям. Возрастание  $X$  в приповерхностном слое связано с повышенной биохимической активностью этих вод.

В аномальных зонах установлена обратная зависимость – увеличение содержания метана с глубиной моря вниз по разрезу водной толщи. Такое распределение является критерием аномального состояния экосистемы, и его относим к существенным информационным признакам, отражающими потоковые явления.

Картирование акватории Охотского моря, как очередной этап геоэкологической экспертизы, проведено с использованием всех измерений генеральной совокупности концентраций метана отдельно по приповерхностному и придонному слоям воды. На картах четко выделены области аномальных содержаний метана. Достоверность расположения этих аномалий достигнута благодаря результатам статистической обработки данных. По обоим слоям аномальные области соподчинены друг с другом, что служит признаком доминирования восходящих потоков УВГ из осадков в формировании зон аномального состояния (по метану) экосистемы моря.

В пользу существования восходящих вертикальных потоков УВГ свидетельствует ряд дополнительных признаков их проявления в экосистеме. Обращает на себя внимание четкое зональное распределение по площади морского бассейна станций с аномально высокими и фоновыми концентрациями, как в придонном, так и в приповерхностном слое водной толщи. Станции с аномальными содержаниями  $\text{CH}_4$  тяготеют к западной, восточной и южной окраинам акватории, тогда как станции с фоновыми величинами образуют единую область точек, занимающую всю внутреннюю часть моря. При наличии большой разницы между аномальными и фоновыми содержаниями (на порядок и более) подобная региональная дифференциация поля измеренных концентраций метана в пространстве Охотского моря обусловлена существенным различием исходных для метанообразования генетических источников.

В некоторых пробах удалось измерить содержание этана, этилена и пропана. Интерес представляет сравнительная оценка отношения содержаний этана к этилену (коэффициент К), являющегося одним из генетических критериев источника генерации УВГ. В 15 фоновых пробах были зафиксированы этан и этилен, и в каждой из них К был меньше единицы, что указывает на преобладание биохимических процессов в генерации УВГ. Во всех же 12 аномальных станциях, где измерена их концентрация, напротив, величина коэффициента К превышает единицу. Такое соотношение принято рассматривать как показатель снижения роли биохимических процессов в генерации УВГ.

Интересно, что для многих станций при заметном изменении содержания  $C_2H_6$  и  $C_2H_4$  с глубиной величина  $K$  меняется незначительно или остаётся постоянной. Это обстоятельство и совпадение выделенных в придонном и поверхностном слоях аномальных зон свидетельствует о преимущественно вертикальной миграции УВГ к поверхности моря. В аномальных зонах отмечаются одновременно повышенные концентрации метана, возрастание частоты присутствия более тяжелых УВГ и преобладание этана над этиленом. Выявленные закономерности убеждают, что углеводородные газы создают заметные эффекты в природной экосистеме и требуют пристального внимания при аквагеоэкологических исследованиях.

Экосистемный анализ газометрических данных позволил установить причинно-следственные связи аномальных состояний. Аномальные содержания водорастворенных УВГ отражают процессы нефтегазообразования под дном и являются их диагностическим признаком в газовом режиме водной толщи. Названа причина аномального состояния водной экосистемы – наличие мощного источника генерации УВГ, размещенного вне самой экосистемы в глубинных слоях отложений, или миграция УВГ из нефтегазовой залежи под дном акваторий, что имеет большое практическое значение. Докладная записка с этими выводами была незамедлительно направлена в Министерство геологии СССР.

Дальнейшие события подтвердили правильность сделанных прогнозов. Выделенные аномалии по метану и тяжелым УВГ оказались долговременными. Их наличие периодически подтверждали подобными исследованиями, в частности, непрерывной газовой съемкой, выполненной станцией «Сниффер» галсами у острова Сахалин в 80-х годах. Геоэкологическое состояние высокой активности экосистем в районе присахалинского шельфа было подтверждено авторами по главенствующим газобиогеохимическим показателям (Геодекян, Авилов и др., 1991; 1994).

В отдельных точках водной экосистемы концентрация АТФ достигает 3840 нг/л, а активность щелочной фосфомоноэстеразы найдена на уровне 744 Е/л. В пробах осадков и кернах до горизонта 23 м измерен АТФ. Мониторинг геоэкологического состояния аномальных экосистем Охотского моря подтвердил их долговременный, стабильный характер, а геологоразведочные работы установили наличие месторождений нефти и газа под дном в районе указанных нами водных анома-

лий присахалинского шельфа, которые успешно по настоящее время разрабатываются по известным проектам Сахалин-1 и Сахалин-2.

Научная и практическая значимость выделения аномальных состояний водных экосистем поставила задачу определения количественной границы, разделяющей морскую среду на нормальное и аномальное состояние по содержанию УВГ в воде и осадках. Для достижения цели желательно было бы использовать всю сумму замеров по Мировому океану. Но здесь есть свои трудности, вытекающие из различий в методах и погрешностях используемых разными исследователями технологий при измерении УВГ. Поскольку УВГ содержатся в водах, а нередко и в осадках, на уровне микроконцентраций, близких к точности метода их определения, обобщение накопленного массива таких данных не может привести к выявлению типовых характеристик. Это обстоятельство, по-видимому, объясняет отсутствие в литературе сравнительной оценки содержания УВГ в различных регионах Мирового океана. Для решения нашей задачи стало необходимым ограничиться сопоставимым фактическим материалом собственных исследований, выполненных на единой методической основе. Достоверную базу данных информационной системы составили результаты измерений, проведенных в различных областях Мирового океана – Каспии, Балтике, Охотском, Норвежском, Гренландском, Красном морях, в приатлантической части Арктики, северной Атлантике, северо-западной части Индийского океана (Геодекян и др., 1978).

На базе почти 500 измерений содержаний УВГ проведена обработка индивидуальных данных методом математической статистики для получения объективной характеристики числовых совокупностей при анализе сложных природных явлений. Сравнительные характеристики получаем по определенным, маркирующим уровням. Опорными газометрическими уровнями в морской воде выбираем фотический и придонный (до 3–5 м от дна) слои. Опорным уровнем для грунта служит верхний слой осадка (1–4 м), а в нём два горизонта – в кровле и подошве (забое) грунтовой колонки. По всем собственным данным построена сводная диаграмма частоты встречаемости различных концентраций УВГ в придонных водах, верхнем слое осадка, а также в кернах по данным глубоководного бурения. Полученное на диаграммах плавное уменьшение частоты встречаемости величин концентрации УВГ относительно средних значений указывает на наличие определенной закономерности в частоте появления тех или иных концентраций УВГ. Показанное на диаграммах изменение содержаний УВГ

подчиняется нормальному закону распределения, являясь его графическим отображением (Геодекян и др., 1978).

Анализ данных по всем выборкам привел к хорошо сопоставимым результатам. Наиболее часто встречались (максимальные значения по сводной диаграмме) из общего числа измерений  $n$  (около 500 проб) содержания метана  $(2-4) \cdot 10^{-4}$  мл/л в придонной воде,  $(64-128) \cdot 10^{-4}$  мл/кг в верхнем слое осадка и  $(32-64) \cdot 10^{-4}$  %об в кернах. По параметрам нормального распределения (средняя величина, квадратичное отклонение) отбита верхняя граница поля фоновых содержаний метана в придонной воде  $(8-16) \cdot 10^{-4}$  мл/л и  $(250-500) \cdot 10^{-4}$  мл/кг – в верхнем слое осадка. Более высокие концентрации метана считаем аномальными. Также и для других газовых компонентов установлены диапазоны фоновых содержаний (Авилов, 1985), которые отражают нормальное состояние экосистемы по этим газам.

Методы статистической обработки данных позволили среди многообразия установленной изменчивости содержания УВГ в различных слоях водной толщи выделить три типовых формы их вертикального распределения. Для всех трех характерен относительный приповерхностный максимум, совпадающий с биологически активным фотическим слоем. Концентрация метана обычно на два порядка превышает содержание его гомологов (от  $C_2$  до  $C_5$ ).

Первый вид распределения, наблюдаемый при крайне низких содержаниях метана ( $n \cdot 10^{-5}$  мл/л и менее), отличается снижением его концентрации вниз ко дну и отсутствием в спектре УВГ других соединений. Вторая типовая форма распределения характеризуется двумя четкими относительными максимумами: приповерхностным и придонным, при снижении концентраций в промежуточных слоях воды. Эти оба вида определяют нормальное состояние экосистемы (по УВГ), являются типичными для него профилями и служат экспертными системами для его идентификации. Наконец, третья форма вертикального распределения выделяется общим повышенным содержанием УВГ и возрастанием их количества вниз по разрезу водной толщи, достигая аномальных концентраций. Третий вид принципиально отличается от предыдущих двух и типичен для аномального состояния водной экосистемы.

Аналогичный подход приемлем для разделения нормального и аномального состояния водной экосистемы Мирового океана по всем водорастворенным газам. Подобные результаты получаем для эндогенных компонентов ( $He$ ,  $H_2$ ,  $CO_2$  и др.). По аэрогенным газам ( $N_2$ ,  $Ar$

и др.) типичные профили совпадают с характером изменения их растворимости в зависимости от колебания температуры и солености. В аномальных экосистемах сопоставление с типичными распределениями помогает вычленить эндогенную составляющую для смеси газов из водной пробы (например, для  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ). Анализ вертикального распределения газов в осадках позволяет строить типичные профили по двум названным маркирующим горизонтам или по 5–6, на которых отбираем образцы осадков из фоновой грунтовой колонки. Такие профили также рассматриваем как экспертные системы при оценке геоэкологического состояния природной экосистемы.

Аномальное состояние морской экосистемы, выявленное либо по концентрации газообразного компонента, либо по характеру его вертикального распределения, обусловлено потоками этого компонента. Те в свою очередь активизируют биотическую составляющую экосистемы, вызывая тем самым её аномальное состояние, оцениваемое теперь уже по главенствующим биохимическим показателям (раздел 1.4). Соответственно, на основе массива собственных количественных измерений по акваториям морей и океанов проводим границу между нормальным и аномальным состоянием экосистемы по биохимическим показателям (АТФ, ЩФА и др.).

Статистическая обработка измеренных концентраций (средняя величина, среднее квадратичное отклонение, средняя квадратичная погрешность выборочной средней, вариационный коэффициент), полученных в экспедициях авторами в различных акваториях, позволила построить типичные профили вертикального распределения одновременно шести биохимических показателей, измеренных нами в океане. Они были созданы как необходимый инструмент (графическая экспертная система) при анализе и обобщении собственного фактического материала. Принципы их создания и графическое изображение, учитывая их важность, защищены в докторских диссертациях и представлены в многочисленных публикациях (Авилова, 1982; 1990; Авилов, Авилова, 1986; Геодекян, Авилов, Авилова, 1990; Миркина (Авилова), 1977а и др.).

На типичных профилях показан характер распределения содержания АТФ, азот карбамида (мочевины) и изменения активности гидролитических ферментов (липолитической, протеолитической, амилалитической, щелочной фосфомоноэстеразы) в водной толще до океанических глубин и в осадках по интервалам вплоть до 6,5 м. В них нашло отражение стационарное состояние живых организмов в экологи-

чески чистых районах Мирового океана, которое складывалось столетиями. Типичные профили являются эталоном экологически чистого состояния водной среды, которое характеризуется приведенными на типовых графиках количественными значениями концентраций и активности биологически активных веществ, а также их соотношениями как между отдельными веществами на одном горизонте, так и в различных слоях. Например, содержание АТФ от поверхностного, где оно составило 300 нг/л, до придонного слоёв воды найдено в соотношении 6:1:1:3,5, а для амилалитической активности соотношение по слоям составило 4:1,2:1:1,4. В осадках наблюдается постепенное снижение величины биохимических показателей вниз по грунтовой колонке (содержание АТФ от 100 нг/г на горизонте 0-5 см уменьшается в 2,5–3 раза к забою). Исключение составляет концентрация мочевины, которая наоборот возрастает с глубиной. Типичные профили несут одновременно графическую и цифровую информацию о фоновом состоянии морской среды (воды и осадков) и об адекватном этому состоянию уровне внутриклеточных биохимических реакций, выраженном количественно через биохимические показатели. Эти профили имеют большое теоретическое и практическое значение. С биохимических позиций установлена граница между биологически активной и биологически пассивной средой.

Биологически пассивные воды характеризуются содержанием биохимических показателей ниже фоновых, например, для АТФ меньше нижней границы – 20 нг/л. Дана им экологическая оценка – в биологически пассивной среде микроорганизмы находятся в угнетенном состоянии под влиянием неблагоприятных факторов среды (загрязнение, стрессовые ситуации и другое). Более высокие величины (для АТФ – более 20 нг/л) биохимических показателей свойственны биологически активной среде с нормальным или высоким уровнем активности.

Типичные профили дают возможность конкретизировать понятие геоэкологической нормы в отношении водного объекта. В это понятие не включаем биологически пассивные воды, так как их происхождение вызвано не естественными многофакторными процессами, а загрязнением в связи с техногенной нагрузкой или катаклизмами. Минимальные значения фоновых концентраций компонентов определяют также нижнюю границу геоэкологической нормы. Верхнюю границу нормального состояния экосистемы отбиваем по результатам сравнительного анализа многочисленных измерений биохимических показате-

телей, выполненных авторами в экологически благополучных районах разнообразных водных объектах.

Выделяем биомассу активных живых микроорганизмов (БАЖМ) и её определитель – содержание АТФ как главенствующий, обобщенный показатель состояния экосистемы. По содержанию АТФ верхняя граница нормального состояния водной экосистемы находится в районе 1000 нг/л. Многочисленные измерения АТФ не дали значений больше, чем 1000 нг/л, в акваториях, которые рассматривались как экологически чистые на момент исследования. Сравнение с обычно используемыми в гидробиологии различными показателями, характеризующими биотическую составляющую экосистемы, в сумме подтверждает указанный количественный порог по БАЖМ и АТФ. Для сопоставления выбираем величины биомассы микроорганизмов, измеряемые по прямому микроскопированию и по содержанию органического углерода. Отображая свойства одного и того же объекта, все эти показатели численно связаны между собой (Авилова, 1990; Авилова, Авилов, 1997 и др.). Обобщив эти данные, авторы установили, что вариации сырой биомассы микроорганизмов в водоемах с естественным природным развитием экосистемы (реках, озерах, лагунах, открытых частях акваторий) обычно не переходят границу значений 2500–3000 мкг/л. Им соответствуют расчетные величины 1000–1200 нг АТФ/л. Это важный момент, так как в морской микробиологии достаточно неопределенно разделение мезотрофных и эвтрофных вод.

Аналогичный результат для верхней границы нормального состояния дает сопоставление с критериями качества природных вод (Авилов, Авилова, 2009д). Среди комплекса используемых там показателей выбираем наиболее близкий к АТФ в характеристике биомассы – органический углерод (Сорг, мг/л). Для каждого класса качества вод (всего 6 классов) даны диапазоны изменения Сорг. По сумме показателей каждый класс приблизительно соответствует определенному уровню трофности вод. Интересующая нас граница проходит между вторым классом (мезотрофные воды) и третьим классом (слабо эвтрофные воды). Теперь, используя переводные коэффициенты, вычисляем АТФ по Сорг и получаем, что граница между мезотрофными и эвтрофными водами определяется также величиной 1000 нг/л. Привлекая данные по типичным профилям, координируем нормальное состояние природной водной экосистемы с концентрациями АТФ от 20 до 1000 нг/л. Исследуя аналогичным образом активность щелочной фосфомоноэстеразы, определяем границы нормального состояния и

по этому биохимическому показателю. Для нормального состояния диапазон изменения ЩФА составляет 3–70 Е/л. Полученные результаты послужили основой для создания двухмерной номограммы по оценке биохимического состояния водной среды на основе двух главенствующих биохимических показателей АТФ и ЩФА. Такой же методический прием реализован при обобщении данных по осадкам, что позволило разработать подобную номограмму для осадков (Авилова, Авилов, 1990; 1997 и др.). Обе номограммы используем как экспертные системы для идентификации нормального геоэкологического состояния морской среды и любого водного объекта. Одновременно они обеспечивают градацию состояний экосистемы по уровню биологической активности (Авилов, Авилова, 2009д и др.).

В итоге проведенные исследования обеспечили разделение нормального и аномального состояний экосистемы на количественном уровне, что относим к серьезному достижению аквагеоэкологии. За ним стоит глубокий геоэкологический смысл. Прежде всего, различаем процессы, формирующие каждое из этих двух состояний. Многочисленные, слабые, вялотекущие процессы суммируются в экосистемах с нормальным состоянием и, напротив, активные, доминантные – преобладают в аномалиях.

Мы выделяем разные методы исследования обоих состояний, степень и стадии их изученности. По этому поводу отмечаем, что наблюдения за экосистемами с естественным нормальным геоэкологическим состоянием прошли этап накапливания информации. Но примененные при этом гидрологические, гидрохимические, микробиологические и другие методы оказались достаточно грубыми для выявления и изучения тонких процессов, протекающих внутри нормальных и тем более – фоновых районов акваторий. Тем не менее, на этапе осмысления таких данных сделан колоссальный шаг вперед – ученым удалось выделить главный процесс, фотосинтез в фотической зоне, тщательно его изучить и назвать определяющим для всей гидросферы.

Для дальнейшего прогресса в познании взаимодействий и взаимосвязей в экосистеме с нормальным геоэкологическим состоянием, объяснение наблюдаемых в них необычных явлений (например, известные с давних пор светящиеся круги на воде и прочее) необходим новый этап накапливания более детальной информации за счет внедрения совершенных технологий по обнаружению проявления жизни в экосистеме. Обнадеживает настойчивое использование отдельными исследователями биохимических, изотопных, молекулярно-

генетических методов в сочетании с техническими новшествами (например, Авилов, Авилова, 1995. Патент).

Изучение аномалий более доступно существующими современными технологиями, в первую очередь методологическими подходами, разработанными авторами (Авилов, Авилова, 2008; 2009д и др.). Экосистемный подход открыл новые возможности на этапе осмысления аквагеоэкологической информации. Основные достижения в этой области знаний показываем в данной работе через призму нового взгляда на аномалии, где используем разработанную нами методологию аквагеоэкологических исследований. Не отбрасывая необычные на первый взгляд данные и придавая им важное значение как существенным признакам аномального проявления жизни в экосистеме, авторы установили ряд неизвестных ранее природных явлений. При этом использовали базовые положения разработанного экосистемного анализа (Авилов, Авилова, 2009д).

Неординарные результаты получаем также на более высокой степени обобщений – при экосистемном анализе совместно обоих состояний. Нормальные и аномальные по состоянию экосистемы входят составными частями в объединенную, рангом выше экосистему – по какому-нибудь, часто территориальному признаку. В объединенной экосистеме со смешанными по отдельному компоненту состояниями этот компонент создает свое поле, внутри которого существуют области спокойного и возмущенного состояния компонента, соответственно расположению нормальной и аномальной экосистем. Это поле – своеобразный вид жизни конкретного компонента (вещественной формы жизни). Признаки этой жизни проявляются в результате экосистемного взаимодействия с аналогичными полями других компонентов, то есть другими видами и формами жизни.

Возбужденное состояние компонента определяем как вид вещества с высоким уровнем упорядочения. Относим к этому выявленные области аномально высоких концентраций УВГ. Жизнь этого структурного образования проявляется в объединенной экосистеме, включающей, к примеру, водную и осадочную толщу черноморского региона, и обусловлена процессами созидания и разрушения аномалии компонента. В обоих процессах присутствуют потоки вещества и энергии, что относим непосредственно к признакам жизни компонента и её проявлению в экосистеме. Потоки воздействуют на белковую форму жизни, активизируя состояние биоты и вызывая аномалии био-

химических показателей (АТФ, ЩФА и др.) – очередное проявление жизни компонента в экосистеме.

Взаимосвязь отдельных видов жизни в объединенной экосистеме осуществляет информационная форма жизни. Её задача – оповещать все элементы экосистемы о возмущениях в том или ином индивидуальном поле, вызывая соответствующие реакции и проявления жизни. Механизмы передачи информации в экосистеме, как и сама информационная форма жизни, ещё мало изучены. Однако пытливая мысль работает в этом направлении. Установлено, что информация об аномальных механических напряжениях в очаге землетрясения распространяется по геосистеме. Появление электростатических потенциалов по поверхностям сколов и другие сопутствующие процессы приводят к образованию электростатического поля большой напряженности в куполе над очагом, вызывающего поворот дипольных молекул воды в воздухе, электромагнитное поле собственного восходящего излучения и отраженного от поверхности очага солнечного света приобретают, преимущественно, эллиптическую поляризацию, пропорциональную действующим механическим напряжениям (Никитин А.Н. и др. Диплом открытия № 336).

Другое открытие связано с явлением энергетического взаимодействия биоты и среды (Никитин А.Н. и др. Диплом открытия № 307). Установлено, что при изменении величин энергетических параметров окружающей среды (температуры, давления, уровня гравитации, геомагнитного поля и др.), влияющих на растворы внутренней среды организма биологической системы, происходит их расслоение и синхронные колебания уровня водной упаковки клеточных мембран с угнетающим эффектом при соответствующих реакциях центральной нервной системы и физического состояния организма.

Экосистемный анализ позволил установить логические связи этих двух открытых явлений. Налицо взаимодействие всех четырех форм жизни. Механическое напряжение переходит в энергетические импульсы, которые передаются по электромагнитному полю, вызывая изменение структуры воды вне и внутри живых организмов, переводя локальную экосистему последних в возбужденное состояние. Правомочность таких предложенных причинно-следственных связей в объединенной планетарной гео- и экосистеме подтверждает известный факт панического страха и возбужденной реакции животных, скота, птиц перед началом землетрясения. Авторы были свидетелями такого поведения животных перед мощным землетрясением в Ташкенте в 60-х

годах. Здесь раскрыт один из способов передачи информации. Другие возможные виды информационной формы жизни будут обсуждены конкретно для отдельных экосистем.

Выполненное разделение фоновых и аномальных состояний на количественном уровне несет важную геоэкологическую информацию. Существенные информационные показатели, найденные в аномально высоких или низких количествах, в экосистеме служат индикаторами воздействия на неё отдельного доминантного фактора – природного явления. Чем ярче выражена аномалия, тем сильнее и масштабнее внешнее воздействие. Комплекс измеренных газобиогеохимических показателей (существенных информационных признаков) открывает путь к идентификации аномальных явлений, установлению причинно-следственных связей процессов, происходящих в самой экосистеме и пограничных областях. Здесь в качестве достоверной информации выступают только количественные измерения. Ещё одним действенным методическим приемом познания процессов экосистемного взаимодействия является геоэкологическое районирование природных объектов гидросферы.

### **2.3. Аквагеоэкологическое районирование**

Аквагеоэкологическое районирование осуществляем по результатам тестирования водного объекта. В задачу районирования входит выделение областей в водном объекте с разными уровнями геоэкологического состояния. Это состояние может отражать разные формы жизни и степень их жизнеспособности, определяемой по главенствующим компонентам. При тестировании создаем информационную систему для одного или нескольких главенствующих компонентов по изучаемому объекту. Исходя из теоретических основ аквагеоэкологии и в соответствии с принципами построения информационной системы, в её базу данных включаем результаты измерения содержаний главенствующих газобиогеохимических показателей. Такой методологический подход обеспечивает выделение на количественной основе областей по разной степени биологической активности: токсикация, норма, эвтрофирование.

К токсикации относим районы, где биотическая компонента экосистемы (активные живые микроорганизмы) находятся в пассивном, угнетенном состоянии или в крайне незначительных количествах. В геоэкологической норме находятся области с естественным нормаль-

ным состоянием биоты. В геоэкологической норме различаем обычное фоновое состояние и повышенной активности, обусловленное естественными колебаниями природных факторов, например сезонных и других факторов, возникающих при циклических процессах в зоне объекта. Эвтрофирование включает биологическое состояние высокой и особо высокой активности, создаваемое доминантным воздействием. Количественные границы всех названных градаций биологической активности определены по результатам натурных исследований и отражены на двухмерных номограммах. Эти номограммы, являясь экспертными системами аквагеоэкологии, очень эффективны на практике при анализе и обработке газобиогеохимической информации.

Детальность и тщательность аквагеоэкологического районирования зависит от объема выполненных измерений на определенном этапе тестирования водоема и периодичности натурных наблюдений в зоне объекта. Обычно в процедуре используем все полученные газобиогеохимические показатели в качестве главенствующих признаков, а в отдельных случаях для полноты картины используем дополнительные показатели. Учитывая многообразие задач аквагеоэкологии, районирование проводим как по объекту в целом, так и по отдельным маркирующим горизонтам на любых уровнях геосферы, где доступен сбор газобиогеохимических данных. Названные принципы и методологический подход авторы применяли ко всем природным объектам, где им довелось проводить исследования.

В качестве одного из первых шагов было осуществлено геоэкологическое районирование Мирового океана. Поверхностный слой воды выбран маркирующим горизонтом, по которому выделены области и составлена карта. Использованы результаты собственных биохимических определений, выполненных по маршруту следования корабля по акватории Атлантического, Индийского и Тихого океанов в 17 и 22 рейсах НИС «Академик Курчатов» (1973–1974 и 1976 годы), 20 рейсе НИС «Дмитрий Менделеев» (1978 г.), экспедициях в Балтийском, Средиземном, Чёрном, северных и других морях. Применен также принцип подобия при обобщении данных по биомассе микроорганизмов, Сорг и др. Разработка защищена в проекте «Экологическая безопасность России» и представлена в публикациях (Авилов, Авилова, 1990; 2009д и др.). С учетом степени биологической активности водной среды и связанной с ней биологической продуктивности эвфотической зоны выделены районы фоновые (1), повышенной активности (2) и высокой активности (3). В карте отражено исходное геоэкологи-

ческое состояние Мирового океана, имеющее большую ценность в качестве графической экспертной системы при последующем мониторинге океанической среды.

Последующие наблюдения подтвердили высокую значимость исходного районирования для изучения процессов в глобальных экосистемах. В океанических экспедициях в Тихий и Атлантический океаны 1994, 1995 гг. (организованных лично авторами через посольство Аргентины – консула доктора Марты О. Шуарэ) исследованиями водной среды обнаружили изменение местоположения границы акваторий с повышенной и высокой биологической активностью, примыкающих к побережью Эквадора и стран Центральной Америки, которые стали более узкой полосой, чем в исходном положении. В ней содержание АТФ измерено от 340 до 1810 нг/л. Мористее и к северу от экватора уже подступили фоновые воды с концентрацией 170–180 нг АТФ/л, что связано с распространением вод межпассатного течения. У восточного побережья Южной Америки наоборот подтверждена стабильность границ района с высокой активностью вод. К океаническим примешиваются пресные воды огромного залива Ла-Плата, питаемого мощными реками Парана и Уругвай, влияние которых в Атлантике распространяется на сотни миль от побережья. Равно как наблюдаем и в акватории, близкой к Лиссабонскому заливу, в который впадает р. Тежу.

Отмечено изменение границ геоэкологического районирования Северной Атлантики, где площадь фоновых районов сократилась. В районе 40–50° с.ш. зафиксирована повышенная концентрация биологически активных веществ, поэтому фоновая зона можно считать отеснена на 10–15° к югу. Возможно, сказалась постоянно действующая техногенная нагрузка при активизации судоходства (Геодекян, Авилов, Авилова, 1997; Авилов, Авилова, 1999а; 2000 и др.). Газобиогеохимические показатели адекватно отражают масштабные явления в океане. В частности, пространственно-временная изменчивость поля концентраций в экваториальной зоне Тихого океана вблизи Американского континента является надежным диагностическим признаком приближения экологически кризисного, печально известного явления Эль-Ниньо.

Другое масштабное геоэкологическое районирование Мирового океана проведено по еще одному главенствующему показателю – содержанию углеводородных газов. В качестве маркирующих горизонтов выбрана придонная вода и осадочная толща. В основу положено соотношение содержаний УВГ в придонном слое воды, верхнем слое осадков и кернах глубоководного бурения в областях акваторий с разной мощностью осадочного слоя – менее и более 1 км. По этим мар-

кирующим горизонтам исследована частота встречаемости различных содержаний УВГ и построена сводная диаграмма (Геодекян и др., 1979). Выделены две группы областей Мирового океана, различающиеся по проявлениям этих газов в экосистеме.

Первая группа объединяет абиссальные равнины океанического ложа, срединно-океанические хребты внутренних областей океанов, районы арктической окраины, центральные акватории Охотского и Японского морей и т.п. Вторая группа включает шельфовые зоны, материковый склон, краевое плато, глубоководные котловины и другое. Свойства объединенной водно-осадочной экосистемы в этих группах заметно различаются.

Сводные диаграммы дают наглядное представление о полях газовых компонентов. Средние содержания УВГ по районам первой группы значительно меньше, чем у второй группы: по придонному слою воды они снижаются 8–10 раз, для верхнего слоя осадка – в 4–8 раз, в кернах эта разница достигает двух порядков. Но, несмотря на большой разброс значений, все поле концентраций УВГ укладывается в показатели нормального состояния экосистемы по этому компоненту (раздел 2.2).

Эти две группы областей различаются не только величинами содержания УВГ. Первой из них присуще уменьшение концентрации вниз по разрезу водной толщи и относительно стабильные значения по грунтовой колонке. Непредельные УВГ преобладают над предельными. Напротив, вторая группа областей отличается увеличением содержания УВГ вниз по водной толще и в осадках. С ясно проявляющейся тенденцией выравнивания предельных и непредельных УВГ, в некоторых случаях даже отмечено преобладание этана над этиленом.

Выявленные различия настолько существенны, что не могут быть вызваны какими либо случайными явлениями. Они свидетельствуют о значительной доле в поле УВГ компонентов, мигрировавших из очагов катагенетического преобразования РОВ, происходящего в мощном осадочном чехле. Подтверждает этот тезис то, что первая группа областей во всех исследованных районах приурочена к участкам дна Мирового океана, под поверхностью которого развит осадочный чехол пониженной мощности (менее 1 км), а в областях второй группы установлено наличие повышенной мощности осадочного слоя от 1 до 5 км и более (Геодекян, Троцюк, Авилов, 1978).

Подобное районирование по другим газовым компонентам (He, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>) также привело к выделению в экосистеме Мирового океана двух районов, теперь уже по иному геологическому признаку – активности

недр. Минимальные концентрации компонентов присущи первому из них. Второй район объединяет геодинамически активные зоны под дном акваторий и связанные с ними поля в воде и осадках повышенных содержаний этих газов.

Обобщение газобиогеохимической информации со своей стороны обосновало выделение трех областей Мирового океана, наиболее эффективных для проведения аквагеоэкологического районирования: фотическая зона, ядро вод и придонная среда. В каждой области могут быть выбраны, как уже частично показано выше, свои маркирующие горизонты. Так использованы поверхностные, промежуточные или глубинные воды, слой придонной воды, определенный горизонт донных отложений и т.п. Специально выделена придонная среда как единая область, включающая придонную воду и верхний слой осадков, поскольку протекающие здесь процессы имеют четкую аквагеоэкологическую направленность и дают достоверные результаты при экосистемном анализе. Примененное деление не противоречит практике, сложившимся традициям океанологических исследований по другим геологическим, геохимическим, биологическим показателям, что открывает путь привлечения их при необходимости в информационную систему при широком обобщении научных фактов для изучения природных явлений.

Наряду с глобальным, ведется более детальное районирование меньших по размеру экосистем. Исследование морей открытого типа (Северного, Норвежского, Баренцева, Карского и др.) показало сходное геоэкологическое состояние их экосистем по верхнему маркирующему горизонту, подтверждая их генетическую связь с океаном и обмен с ним водными массами. Более продуктивно вести их районирование по придонной среде, где следует искать взаимосвязь газобиогеохимических показателей с геологическими параметрами сопряженных участков литосферы (Геодекян, Авилов, Авилова, 1986). В Карском и на юге Баренцева морей распределение УВГ неравномерно по изученной площади. На большей её части в осадках метана содержится не более  $50 \cdot 10^{-4}$  мл/кг, а его гомологов – менее  $0,5 \cdot 10^{-5}$  мл/кг, АТФ – до 100 нг/г, без заметных изменений их концентраций вниз по грунтовой колонке. На юго-востоке и юго-западе выделены зоны аномально высоких содержаний УВГ. Отмечено повышение содержаний компонентов сверху вниз в осадках, для метана – в 10–1000 раз, АТФ – в 2–5 раз. Характер распределения газобиогеохимических показателей в аномальных зонах связан с потоками компонентов в осадочной толще,

которые прослеживаются и в придонной воде, образуя там также аномальные области.

Внутренние моря и водоемы существуют вполне автономно, и каждый водный объект имеет свою специфику. Водная экосистема Чёрного моря исторически разделена на две части – кислородную и безкислородную зоны. Само их название указывает на главенствующий признак геоэкологического районирования водоема – разделение по содержанию газовых компонентов. Оно хорошо изучено, напомним главное – состояние нижней бескислородной части аномально, чем определяет уникальность Чёрного моря как природного образования. В ней зафиксированы аномально высокие концентрации УВГ и сероводорода, полное отсутствие кислорода, а по биохимическим показателям воды отнесены к биологически пассивным на момент исследования (Авилов, Авилова, 1987). Вместе с тем такое разделение существует длительное время, поэтому определяем его как обычное, фоновое, пригодное в качестве исходного для дальнейших исследований и детального районирования.

Акватореоэкологическое районирование Балтики основано на материалах морских экспедиций, проведенных в 80-е годы прошлого века. Мониторинг дал возможность проследить достаточно устойчивое геоэкологическое состояние вод и осадков в отдельных районах (Авилов, Авилова, 1991). Эталонные для Балтики, экологически чистые воды и осадки были найдены в заповедной зоне около острова Саарема. Юго-западнее от него средние концентрации АТФ в воде составили 450 нг/л. Нормальное состояние морской среды также отмечено в центральных районах Балтийского моря. Однако здесь придонная вода и осадки в районе газовых кратеров и геоакустических аномалий имеют состояние перманентно повышенной активности (Геодекян, Авилов, Авилова и др., 1988). Состояние морской среды повышенной и высокой биологической активности преобладало в районах Южной Балтики у портов Калининград, Клайпеда, Лиепая, прибрежных районах (15–20-ти мильной зоне) и других.

Акватореоэкологическое районирование экосистемы озера Байкал выполнено по результатам газобиогеохимических исследований в рамках двух советско-американских экспедиций в августе – сентябре 1988 г. на НИС «Верещагин» (Геодекян, Авилов, Авилова, 1990а). Работы проводили на 35 станциях, равномерно расположенных по акватории озера. Были получены данные по содержанию АТФ в водной толще, а также в придонной зоне (придонной воде и осадках), где од-

новременно измерены концентрации газовых компонентов – УВГ, гелия, водорода, двуокиси углерода, кислорода и азота. Вертикальное распределение АТФ в глубоководных частях Байкала изучено на нескольких станциях вплоть до максимальных глубин, около 1,6 км. Определения выполнены сразу в трех фракциях одномоментно выделенных из проб воды микроорганизмов – с размерами 200–0,4; 200–0,12 и 0,4–0,12 мкм.

Получены профили вертикального распределения концентраций АТФ в водах Байкала, которые имеют сходство с типичными профилями, построенными для биохимических показателей в океане, являющихся эталоном экологически чистого состояния водной среды (раздел 2.2). Однако найдены отличия на количественном уровне. Содержание АТФ не опускается ниже 100 нг/л и в среднем для основной водной массы (ядра вод Байкала) глубже 200 м и выше 120 м над дном составляет 290 нг/л, то есть первичные биохимические процессы во всех точках водной массы протекают на довольно высоком уровне. Ядро вод практически однородно по геоэкологическому состоянию.

В фотическом слое обнаружена высокая вариабельность концентраций АТФ до глубин 50–60 м. Поверхностная вода (0 м) имеет концентрации АТФ порядка 2500 нг/л. Максимальные содержания АТФ наблюдаются на глубинах в зоне термоклина 5–10 м, в среднем они равны 3,57 мкг/л для фильтра 0,4 мкм и достигают 10 мкг/л для фракции 200–0,12 мкм. Здесь преимущественно развиты мелкие формы микроорганизмов (фракция 0,4–0,12 мкм). С глубиной эта разница уменьшается и составляет 10%. Исследования по разным фракциям выявили высокую вертикальную стратификацию этих вод по АТФ (100–10000 нг/л) на всей акватории. В такой ситуации можно было ожидать пятнистость в распределении БАЖМ по площади. Определенность внесли измерения, выполненные в интегральных пробах по фотическому слою из батометра БИН. В этих осредненных пробах из слоя 0–200 м зафиксирована необычная однородность содержания АТФ (фильтр 0,12 мкм)  $1290 \pm 30$  нг/л по всей акватории озера. Эти данные однозначно указали на равномерное развитие микроорганизмов в эвфотической зоне Байкала на момент исследования. Суммарная биомасса (БАЖМ) для этого слоя практически одинакова по всей акватории и составила 325 мкг С/л. Установленная удивительная картина количественно характеризует максимальную величину продукционных возможностей эвфотической зоны в период «цветения» (Avilov, Avilova, 1989a; 1989b; Геодекян, Авиллов, Авилова, 1990a). Наши ис-

следования объяснили причину редко встречающейся одноцветной карты озера, полученной иностранными учёными при зондировании его вод из космоса.

В придонной среде распределение газобиогеохимических показателей представляет чрезвычайно пестрое поле, значителен диапазон изменения содержаний отдельных компонентов. Тем не менее, выделяем некоторые общие закономерности. В придонном 120 м слое среднее содержание АТФ ( $X = 330$  нг/л) выше, чем в промежуточных водах ядра, но ниже значений фотической зоны. Здесь первично-биохимические процессы развиваются практически вне зависимости от верхних слоев и скорее связаны с обменом на границе вода-дно. Подтверждением служит средняя величина АТФ – около 470 нг/л в придонной воде, отобранной в 1,5–2 м от дна, и до 30 мкг/л в нескольких см от поверхности осадка на глубинах более 300 м. В придонной воде при довольно высоких концентрациях кислорода 5–9 мл/л наблюдали повышенные количества азота – 10–30 мл/л. Практически повсеместно отмечены содержания  $\text{CH}_4$  на уровне  $(0,5\text{--}1) \cdot 10^{-4}$  мл/л, следы  $\text{He}$  и  $\text{H}_2$ , количества  $\text{CO}_2$  изменялись 0,7 до  $16 \cdot 10^{-2}$  мл/л. Эти установленные нами значения газов отражают высокую степень наполнения ими придонной воды.

Данный вывод подтверждается измерениями газов в современных осадках, отобранных на тех же станциях. Обычно грунт получали с интервала 25–30 см. Для этого уровня отмечены высокие содержания  $\text{CH}_4$  – от 50 до  $1800 \cdot 10^{-3}$  мл/кг,  $\text{He}$  и  $\text{H}_2$  – до  $4 \cdot 10^{-3}$  мл/кг,  $\text{CO}_2$  – в пределах  $(1,5\text{--}51) \cdot 10^{-2}$  мл/кг. Установлено также значительное увеличение концентрации метана сверху вниз по грунтовой колонке – от  $(4\text{--}6) \cdot 10^{-3}$  в верхней части до  $(50\text{--}650) \cdot 10^{-3}$  мл/кг в нижней. Присутствие в придонной среде (воде и осадках) таких газов, как  $\text{He}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , характерно для тектонически активных районов. На мелководных станциях зафиксирован тот же состав газов. Но в придонной воде метана определено заметно больше – до  $(4\text{--}5,3) \cdot 10^{-4}$  мл/л и одновременно получены самые высокие величины АТФ, которые доходили до 5400 нг/л (фильтр 0,4 мкм). На небольшой глубине в придонной среде на микробиальное сообщество идет взаимное влияние процессов фотической и придонной зон.

Пространственное распределение газобиогеохимических показателей в придонной среде заметно отличается от почти неизменного по площади в эвфотической зоне и ядре вод. В придонной воде и осадках выделены аномальные районы по содержанию измеренных газов и

АТФ, размещенные преимущественно на свале глубин и у подножья склона. Районирование пресноводного озера дало похожие результаты с аналогичной геоэкологической экспертизой водных экосистем внутренних и окраинных морей, океана в целом. Сходство Байкала с океаном найдено и в вертикальном распределении компонентов по водной толще и осадкам. В этих вопросах различие солености вод не является определяющим в формировании геоэкологического состояния водных экосистем.

Несколько иная ситуация с мелководными объектами, где эффекты дневной поверхности (солнце, ветер и другое) довлеют над процессами в их экосистемах. Исследования таких водоемов показали их специфику. Все это находит отражение при геоэкологическом районировании акваторий. Оно проходит в соответствии с задачами и методами тестирования, выполняемыми последовательно на разработанных пяти этапах (раздел 2.1).

Геоэкологические наблюдения отдельных водных объектов сахалинского шельфа проводили в трех экспедициях: в марте-апреле, сентябре-октябре 1990 г. и августе-сентябре 1991 г. (Геодекян, Авилов, Авилова, 1991; Геодекян, Авилов, Авилова, 1994). Была изучена изменчивость во времени газобиогеохимических характеристик под влиянием природных факторов и антропогенного воздействия в разнотипных водных объектах сахалинского шельфа. Получен обширный научный материал по шельфу Охотского моря, заливу Уркт, Второй бухте, пяти рекам (Сахалинке, Охинке, Пильво, Мати, Эхабе) на 28 станциях, а также по Пильтун-Астохскому месторождению на 11 скважинах. Изучали интегральные пробы водной толщи, послойно лёд толщиной более метра, верхний слой донных осадков, грунтовые колонки длиной до 23,3 м. В них определяли газообразные компоненты (углеводороды, гелий, водород, углекислый газ), биологически активные вещества – аденозинтрифосфат (АТФ), ферментная активность – алкилфосфатазная (ЩФА) и иная.

Акватореоэкологический мониторинг выявил пространственно-временную неоднородность поля содержания метана и сопряженных ему некоторых газообразных компонентов (гелия, водорода,  $\text{CO}_2$ ), биологически активных веществ как по отдельным объектам, так и по маркирующим горизонтам. Интегральные пробы воды собраны батометром БИН от дна до поверхности при небольших глубинах изученных акваторий от 1,5 до десятка метров и дают средние характеристики эвфотической зоны водоёма. По измерениям газов и наиболее ин-

формативным биохимическим показателям (АТФ и ЩФА) в пробе воды (главный маркирующий горизонт) к благополучным (экологическая норма) отнесены изученные районы рек Пильво, Мати, шельфа Охотского моря. Так концентрации метана составили около  $3 \cdot 10^{-4}$  мл  $\text{CH}_4/\text{л}$ . Эти же районы по осадкам (второй маркирующий горизонт) также отнесены к геоэкологической норме – содержания измеренных показателей невелики, например, 4–17,5 нг АТФ/г.

В других водных объектах районирование по отдельным показателям приводит к разным результатам. В осадках измерены низкие содержания АТФ (0,6–3,1 нг/г) и по номограммам определено состояние низкой биологической активности на уровне токсикации. В воде наоборот, отмечено состояние повышенной и высокой биологической активности – концентрация АТФ изменялась в пределах 103–1980 нг/л, а ЩФА – 240–970 Е/л. Аномальное состояние разной мощности зафиксировано по газовым компонентам. В частности, повсеместно – по содержанию метана в воде  $(16,5\text{--}185) \cdot 10^{-4}$  мл/л и в осадках 0,283–12,4 мл/кг, а также – в восточной части залива Уркт по найденным следам водорода и концентрациям гелия  $(0,5\text{--}6,33) \cdot 10^{-3}$  мл/л. Ярко выражены аномалии в западных частях залива Уркт и Второй бухты, устьях рек Охинки и Сахалинки.

Специфика мелководных водоемов состоит также в том, что при районировании полностью утрачен целый маркирующий горизонт – ядро вод и снижена роль придонного слоя воды. Это действительно так. Но взамен исследователь получает уникальную возможность изучать поверхностный лед на водоёме – периодически возникающий новый маркирующий горизонт. Полученные данные по содержанию и распределению биохимических показателей во льду выявили высокую информативность этого слоя, особенно в условиях Крайнего Севера.

Концентрация АТФ (соответственно и БАЖМ) оказались выше, чем по водной массе, а диапазон их изменения – заметно шире и достиг 70–3840 нг/л (20–970 мкг С/л). Для ЩФА, наоборот, ниже и уже – 1,4–744 Е/л. Вертикальное распределение биохимических показателей по льду дает основание для геоэкологическому районированию акватории по этому маркирующему горизонту. В экологически благополучном районе Охотского моря и на станции вблизи него во Второй бухте концентрация АТФ и биомасса активных живых микроорганизмов (БАЖМ) в нижней части колонки льда (80–87 см), граничащий с водой, были на порядок выше по сравнению с таковыми в верхнележащих слоях льда. И, наоборот, в загрязненном заливе Уркт наблюда-

лась перевернутая картина – концентрация АТФ уменьшалась вниз по ледовой колонке с максимумом 3840 нг АТФ/л в интервале отбора 40–53 см при длине ледовой колонки 115 см. Аналогичное вертикальное распределение замечено и на другой станции в этом же заливе с той лишь разницей, что максимум здесь был установлен в интервале отбора 15–25 см при общей толщине льда 96 см, но опять же, в 70–75 см от нижней кромки льда у воды. Это связано с тем, что при нарастании льда послойно фиксируется имеющееся на тот момент геоэкологическое состояние водной массы. Характер вертикального распределения биохимических показателей дает основание выделить лёд как один из главных объектов геоэкологического исследования и индикаторов геоэкологического состояния водного бассейна.

Также важно для геоэкологического районирования изучение газобиогеохимических показателей в подледной воде. В ней концентрация газов в весенний период (подо льдом) измерена значительно выше, чем летне-осенний период по открытой воде. В заливе Уркт разница по метану составила 40–50, по  $\text{CO}_2$  – 10–20 раз; во Второй бухте по метану – 15–30, а по  $\text{CO}_2$  – 10 раз. Подледная газовая съемка надежно улавливает аномальные состояния по газовым компонентам, что способствует геоэкологическому районированию акватории.

Оценка экологического состояния подмосковных водоемов проведена в три этапа: июнь и август 1992 г., август 1993 г. Проведен мониторинг, изучена изменчивость биохимических показателей под влиянием природных факторов и антропогенных воздействий в Истринском, Рузском, Озернинском, Икшинском, Пестовском, Клязьменском, Пяловском, Учинском водохранилищах, на реке Москве у водозабора. На 18 станциях отбирали интегральные пробы, образцы поверхностной и придонной воды и донные осадки из слоя 0–5 см, а при возможности – глубже, с горизонтов 10–15 и 20–22 см. Получен обширный научный материал по содержанию и распределению АТФ и соответственно БАЖМ, гидролитической активности (ЩФА).

На первом этапе наблюдений в водной толще концентрация АТФ (БАЖМ) в среднем составила 387 нг/л (97 мкг С/л), а в донных осадках среднее содержание определено в количестве 49,8 нг АТФ/г и 12,5 мкг С/г. При этом диапазон изменения ЩФА в водной массе составил 656–3220 Е/л. Гидролитическая активность донных осадков колебалась в широких пределах от 27 до 2450 Е/г (средняя величина  $X = 930$  Е/г).

На втором и третьем этапах ситуация заметно изменилась. Биологическая активность вод и осадков возросла почти на порядок, а ино-

гда и выше. На втором этапе работ изменения содержания АТФ (БАЖМ) в воде Истринского водохранилища наблюдали в диапазоне 2180 – 15900 нг/л (545–3980 мкг С/л), а среднее значение достигло  $X = 7430$  нг/л (1880 мкг С/л). В осадках средняя концентрация увеличилась до  $X = 746$  нг/г (187 мкг С/г). Гидролитическая активность вод также возросла ( $X = 6580$  Е/л), но снизилась до средней величины  $X = 488$  Е/г в осадках. На Рузском и Озернинском водохранилищах концентрация АТФ по поверхностному слою равнялась 3390 и 5650 нг/л соответственно.

На третьем этапе измеренные концентрации АТФ (соответственно БАЖМ) показали, что в исследованных водах системы Волжского водосточника и реки Москвы предел их колебания составил: 622–3950 нг/л (166–990 мкг С/л). В среднем по водной толще эти показатели равны 1930 нг/л (480 мкг С/л). Активность щелочной фосфомоноэстеразы изменялась в пределах 148–8640 Е/л ( $X = 2880$  Е/л). В донных осадках содержание АТФ установлено от 21,0 до 98,2 нг/г ( $X = 44,6$  нг/г) в интервале отбора 0–5 см. Диапазон изменения ШФА отмечен 81–569 Е/г для всех грунтовых проб.

В устьевой части р. Истры, питающей Истринское водохранилище, в районе Дмитровское на первом этапе измерена концентрация АТФ от 517 до 857 нг/л и ЩФА в пределах 1440–2630 Е/л ( $X = 2470$  Е/л). На втором этапе оба показателя составили 1560 нг/л и 2800 Е/л соответственно.

Исследованиями зафиксирован высокий разброс данных по каждому показателю отдельно и разнообразие соотношений этих показателей в пробах воды и осадков. Пестрая картина обусловлена разнообразными факторами воздействия на экосистемы изученных водохранилищ. Некоторые закономерности в поле пространственно – временного распределения АТФ и ЩФА выявлены при разделении данных по основным маркирующим горизонтам (соответственно положению в пространстве точкам отбора проб) и анализе вертикального распределения показателей на станциях.

Полученный фактический материал рассматриваем в качестве главенствующих информационных признаков, составляющих основу достоверной базы данных информационной системы, создаваемой для оценки состояния и изучения процессов в экосистемах водохранилищ. Геоэкологическое состояние водоемов определяем с помощью разработанной аквагеоэкологической экспертной системой – двумерной номограммой по АТФ и ЩФА.

На 1 этапе воды и осадки найдены в состоянии повышенной биологической активности, в пределах нормы, хотя в некоторых частях акватории сообщества микроорганизмов присутствуют в угнетенном состоянии. На 2 и 3 этапах геоэкологическое состояние воды во всех точках тестирования и по трем маркирующим горизонтам (поверхностному и придонному слоям, суммарно для водной толщи) оцениваем по номограммам как аномальное. Градацию состояний ведем между высокой и особо высокой биологической активностью. Оба состояния вызваны эвтрофированием водной массы под действием в первую очередь сезонного фактора. Состояние осадков на 2 этапе найдено аномальным, а на 3 этапе – преимущественно в пределах нормы.

На 2 этапе в водах Истринского водохранилища на фоне общего эвтрофирования выделяем центральную область с максимально высокой аномалией, вплоть до гипертрофирования, и некоторое снижение эвтрофности вод в приплотинной части, особенно в придонном слое. Выявленное вертикальное распределение показателей в приплотинной части подчеркивает схожесть происходящих биохимических процессов в Озернинском и Истринском водохранилищах, и отличие – в Рузском водохранилище. Также аномальное геоэкологическое состояние установлено в Озернинском водохранилище. Более благоприятная обстановка отмечена в приплотинной зоне Рузского водохранилища.

На 3 этапе состояние высокой биологической активности (аномалия), но приближающаяся к геоэкологической норме, наблюдаем в районах около плотин в Учинском, Пяловском, Икшинском водохранилищах, а также в р. Москве у водозабора. Некоторое эвтрофирование вод установлено у плотины в Пестовском водохранилище и в месте слияния рек Вязи и Учи в Учинском водохранилище.

Геоэкологическое районирование исследованных водохранилищ проведено по двум главенствующим биохимическим показателям на базе измерений по 4 маркирующим горизонтам. Оба они в комплексе обеспечивают оценку состояния биологической активности водных экосистем. Основная водная масса Истринского водоема отличается небольшими вариациями нормального экологического состояния на первом этапе. Области, приближающиеся к эвтрофированию, нашли в верхней части водохранилища и устьевой части р. Истры. Аналогичное распределение обоих показателей отмечено и в осадках. Повсеместно зафиксировано некоторое несоответствие величин обоих показателей – более высокие значения ЩФА, причем оно наиболее заметно в верхней части водоема и постепенно снижалось к плотине. Области с

высокой биологической активностью (аномалии) выделены и в других водохранилищах. Проведенное районирование целеустремляет на поиск причин и следствий возникновения аномальных состояний в водной среде и донных отложениях.

В данном разделе приведены лишь типичные примеры аквагеоэкологического районирования. В подтверждение выполненных построений выбраны и показаны значения измеренных компонентов, характерные для выделенных районов. На самом деле в этой процедуре задействуем весь массив полученных данных и завершаем её построением карт распределения компонента в регионе по отдельным маркирующим горизонтам или областям. Подобные карты-схемы в данной работе не показываем, но они часто имеют место в отчетах и публикациях (Авилова, 1984; Авилов, Авилова, 1990; 2008в; Геодекян, Авилов, Авилова, 1986; 1986а и другие). Геоэкологическое районирование с построением карт является заключительным этапом паспортизации водных объектов, но служит промежуточной операцией при изучении процессов и явлений в экосистемах.

В целом аквагеоэкологическая экспертиза, являясь важным этапом экосистемного анализа в методологии аквагеоэкологических исследований, занимает самостоятельное место в изучении водных экосистем. Рассмотренные примеры исследования разнотипных водных объектов дают основание обозначить рамки и сферы эффективного проведения аквагеоэкологической экспертизы. При тестировании водного объекта, прежде всего, фиксируется состояние его биологической активности по комплексу газобиогеохимических показателей на момент исследования с использованием экспертных систем. Массив выполненных измерений закладывает базу паспортных данных водоема. Районирование ведется для получения необходимых экспертных оценок по каждому измеренному компоненту, характеру его пространственного распределения, либо по выявленному геоэкологическому состоянию водоема в целом или его отдельной части. Для отдельного параметра, используя соответствующие экспертные системы, выделяем районы нормального или аномального состояния.

Достоверность экспертных оценок зависит от многих факторов. С одной стороны, чем больше измерений по акватории, тем доскональнее результаты районирования. С другой, – чем больше измеряемых компонентов, тем больше районов с различным состоянием, которые могут совпадать и не совпадать по акватории, затемняя главные взаимосвязи. Оптимальное количество тех и других должно определяться

задачами экспертизы. Поэтому, проводя тестирование водного объекта, руководствуемся принципами построения информационной системы для водоема (Авилов, Авилова, 2009д). Наиболее достоверные выводы обеспечивает экосистемный анализ соподчиненных аномалий нескольких главенствующих показателей и мониторинг их трансформации во времени и пространстве.

При мониторинге получаем представление о естественном, длительное время существующем геоэкологическом состоянии водного объекта, которое определяем как фоновое. Районирование обеспечивает выделение на этом фоне областей с аномальным состоянием. Рассматривая каждую аномалию как локальную экосистему и применяя экосистемный анализ, изучаем формирующие аномалию природные возмущения. Аквагеоэкологическое районирование открывает путь к научно обоснованному исследованию природных явлений и процессов, определяющих уровень экосистемных взаимодействий в аномальных ситуациях. В подобном качестве геоэкологическая экспертиза водных экосистем вносит вклад в решение теоретических вопросов жизнеземлезнания.

Аквагеоэкологическая экспертиза успешно служит практическим целям. Она необходима при оценке последствий аварийных загрязнений (разливы нефти и другое), для принятия решения о применении химических средств борьбы с загрязнением, планирования мероприятий по природопользованию и охране природы, давая практические рекомендации даже в масштабах Земли (Avilov, Avilova, et al, 1999). Исходное районирование водной экосистемы необходимо для последующего мониторинга её состояния, который следует включать при управлении естественными и производственными процессами, например, для оценки эффективности природоохранных мероприятий на загрязненных водоёмах, для участия в непрерывных технологических процессах, где применяются биологические способы производства, в частности, при очистке сточных вод. Методы и подходы аквагеоэкологической экспертизы продемонстрировали высокую пригодность в решении проблем рационального природопользования.

В данной главе представлена в качестве примеров лишь часть пройденных водных объектов. Во всех водных объектах такого рода исследования до нас не проводились. По изученным акваториям впервые получен уникальный, приоритетный фактический материал, который может служить отправной точкой отсчета для последующих изысканий. Он представлен на многочисленных конференциях и защищен

в договорных работах. Весь массив полученных данных используется при паспортизации водоемов и мониторинге. Он также необходим для выявления аномальных значений, которые относим к критериям проявления жизни в экосистемах. Эти неожиданные, но, как доказано, достоверные данные и результаты аквагеоэкологического районирования будут востребованы и применены при изучении явлений и процессов в водных экосистемах в следующей, третьей главе книги.

### **3. ЯВЛЕНИЯ И ПРОЦЕССЫ В ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ**

Изучение процессов и явлений в экосистеме представляет значительные сложности. Надо учитывать, что в экосистеме протекает не один процесс, а сразу несколько. Причём какая-то их часть науке ещё не известна. Ясно, что одновременно присутствуют встречно направленные процессы, входящие в две группы – созидание и разрушение, необходимые для устойчивого существования природной экосистемы. На момент исследования может преобладать одна из групп, или они могут находиться в динамическом равновесии, обеспечивая её стационарное состояние (Авилова, Авилов, 1990; Снакин и др., 1992). Такая ситуация объяснена в теории биохимического состояния природной среды (раздел 1.2). Она обычно возникает при многофакторном воздействии на экосистему, формируя её нормальное аквагеоэкологическое состояние (раздел 2.2). Для исследователя важен вывод, что процессы и явления в такой экосистеме нерезко выражены, как бы находятся в режиме ожидания. Для обнаружения и изучения таких неярко выраженных процессов требуются высокоточные специальные методы (Авилов, Авилова, 2008 и др.).

Активное воздействие какого-либо фактора (вещества, сгустка энергии, информации и другое) обостряет ситуацию. Экосистема реагирует активизацией процессов, идентифицируя и адаптируя это воздействие, и переходит в аномальное состояние. Адаптационные процессы протекают с потреблением и преобразованием биологически активных веществ (БАВ), изменяя пространственно-временное распределение последних в экосистеме. В зависимости от вида и источника воздействия в экосистеме начинает доминировать какой-то один из адаптационных процессов. Высокая активность одного доминирующего процесса сопровождается заметными отклонениями от нормы в составе и соотношении отдельных БАВ.

В совокупности доминирующий процесс и изменения в составе БАВ составляют самостоятельное природное явление. Детектируемые аномальные содержания отдельных БАВ являются критериями возникновения определенного явления в экосистеме. Одновременно они количественно характеризуют интенсивность и направленность процесса, формирующего это явление. Высказанное входит составной частью в экосистемный анализ, главная задача которого при исследовании природных явлений и процессов состоит в установлении причинно-следственных связей в экстремальных экосистемах, свойственных тому или иному явлению.

Необходимо иметь в виду, что внешние воздействия, прежде всего, сказываются на микробиоте, которая чутко реагирует на количественном уровне (Авилова, Авилов, 1990 и др.). Более того, она предназначена для выполнения функции первого эшелона обороны в экосистеме. Такой взгляд обосновал главенствующую роль биохимических показателей в экосистемном анализе (разделы 1.2; 1.3). У этой медали есть и обратная сторона. АТФ и ЩФА, участвующие практически во всех клеточных преобразованиях, реагируют похожим образом на разные внешние факторы. Например, повышением концентрации АТФ на потоки природных компонентов и загрязняющих веществ перового типа (раздел 1.2).

Выход найден в комплексности аквагеоэкологических исследований. Главенствующие газобиогеохимические показатели информационной системы аквагеоэкологии, создаваемой для изучения отдельного процесса и явления, используем в первую очередь для выделения аномалий и их пространственной привязки при геоэкологическом районировании водных объектов (глава 2). Но и затем – при экосистемном анализе, выделяя доминирующие взаимодействия и изучая их суть. Всё это важно для понимания экосистемных взаимодействий. При этом велика роль измерения аномальных значений компонентов. Рассматриваем их как научный факт, обнаруживающий существование какого-либо явления в экосистеме, возможно ранее и неизвестного. Необходимо заметить – одно и то же аномальное измерение несёт разную смысловую нагрузку, отражая разные стороны экстремальной ситуации, и зачастую участвует одновременно в решении нескольких аквагеоэкологических задач. Экосистемный анализ рассматривает всевозможные виды взаимодействий при объяснении причин возникновения аномальных значений компонентов, привлекая при необходимости дополнительную информацию (известные зависимости и за-

кономерности в биологии, биохимии, геологии, океанологии и других смежных научных направлениях) в информационную систему аквагеоэкологии. Полученные таким путем знания о природных процессах и явлениях не противоречат фундаментальным законам естествознания, лишь дополняя и развивая их.

### **3.1. Природное и техногенное воздействие**

С чисто научной точки зрения деление нагрузки на экосистему на два вида носит весьма условный характер. Действительно, человек является частью природы, и противопоставление результатов его жизнедеятельности влиянию на экосистему других видов и форм жизни логически не корректно – все мы вместе и есть природа. Но на практике, для самокритичной оценки своего места и роли в общей системе жизни человеку необходимо знать разные стороны своего влияния на окружающую среду. Негативные последствия оказались значительны, возникло впечатление, что человек, вооружившись несоразмерно мощной техникой, разрушает сознательно или нет окружающий его мир.

Цивилизованные страны вынужденно разработали систему мероприятий по охране природы, к которой среди главных предъявляется требование научной обоснованности решений. При оценке нанесенного экосистеме ущерба, прежде всего, необходимо среди внешних воздействий выделить техногенную составляющую. Экосистемный подход к проблеме позволяет сделать это на количественном уровне. Для исследования выбираем антропоэкосистему, где человек, его промышленная деятельность выступают центральным элементом, определяющим её состояние и функционирование. Приходится различать преднамеренность человеческой активности и создаваемые при этом культурные антропоэкосистемы, сознательно измененные и поддерживаемые человеком, или акультурные, возникшие в результате нерационального хозяйствования. Последние являются главным объектом изучения.

Разделение на количественном уровне естественного, природного состояния экосистемы от состояния, вызванного техногенным воздействием, относим к одному из достижений аквагеоэкологии. В решении задачи значительную роль играет представление о нормальном геоэкологическом состоянии природной водной экосистемы, подробно рассмотренном во второй главе. Также используем экспертные системы и виды вертикального распределения газобиогеохимических показателей. Обычно техногенное воздействие проявляется в загрязнении

водоема, поэтому анализ экосистемных взаимосвязей и процессов проводим с учетом классификации загрязняющих веществ по биохимическим признакам (Авилов, Авилова, 2008; 2009д).

Заведомо аккультурная антропоэкосистема на момент исследования выделена в районе порта Клайпеда при изучении акватории Балтийского моря в экспедициях 1986 и 1988 гг. на НИС «Шельф» (Авилова, Авилов, 1990; Геодекян, Авилов, Авилова, 1990). Измерения выполнены на станции около острова Свиной, расположенного в устье Куршского залива, воды которого поступают в порт Клайпеда и далее – в Балтийское море. Здесь установлено, применяя 2-мерные номограммы, состояние водной массы особо высокой биологической активности или эвтрофирование 2 стадии. Причем максимальное гипертрофирование этих вод наблюдалось в 1986 г., когда содержание АТФ достигло 20–22 мкг/л. На станции в порту Клайпеда также отмечено эвтрофирование вод 2 стадии – более 5 мкг АТФ/л. Однако осадки в верхнем слое 0–5 см оказались биологически пассивными – концентрация АТФ менее 20 нг/г и повышенная активность ЩФА. Необычное распределение БАВ связываем с перманентным загрязнением веществами 1 и 2-го типа акватории порта и Куршского залива.

Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений нередко сопровождается негативным воздействием на окружающую среду. Техногенная нагрузка может носить перманентный или импульсивный характер, вызывая различные экологические эффекты. Кризисные явления в природных объектах, особенно в водной среде, возникают при аварийных ситуациях в процессе добычи, транспортировки и переработки углеводородного сырья. Подобные события протекают на фоне естественных процессов нефтегазопроявления и последствия могут быть либо недооценены, либо преувеличены.

Возникает необходимость учета действия каждого фактора на экосистемы на количественной основе, разделяя естественные нефтегазопроявления от техногенного воздействия. Подобные работы были проведены на водоемах присахалинского шельфа (Геодекян, Авилов, Авилова и др., 1991; 1994). Геоэкологическое районирование, выполненное при анализе всех измеренных авторами значений по содержанию комплекса газобиогеохимических показателей (раздел 2.3), позволило выделить аккультурные антропоэкосистемы в западной части залива Уркт, рек Охинка и Сахалинка. Воды этих рек заметно окрашены растворенной нефтью, р. Охинка выносит их в залив Уркт. В бассейне водосбора реки Сахалинки и её притоков расположены нефтя-

ные промыслы и в загрязненных водах микробиальное сообщество найдено в угнетенном состоянии: при нормальных содержаниях АТФ 200–400 нг/л активность ЩФА достигла аномальных величин 800, а в устьевой части – 1100 Е/л. Осадки отнесены к биологически пассивным. Подобное, но еще более ярко выраженное атипичное распределение показателей найдено в устье р. Охинки, в верховьях которой также расположены нефтяные промыслы, но, кроме того, в реку попадают хозяйственные городские отходы. При аномально высоких содержаниях метана 12,4 мл/кг, как результат загрязнения углеводородами, осадки по биохимическим показателям биологически пассивны и остаются в угнетенном состоянии – высокая активность ЩФА при малых концентрациях АТФ (на уровне аналитического нуля).

Рассмотренные случаи акультурного техногенного воздействия на водную экосистему подтвердили присутствие в нем сразу нескольких загрязняющих веществ 1 и 2-го типов. В такой ситуации общую схему и направленность адаптационных процессов можно представить так. Нефтяные утечки и хозяйственные отходы, попадая в воду, несколько интенсифицируют процессы микробиальной жизнедеятельности (за счет веществ 1-го типа). Далее метаболиты и непереработанные в воде поступившие вещества, включая углеводороды, как нами изучено, от  $C_1$  до  $C_{34}$  (смесь веществ 1 и 2-й групп), выпадают в осадок и угнетают там первично-биохимические процессы.

Общая схема выявленных взаимодействий в экосистеме определяет набор существенных информационных признаков техногенного загрязнения водного объекта. В воде и осадках нарушается сбалансированное соотношение АТФ и ЩФА, соответствующее (по 2-мерным номограммам) либо развитию, либо угнетению микробиоты в воде и угнетению до уровня токсикации в осадках. Количественные значения биохимических показателей и их соотношения, характер пространственного распределения составляют комплекс независимых критериев техногенного воздействия. Эти критерии эффективны на практике, когда нет возможности идентифицировать загрязняющее вещество или определить всю их сумму.

Естественное воздействие природных факторов проявляется в экосистеме иным образом. Высачивание глубинных газовых компонентов по осадкам и их выход в придонную воду наблюдали в районе газовых кратеров и геоакустических аномалий Балтики (Геодекян, Авилов, Авилова, и др., 1988). Естественные потоки газообразных флюидов проявились, прежде всего, в донных отложениях, где зафиксированы

аномально высокие величины газобиогеохимических показателей и их возрастание вниз по грунтовой колонке. Максимальное содержание АТФ составило 690 нг/г, а в интервале отбора проб 1,6–3,0 м концентрация АТФ изменялась от 238 до 277 нг/г или в пределах  $\pm 7,8\%$  от средней  $X = 258$  нг/г, т.е. установленная величина подтверждена большим числом измерений и характеризует устойчивость и высокую активность, в том числе по измерениям активности четырех гидролитических ферментов (ЩФА, липолитической, протеолитической, амилолитической активностей), происходящих здесь биохимических процессов. Над кратером в придонной воде содержание АТФ более 200 нг/л оказалось в 2 раза выше, чем в интегральной пробе, отражая влияние газовых потоков из грунта.

Подобную картину наблюдали в донных осадках из скважин в районе Пильтун-Астохского месторождения на шельфе о. Сахалин. Здесь отмечена повышенная биологическая активность в осадках вплоть до глубины опробования 23,3 м, когда гидролитическая активность ферментов и содержание АТФ («активное-живое» вещество) увеличивались вниз по грунтовой колонке. Это связано с потоками флюидов над залежью, и в первую очередь газообразных углеводородов. Грунтовые колонки из 11 изученных скважин были различной длины – от 5,9 до 23,3 м. Весьма выразительны по концентрации и активности БАВ грунтовые колонки из скважин 3 и 5. На глубине опробования 2,1; 16,3 и 23,3 м (скв 3) концентрация АТФ и гидролитическая активность щелочной фосфомоноэстеразы составили соответственно: 1,9; 2,8 и 5,8 АТФ нг/г и 0,6; 56,2 и 63,5 Е/г. Аналогичные показатели на другой скважине 5 при глубинах опробования 0,6; 3,0; 12,3 и 20,0 м составили соответственно: 1,1; 2,7; 4,1 и 4,9 АТФ нг/г и 46,4; 58,5; 75,0 и 35,4 ЩФА Е/г. Эти и полученные данные по другим грунтовым колонкам указывают на естественные процессы, связанные с явлением облигатной хемолитоавтотрофии. Геоэкологическое состояние более высокой биологической активности донных осадков в районе Пильтун-Астохского нефтегазового месторождения обусловлено естественными потоками газообразных флюидов из глубин осадочной толщи.

Из рассмотренных примеров следует, что естественное воздействие связано с потоками вещества и энергии, к которым микробальное сообщество давно приспособилось. Адаптационные процессы выражены в эвтрофировании воды и осадков, микробиота находится в состоянии развития. Критериями естественного воздействия служат по-

вышенные значения АТФ и ЩФА, их более гармоничное соотношение с уклоном в сторону развития микроорганизмов экосистемы.

Сделанные сопоставления констатируют, что по комплексу биохимических критериев техногенное и естественное воздействия на экосистему заметно различаются. Привлечение этих критериев для оценки состояния природной экосистемы обеспечит разделение обоих воздействий. Их использование при экосистемном анализе полученных данных позволит обнаружить факт загрязнения на любом уровне геохимического разреза вода – дно. Отличия наиболее рельефно заметны в донных отложениях, поэтому осадки рассматриваем как главный маркирующий горизонт, обязательно изучаемый при решении задачи экспертизы водоема по разделению техногенного загрязнения от естественного воздействия. В этот принципиальный подход могут быть внесены коррективы, обусловленные климатическими, сезонными особенностями, географическим положением и характеристиками самого водного объекта. Сам подход к проблеме с биохимических позиций обладает заметными преимуществами и постоянно используется авторами при идентификации явлений в экосистеме. Выделение техногенной составляющей из полученных величин газобиогеохимических показателей повышает надежность выводов о сути природных процессов и явлений. Практика применения разработанных критериев и нюансы их использования более подробно раскрыты далее при исследовании и анализе состояния разных акваторий.

В водоёмах Северного Сахалина, отнесенного к районам Крайнего Севера, преимущественно протекают процессы захоронения органического вещества, а не его преобразования. В северных районах степень отрицательного воздействия антропогенной нагрузки на биоту выше, чем в районах умеренного климата. Здесь процессы самоочищения идут не столько за счет наращивания биомассы активных живых микроорганизмов, сколько за счет усиления напряженности биохимических процессов, вызванной резкими сезонными колебаниями. Например, в благополучном по геоэкологическому состоянию регионе – в Охотском море у берега – пик содержания БАВ приходится на лето, тогда как в сильно загрязненном заливе Уркт – на осень, когда по месяцам апрель, август, октябрь концентрация АТФ в водах его западной части составила соответственно 133, 320 и 1420 нг/л. В этой части залива весь период осадки оставались биологически пассивными с признаками токсикации.

В донных осадках процессы самоочищения не нашли заметного развития и загрязняющие вещества захороняются в результате седиментации. Это заключение подтверждается исследованием органического вещества в донных отложениях. Содержание Сорг достигает 5,65%. По результатам люминесцентного анализа отмечена высокая битуминозность осадков. Концентрация ХБА в грунте составляет 3,77%, причем с глубиной она возрастает со значительной примесью эпигенетичной битуминозности. Количество масляных фракций в ХБА увеличивается до 65,6% в нижнем слое осадка по сравнению с 35 – 44% в верхнем. Ряд нормальных алканов представлен углеводородами от  $C_{11}$  до  $C_{34}$ . В образцах из верхних слоев найдено аномально высокое содержание  $n$ - $C_{17}$ . Вид хроматограмм указывает на присутствие сильно окисленной нефти.

В восточной части залива Уркт, удаленной от р. Охинка, преобладают естественные процессы (по комплексу измеренных газобиогеохимических показателей). Здесь обнаружено присутствие гелия и водорода, в дополнение к постоянно детектируемым –  $CO_2$ , УВГ и перманентным газам. Они свидетельствуют о естественных глубинных потоках флюидов, которые активизируют биоту. По тем же месяцам содержание АТФ в воде постоянно выше, чем в загрязненной западной части залива, – 340, 560 и 1780 нг/л. В осадках естественный геоэкологический эффект ещё более заметен. Они оказались менее загрязненными – на порядок ниже, чем в западном секторе, содержание Сорг = 0,49% и концентрация ХБА – до 0,046%.

В условиях Севера к высоко информативному маркирующему горизонту относим толстый ледяной покров водоема, быстро нарастающий в период сильных холодов. Во льду зафиксирован большой разброс содержаний БАВ: концентрация АТФ составила 68–3840 нг/л и ЩФА 1,4–740 Е/л. Разнятся значения и по длине колонок, взятых весной при общей толщине льда 90–115 см.

В экологически благополучном районе Охотского моря и на станции вблизи него во Второй бухте концентрация АТФ в нижней части колонки льда (80–87 см), граничащей с водой, были на порядок выше по сравнению с таковыми в верхнележащих слоях льда. Высокие количества БАВ – АТФ 1240 нг/л и ЩФА 483 Е/л, определены внизу колонки из Охотского моря.

И наоборот, в загрязненном заливе Уркт наблюдали перевернутую картину – концентрация БАВ уменьшалась вниз по ледовой колонке с максимумом АТФ (3840 нг/л) в интервале отбора 40–53 см при длине

ледовой колонки в 115 см. Аналогичное вертикальное распределение замечено и на другой, восточной станции в этом же заливе с той лишь разницей, что максимум здесь установлен в интервале 15–25 см при общей толщине льда 96 см. Оба максимума расположены в 70 см от контакта льда с водой, то есть в этих максимумах при намерзании льда зафиксировано одновременно одинаковое геоэкологическое состояние высокой биологической активности подлёдной воды.

В отобранных колонках льда визуально выделялись разные по цвету слои: жёлтые и зелёные различной интенсивности, серые и темные, что отчасти оказалось связанным с концентрацией и активностью БАВ. В процессе льдообразования, особенно при высоких скоростях намерзания со стороны воды, в слоях льда определенным образом фиксируется существовавшее в тот период состояние подлёдной среды. В таком случае лёд служит для воссоздания палеобиохимической обстановки водной среды в зимний период. Лёд относим к важному индикатору аквагеоэкологического состояния окружающей среды.

В водной массе подо льдом содержание АТФ изменялось от 60 до 340 нг/л, при этом ЩФА колебалась в диапазоне 70–1120 Е/л. Наименьшие значения найдены на охотоморской станции, наибольшие – на востоке залива Уркт, средние – на станциях во Второй бухте (АТФ 83–180 нг/л, ЩФА 130–525 Е/л). Всюду отмечено угнетенное состояние микробиоты. Осенью соотношение биохимических показателей улучшилось – концентрация АТФ возросла в 5–10 раз и на фоне таких изменений ЩФА осталась практически на прежнем уровне. Сравнение говорит о низкой скорости биохимических преобразований в подлёдной воде.

Данные в совокупности указывают, что во льду идут интенсивные биохимические процессы по самоочищению водоёма, а характер их вертикального распределения по высоте колонки льда фиксирует геоэкологическое состояние бассейна в целом. Одновременно полученные результаты по льду и подлёдной воде дополнительно свидетельствуют о том, что ядро зимнего фитопланктонного сообщества находится не в подлёдной воде, а в самом льду. Это научный факт имеет важное значение – обнаруживается иной механизм самоочищения водоёмов, в котором главенствующую роль играют первично-биохимические процессы во льду, частично на границе раздела вода-лёд, тогда как доля участия донных осадков заметно снижается, как видно из установленной в них невысокой биологической активности (Геодекян, Авилов, Авилова, 1994).

Загрязнённые воды часто попадают в более чистые моря и океаны. Измерения, выполненные на станциях залива Вторая бухта, раскрывают специфику процессов в зоне смешения пресной и морской воды. Динамичное физико-химическое взаимодействие интенсифицирует жизнь микробиоты. Концентрация АТФ на открытой воде осенью достигла почти 2000 нг/л, а ЩФА осталась на уровне 500 Е/л, характеризуя аномальное состояние высокой биологической активности с преобладанием процессов развития микробиального сообщества локальной водной экосистемы. Здесь осадки и весной и осенью оставались биологически пассивными, как результат захоронения органического вещества обоих типов – техногенного и естественного генезиса.

Дальнейшее изучение проб осадков Второй бухты подчёркивает эти выводы. Содержание Сорг по сравнению с плиоцен-миоценовыми породами Северного Сахалина довольно высокое 0,73–1,43% и характеризуются значительной битуминозностью (0,069–0,103%). В компонентном составе ХБА отмечали невысокое содержание масел (37–40%), повышенную долю асфальтенов (до 30%), значительное преобладание спиртобензольных смол (22–30%) над бензольными (9–19%). По данным хроматографических исследований, ряд *n*-алканов представлен углеводородами от C<sub>11</sub> до C<sub>34</sub> с высокой долей *n*-C<sub>17</sub>, C<sub>23</sub>, C<sub>27</sub>, что свидетельствует о значительном содержании морских водорослей, а высокая распространенность *n*-алканов в области C<sub>25</sub> – C<sub>30</sub> (25 – 30%) отражала наличие примеси остатков высших растений. Люминесцентный анализ показал наличие хлорофилла в экстрактах. Как видно, в донных осадках найдены различные по генезису органические вещества, отражая разноплановые процессы в зоне смешения вод.

Подобное, но более ярко выраженное явление эвтрофирования водной массы наблюдали в районе выхода загрязненных вод из судоходного канала порта Клайпеда в Балтийское море. В зоне взаимодействия пресных вод Куршского залива, прошедших через порт и канал, с морскими водами в Балтийском море содержание АТФ превысило 10 мкг/л при ЩФА менее 300 Е/л в поверхностном слое. Оба показателя идентифицируют эвтрофирование 2 стадии и определяют нестабильность этого состояния, вызванного интенсивным и чрезмерным развитием сообщества микроорганизмов. В придонной воде содержание АТФ изменялось от 1 до 4,2 мкг/л (до 5,6 мкг/л в 1986 г), а в интегральной пробе разброс не столь велик при сравнении 1986 и 1988 гг. – 2,5–3,6 и 2,2–2,7 мкг/л соответственно. Биохимические критерии указали на доминирование здесь естественных процессов реагиру-

ния на загрязнение – самоочищение смешанной водной массы, своеобразная защитная реакция морской среды.

Аналогичные процессы самоочищения морских, океанических экосистем наблюдали практически во всех исследованных районах впадения рек. Даже в пресноводном озере Байкал в районе дельт рек Селенги и Верхней Ангары в зоне смешения вод измерены одни из самых высоких содержаний АТФ, которые доходили до 5,4 мкг/л (Геодекян, Авилов, Авилова, 1990а). Локальное эвтрофирование байкальских вод связываем с поступлением загрязняющих веществ в таких же пресных водах обеих рек.

Изучение акватории Атлантического океана выполнено в экспедиции на НИС «Академик Сергей Вавилов», где получены данные о пространственном распределении газобиогеохимических показателей по поверхностным водам (Геодекян, Авилов, Авилова, 1997). Выделены районы с повышенной биологической активностью по сравнению с фоновыми. Установлен различный генезис этих проявлений. Большие масштабы приобрело влияние пресных вод рек Параны и Уругвая, проявляющееся на сотни миль от залива Ла-Плата. В отдельных точках этой области, вне экономической зоны Аргентины, содержание АТФ достигало 700 нг/л. Ещё выше концентрация АТФ 2060 нг/л установлена в акватории, близкой к Лиссабонскому заливу, в который впадает р. Тежу. Подобным образом меняется гидролитическая ферментная активность. Загрязненный при техногенном воздействии речной сток вызывает естественные защитные процессы в морской среде.

Помимо эффекта загрязнения, в рейсе отмечены случаи естественного нефтегазопроявления. На юге шельфа Аргентины повышенная биологическая активность поверхностных вод связана с усиленным потоком флюидов углеводородных газов из донных отложений. Здесь обнаружены высокие содержания метана ( $3,2 \text{ мл/л} \cdot 10^{-5}$ ), наивысшее из измеренных в этом рейсе количество этана ( $2,5 \text{ мл/л} \cdot 10^{-5}$ ), что указывает на признаки нефтегазопроявлений и перспективность морских поисковых работ, о чем было сообщено аргентинской стороне. Сейчас, как известно, в этих районах ведется разведка нефтегазовых месторождений.

Весьма интересной оказалась зона в районе экватора над системой разломов Романш и Сан-Паулу Северо-Атлантического хребта. При глубинах океана 2800–4900 м на достаточно большой протяженности в поверхностных водах зафиксировано наличие интрузивных, выделяющихся из недр Земли по разломам, газов. Суммарно для гелия и

водорода концентрация достигала  $2,1 \text{ мл/л} \cdot 10^{-3}$ . Потоки этих газообразных флюидов вызвали активизацию в развитии микробиального сообщества, что и привело к образованию вод с повышенной биологической активностью. При этом содержание АТФ и биомасса активных живых микроорганизмов поднимались в несколько раз по сравнению с фоновыми и составили соответственно 510 нг АТФ/л и 125 мкгС/л, то же и с активностью щелочной фосфомоноэстеразы – 110 Е ЩФА/л. Вдоль судоходной морской трассы замечены следы техногенного воздействия на поверхностные воды.

Периодическая или разовая нагрузка загрязняющих веществ на водную экосистему вызывает примерно те же экологические эффекты, как при других воздействиях. С той лишь разницей, что процессы деградации и самоочищения быстрее сменяют друг друга во времени и пространстве. Исследования последствий разлива мазута из танкера «Глобе Асими», выброшенного 19 ноября 1981 г. в сильный шторм на железобетонные волноломы на выходе из порта Клайпеда, выполнены в экспедиции на НИС «Шельф» в июле 1982 г (Авилова, 1984). Полученный массив газобиогеохимических данных обеспечил выделение загрязненной области моря на север от места катастрофы (раздел 2.3). В водах этой области среднее содержание АТФ по трем маркирующим горизонтам – у поверхности, в толще вод и придонном слое, составили 370, 280 и 270 нг/л соответственно. Средняя активность алкилфосфатазы (ЩФА) микропланктона в толще вод равна 170 Е/л, а в поверхностном и придонном слоях составляет 210 и 170 Е/л. Хотя разброс значений обоих показателей в разных точках загрязненной части акватории значителен (например, АТФ в толще вод изменяется от 70 до 1370 нг/л), на отдельных станциях сохраняется однородность вод по вертикали и соотношение БАВ, свойственные средним величинам. Из этого следует, что микробиота здесь находится в угнетенном состоянии.

Иное дело в осадках. Концентрация АТФ изменяется от 23 до 1200 нг/г (в среднем 280 нг/г) и уменьшается с удалением на север от горла Клайпедского пролива. Распределение ЩФА аналогично изменению содержания АТФ в верхнем слое донных отложений, а её активность находится в пределах 44–310 Е/г ( $X = 116 \text{ Е/г}$ ). Осадки найдены в состоянии повышенной и высокой биологической активности, т.е. сообщество донных микроорганизмов интенсивно перерабатывает поступившие из воды загрязняющие вещества. Комплекс биохимических критериев, в противовес таковым по водоемам Крайнего Севера, позволил установить значительный вклад осадков в процессы самоочи-

щения акватории Балтийского моря. Исследования подтвердили высокую информативность донных отложений в оценке последствий техногенного воздействия на водную экосистему. Главное – данный вывод успокаивает тех, кого беспокоит судьба Балтики в целом.

Действительно, это внутриматериковое и, в общем-то, мелководное море имеет затрудненный водообмен с океаном. Это обстоятельство делает его весьма чувствительным к техногенному воздействию. Как оценивают, оно по удельной нагрузке одно из самых высоких. Только нефтяное загрязнение колеблется в районе 2% от суммарного для всего Мирового океана, хотя Балтийское море составляет лишь 0,1% его площади, а по объему водной массы – еще на несколько порядков меньше. Донные отложения активно участвуют в самоочищении моря, но продолжают тревожить случаи гипертрофирования его вод. Свидетельством тому служит научный материал, полученный в двух экспедициях в мае месяце 1994 и 1995 гг. (Авилов, Авилова, 1999).

В южной Балтике устойчиво регистрировали по годам аномально высокие содержания АТФ 11,4 и 8,9 мкг/л, а активность ЩФА – около 2500 Е/л. Максимальные измеренные величины относим к редко встречающимся: по АТФ – 54,16 мкг/л и ЩФА – 8030 Е/л. Здесь же обнаружены наибольшие из измеренных концентрации метана, этана и пропана. Определяем, что в этом районе суммировалось поступление промышленных, бытовых, транспортных отходов из рек Преголь, Висла и других источников. Море вынуждено их перерабатывать на месте. Для сравнения, в не менее нагруженном, но более открытом океану Северном море, тогда же отмечен общий высокий уровень содержания АТФ от 1000 до 3040 нг/л, показывающий эвтрофирование вод 1 стадии. В отдельных точках зафиксированы редкие случаи, когда активность ЩФА падала до аналитического нуля, что характерно для загрязнения вод соединениями фосфора. Вопрос рационального использования природных ресурсов Балтийского моря требует объединенных усилий прибалтийских государств и внимания всего мирового сообщества.

Еще более остро стоит проблема техногенного загрязнения для замкнутых водных объектов типа озер, водохранилищ и т.п. Исследования обеспечили районирование подмосковных водохранилищ (раздел 2.3) и выделение аномалий. Задача экосистемного анализа состоит в установлении причинно-следственных связей, обусловивших их возникновение. На примере Истринского водохранилища рассмотрим формирующие аномальное состояние экосистемы процессы и явления.

Исследования проведены в два этапа – в июне и августе 1992 г. Массив данных получен по четырем маркирующим горизонтам (поверхностном и придонном слоях, суммарно по водной толще, верхнем слое осадка) на 1 и 2 этапах в 3-х опорных точках Истринского водохранилища – в верхней части (ст. 3 Пятница), середине (ст. 2 Лопотово) и у плотины (ст. 1 П-Пост).

На первом этапе наблюдений в водной толще концентрация АТФ (БАЖМ) в среднем составила 387 нг/л (97 мкг С/л), а в донных осадках среднее содержание определено в количестве 49,8 нг АТФ/г и 12,5 мкг С/г. При этом диапазон изменения ЩФА в водной массе составил 656–3220 Е/л. Гидролитическая активность донных осадков колебалась в широких пределах от 27 до 2450 Е/г (средняя величина  $X = 930$  Е/г).

На 2 этапе ситуация заметно изменилась. Биологическая активность вод и осадков возросла почти на порядок, а иногда и выше. Изменения содержания АТФ (БАЖМ) в воде Истринского водохранилища наблюдали в диапазоне 2180–15900 нг/л (545–3980 мкг С/л), а среднее значение достигло  $X = 7430$  нг/л (1880 мкг С/л). В осадках средняя концентрация увеличилась до  $X = 746$  нг/г (187 мкг С/г). Гидролитическая активность вод также возросла ( $X = 6580$  Е/л), но снизилась до средней величины  $X = 488$  Е/г в осадках. В устьевой части реки Истра, питающей Истринское водохранилище, в районе Дмитровское на первом этапе измерена концентрация АТФ от 517 до 857 нг/л и ЩФА в пределах 1440–2630 Е/л ( $X = 2470$  Е/л). На втором этапе оба показателя составили 1560 нг/л и 2800 Е/л соответственно.

Дополняя эти данные, следует заметить, что на станции 1 П-Пост в интервале отбора грунта 10 – 15 см на 2 этапе наблюдалось снижение биологической активности донных отложений вниз по грунтовой колонке, хотя абсолютные значения АТФ и ЩФА превышают измеренные на 1 этапе. На станции 3 Пятница пробы грунта отобраны на 2 этапе еще глубже – на горизонте 20–22 см и наблюдали аналогичную картину, с той лишь разницей, что концентрация АТФ превысила в 5 раз данные 1 этапа, а ЩФА, наоборот, упала в 7 раз.

Исследованиями зафиксирован высокий разброс данных по каждому показателю отдельно и разнообразие соотношений этих показателей в пробах воды и осадков. Пестрая картина обусловлена разнообразными факторами воздействия на экосистемы изученных водохранилищ. Некоторые закономерности в поле пространственно – временного распределения АТФ и ЩФА выявлены при разделении дан-

ных по основным маркирующим горизонтам (соответственно положению в пространстве точкам отбора проб) и анализе вертикального распределения показателей на станциях.

Экосистемный анализ полученной информации по комплексу биохимических показателей привел к следующим оценкам. На 1 этапе воды и осадки найдены в состоянии повышенной биологической активности, в пределах нормы, хотя в некоторых частях акватории сообщества микроорганизмов присутствуют в угнетенном состоянии.

На 2 этапе геоэкологическое состояние воды во всех точках тестирования и по трем маркирующим горизонтам (поверхностному и придонному слоям, суммарно для водной толщи) оцениваем по номограммам как аномальное. Градацию состояний ведем между высокой и особо высокой биологической активностью. Оба состояния вызваны эвтрофированием водной массы под действием в первую очередь сезонного фактора. Состояние осадков также найдено аномальным. В водах Истринского водохранилища на фоне общего эвтрофирования выделяем центральную область с максимально высокой аномалией, вплоть до гипертрофирования, и некоторое снижение эвтрофности вод в приплотинной части, особенно в придонном слое.

Параллельные наблюдения в других водоемах привели к аналогичным выводам. Похожее геоэкологическое состояние установлено в Озернинском водохранилище. Более благоприятная обстановка отмечена в приплотинной зоне Рузского водохранилища. Состояние высокой биологической активности (аномалия), но приближающаяся к геоэкологической норме, наблюдали в районах около плотин в Учинском, Пяловском, Икшинском водохранилищах, а также в Москве-реке у водозабора. Некоторое эвтрофирование вод установлено у плотины в Пестовском водохранилище и в месте слияния рек Вязи и Учи в Учинском водохранилище.

Выявленные особенности геоэкологического состояния подмосковных водохранилищ весьма неординарны и побуждают к поиску причин его возникновения. В качестве главных выделяем циклическую изменчивость и высокую степень эвтрофирования водной среды. В таком сочетании основной причиной эвтрофирования выделяем антропогенную нагрузку. Если водоём не загрязнён, то сезонность не выводит его из экологической нормы. По соотношению биологически активных веществ представляется, что в антропогенной нагрузке преобладают загрязняющие органические вещества, как результат прямого стока в воду неочищенных от органических веществ отходов, ис-

точником которых зачастую бывают молокозаводы, животноводческие фермы и бытовые отходы. Источники загрязнения Истринского водохранилища расположены выше деревни Пятница, поскольку здесь уже на 1 этапе работ были наиболее заметные признаки эвтрофирования, вызванные в частности поступлениями с водами р. Истры.

Другой не менее важной причиной является длительность воздействия загрязняющих веществ. В результате многолетнего систематического летне-осеннего эвтрофирования вод происходит интенсивное накапливание органических отложений. Как показали проведенные авторами исследования в Учинском водохранилище в донных осадках, высокомолекулярные комплексы составили 21,5% от общего углерода (Миркина, 1977), что сопоставимо с данными по загрязненным водоемам присахалинского шельфа. В Истринском водохранилище складывается похожая ситуация, когда органическое вещество, накопленное в донных осадках, слабо преобразовано, что вызывает повышенное потребление кислорода в осадках и возникает напряжение процессов самоочищения с признаками угнетения. Они зафиксированы во многих пробах воды и осадков по соотношению АТФ и ЩФА. В то же время в отдельных районах установлена высокая интенсивность биохимических процессов, происходящих в донных осадках, усиливаются процессы самоочищения водоёма.

Последствия эвтрофирования водной среды водохранилища могут носить как краткосрочный, так и долговременный характер. Непосредственно в период эвтрофикации нарушается естественное состояние водной экосистемы. Водоросли начинают развиваться гораздо быстрее, чем обычно, образуя так называемые «зелёные воды». При этом организмы стоящие выше по трофической цепи, уже не успевают их утилизировать. Образовавшийся излишек микроорганизмов отмирает от избытка токсикантов органического происхождения (метаболитов) и оседает на дно, где разлагается, вызывая сероводородное заражение придонного слоя. «Зелёная вода» уже является следствием нарушения экологического равновесия. Но если этот процесс идет быстрее, то микроорганизмы, используя весь растворенный кислород, не успевают возобновлять его запасы. В этом случае отмечаются значительные суточные колебания содержания растворенного в воде кислорода, зачастую от 0 до максимума. Подобные стрессы не выдерживают большинство организмов, происходит массовая гибель фауны от асфиксии, вызванной кислородным голоданием, наступает экологическая катастрофа. В таких местах экологическое равновесие особенно неустой-

чиво при высокой стратификации вод. В частности в Истринском водохранилище подобная неустойчивость проявлялась в резких скачках соотношения АТФ и ЩФА в воде на 2 этапе.

Стрессовую ситуацию авторы наблюдали в северо-западной части Индийского океана (в Аравийском море) в результате резкого изменения кислородного режима – концентрация АТФ была равна аналитическому нулю при максимальной ферментной активности, то есть удалось зафиксировать внезапную гибель микробиального сообщества от стресса. Аналогичные явления отмечали и в иных водах, например, в районе Перуанского апвеллинга, в Балтийском море, о. Байкал.

Длительная эвтрофикация приводит к полному вымиранию фауны и к анархическому развитию водорослей на поверхности водоема. Именно такая судьба постигла о. Эри (одно из Великих озер Америки). В 60-х годах обезлюдили его пляжи, улов рыбы сократился в 250 раз. Подобное произошло с канадским о. Онтарио – к 1955 г. улов рыбы сократился в 400 раз. В среде с низким содержанием кислорода преобладают анаэробные бактерии, которые, не обеспечивая полного преобразования органических веществ, выделяют токсичные газы, например, сероводород. Кроме того, экологически бесконтрольное развитие микроорганизмов может привести к отрицательному воздействию на человека и животных. Им обладают токсичные продукты метаболизма самого микробиального сообщества и продукты разложения погибшего планктона. Микроорганизмы оказываются ядовитыми, а порой и смертельными для человека, в тех случаях, когда в них обильно развиты некоторые представители из динофлагеллят или перидиниевых.

Понимание экосистемных процессов необходимо для прогнозирования дальнейшего геоэкологического состояния водных объектов, оценки возможности его использования в народнохозяйственной деятельности и планировании природоохранных мероприятий. Во всяком случае, проведенная аквагеоэкологическая экспертиза подмосковных водохранилищ показала, что в них идут циклические процессы самоочищения. Однако необходимо повысить степень очистки воды именно в период эвтрофирования водоёмов, в том числе, – от останков микроорганизмов, содержащих токсические вещества.

Практическая значимость данных исследований видна также в решении проблемы по охране морских биоресурсов. Как было доказано выше, естественные нефтегазопроявления повышают состояние биологической активности экосистемы за счет развития микробиоты.

Перманентный характер такого воздействия увеличивает численность морских обитателей по всей пищевой цепи. Это закономерное природное явление объясняет, почему области высокой нефтегазоносности морского шельфа обычно соподчинены с районами традиционного рыболовства – лососей вблизи о. Сахалин, сельди в Баренцевом море и т.п. Техногенное нефтегазовое воздействие, наоборот, угнетает все водные организмы, биопродукция снижается.

Различать естественное и техногенное воздействие особо необходимо в таких промысловых регионах. Предложенные аквагеоэкологическая экспертиза, методы тестирования водного объекта обеспечат выявление по комплексу разработанных критериев факта загрязнения и обнаружение его источника. Дальнейшее зависит от государственных органов. Бездействие приводит к тяжелым последствиям, особенно, как говорилось, для замкнутых водоемов (добавим осетровых на Каспийском море и др.). Снижение улова рыбы в водоеме относим к косвенному показателю техногенного воздействия на его экосистему.

Исследование акультурных водных экосистем, выполненное авторами в разных точках планеты, определило некоторые общие закономерности. При любых видах воздействия экосистема тут же начинает реагировать непосредственно в точках их приложения. В зоне контакта (смешения вод) со стороны экосистемы доминирует естественный процесс самоочищения, адекватный воздействующему фактору, типу и мощности действующей нагрузки, географическому положению экосистемы и прочее. В зависимости от типа загрязняющих веществ и их композиций вступают в действие разнообразные механизмы самоочищения. Они объединяют попеременно или одновременно действующие процессы: потребление поступающих веществ за счет эвтрофирования воды и осадков, захоронение продуктов метаболизма и токсикантов, развитие или угнетение микробиоты и влияние на организмы далее по трофической цепи. С точки зрения удовлетворения потребностей человека масштабное акультурное техногенное воздействие может существенно снизить эти возможности.

С общеприродных позиций водная экосистема не может существовать изолированно. Только в условиях внешних взаимосвязей она обеспечивает прохождение жизненных циклов живых организмов, круговорот целого ряда веществ, их переход в белковую форму жизни и обратно. В реализации этих сложных взаимодействий проявляется собственное неординарное свойство природной экосистемы – стремление вернуться после всяческих воздействий к некому стабильному

исходному состоянию биологической активности, в котором нет места ни эвтрофированию, ни токсикации. Чтобы снова попасть в это же состояние его надо знать и помнить – эту способность экосистемы рассматриваем как проявление информационной формы жизни. У каждой локальной экосистемы исходное состояние может быть свое, но в своих реакциях она должна ощущать себя частицей Мирового океана.

### **3.2. Приграничные взаимодействия**

Всякая природная экосистема находится в определенных границах. У одних экосистем они четко определены, если совпадают с границами конкретного водного объекта. Другие, выделенные по какому-либо геохимическому, биохимическому или иному признаку, обычно имеют условный характер. Граница проходит по поверхности в виде плоскости или объемной фигуры, причем толщина слоя может сильно варьировать, поэтому границу называют также контактной зоной, редокс-зоной, переходным слоем и т.п. Термины несут дополнительную смысловую нагрузку – по границе происходит контакт двух экосистем, одна высшего, другая низшего ранга. Все экосистемы как бы вложены друг в друга, наподобие знаменитых русских матрешек.

Приграничное взаимодействие обусловлено в первую очередь свойствами контактирующих экосистем, характеристиками пограничного слоя, а также влиянием процессов в других, более отдаленных экосистемах. Такой подход доказывает эффективность изучения контактных зон для исследования местных и «сквозных» процессов и явлений. В методологии особое место занимает правильный выбор локальной экосистемы и формирование достоверной информационной системы для успешного экосистемного анализа. В большинстве случаев достаточную информацию предоставляет комплекс газобиогеохимических показателей. С их помощью обнаруживаем область аномального аквагеоэкологического состояния. Показатели комплекса вполне самодостаточны для установления главных причинно-следственных связей взаимодействия биотической и абиотической составляющих экосистемы. Однако, на отдельных этапах экосистемного анализа для поиска причин, формирующих аномалию, иногда требуется пополнение информационной системы сведениями из биогеохимии, геологии океана и других необходимых научных дисциплин.

В океанологии традиционно вели работы в приповерхностной и придонной зонах и установили главенствующую роль фотосинтеза во

всех экосистемных взаимодействиях образования и преобразованиях ОВ в воде и осадках. Результаты аквагеоэкологических исследований авторов дополнили эти представления. Заметный вклад вносят и другие воздействия. К таким факторам относим механическое перемешивание или смешение вод. Аномальное состояние высокой биологической активности найдено, как уже говорилось, в зоне смешения речных и океанических вод. Классическим примером служит ситуация в районе Перуанского апвеллинга, то есть подъема к поверхности глубоководных холодных вод.

Исследование проводили весной в 1974 и 1978 гг. в экспедициях на НИС «Академик Курчатов», 17 рейс, и на НИС «Дмитрий Менделеев», 20 рейс (Миркина (Авилова), 1982; Авилова, 1984б). В 1974 г. выполнен разрез от мыса Пакасмайо ( $7^{\circ} 30' - 8^{\circ} 00'$  ю. ш.,  $79^{\circ} 40' - 81^{\circ} 40'$  з. д.). В 1978 г. выполнено 3 разреза от побережья Перу в океан: 1 – по  $7^{\circ} 35'$ , 2 – по  $8^{\circ} 30'$  и 3 – по  $15^{\circ} 00'$  ю. ш.

В 1974 г. прослеживалось пятно интенсивного подъема холодных вод, где отмечены относительно высокие концентрации АТФ (до 840 нг/л), взвешенного фосфора (до 83 мкг/л), а ЩФА доходила до 200 Е/л. По мере удаления от центра пятна и глубже 20–25 м содержание АТФ уменьшалось. Сходным образом распределялись взвешенный фосфор, алкилфосфатаза и количество взвешенных частиц. Подобная взаимосвязь указывает на то, что доля активного живого вещества велика, а доля детрита незначительна, и свидетельствует о молодом развивающемся сообществе.

В 1978 г. на всех трех разрезах отмечены значительные колебания величин АТФ – от 24 до 3620 нг/л и выделено несколько аномалий (пятен) по вертикали (в то время как в 1974 г. был отмечен лишь один поверхностный максимум). Характерно, что выходы холодных вод к поверхности отсутствовали. Отмечен интенсивный надвиг теплых субширотных вод, с чем было связано явление «красного прилива». Максимальным содержаниям АТФ соответствовали высокие величины активности ферментов (протеолитических, амилолитических, липолитических, щелочной фосфомоноэстеразы) и высокое содержание аналогов кобаламина, тиамина, биотина, превышающие на 2–3 порядка концентрации их в иных водах (Миркина (Авилова), 1977, 1979). Активность ЩФА сильно варьирует в пределах 500–5000 Е/л. Внеклеточные ферменты здесь также в несколько раз активнее. Ферментная активность микропланктона, кроме липолитической, выше на разрезе 2, также как и количества белка, углеводов и фосфора. Однако доля

белка и углеводов от взвешенного Сорг несколько больше на разрезе 3, что свидетельствует о молодом развивающемся сообществе.

Содержание витамина  $B_{12}$  и его природных аналогов колеблется от нуля до 52,9 нг/л. Самые высокие величины отмечены в придонной воде, а также в водной толще прибрежных станций разрезов 1 и 3 и на одной из океанических станций вне разрезов. На разрезе 2 в поверхностном пятне «красного прилива» содержание  $B_{12}$  составило 35,7 нг/л. Концентрации тиамин и биотин варьировали от 40 до 700 нг/л и от 10 до 105 нг/л соответственно. Количество азота карбамида составило 0,2–60 мкг/л, что в среднем в 1,5 раза ниже концентрации азота карбамида (мочевины) в водах северо-западной части Индийского океана (Авилова, 1983; 1984а).

Очень высокие содержания АТФ, кобаламинов ( $B_{12}$ ), биотин, тиамин и высокая гидролитическая активность микропланктона (амилолитическая, протеолитическая, липолитическая, щелочной фосфомоноэстеразы (ЩФА)), отношение C:N:P во взвешенном веществе, сходные с таковыми в живом организме, и напротив, низкие концентрации растворенной в морской воде азота карбамида свидетельствуют о больших скоростях обмена у микропланктона в районе Перуанского апвеллинга. По данным пространственного распределения АТФ и всех остальных биохимических показателей ясно, что на 1 разрезе за две недели до начала работ было бурное «цветение», а на разрезе 2 на фоне разрушающегося сообщества идёт зарождение нового сообщества благодаря подходу в придонные слои вод с юга, которые и вызывают новую вспышку «цветения». Оцениваем, что цикличность развития сообщества составляет 3–4 недели. Гидролитическая активность у микропланктона в контактных зонах в 1974 и 1978 гг. выше соответственно в три раза и на порядок по сравнению с таковой в фоновых экваториальных водах.

Активность ЩФА уменьшается с глубиной, что согласуется с увеличением содержания в воде общего фосфора. Особенно ярко такая зависимость проявляется в водах Перуанского апвеллинга в пятне холодных вод (1974 г.) и на разрезе 3 (1978 г.). В этих водах взвешенное вещество, в котором содержится фосфор, представлено в основном живыми клетками, что подтверждает прямая корреляция между содержанием АТФ и количеством взвеси. Распределение Сорг согласуется с распределением АТФ. Характерно, что в начале развития сообщества (разрез 3 и отчасти 2) наблюдается прямая зависимость между содержанием АТФ и Сорг, но в дальнейшем при старении сообщества

возникает обратная зависимость. Это происходит из-за интенсивного разрушения органического вещества вторично развившимся бактериопланктоном (если первичным считать бактериопланктон, с которого начинается развитие сообщества).

Существенная неоднородность в распределении АТФ и остальных биохимических показателей также связана с явлением «красного прилива», разрушением сообщества и потому «расползанием» плотных очагов «цветения». Эвтрофирование вод в зоне красного прилива сопровождается бурным развитием мигрирующих динофлагеллят, инфузорий. В целом классической картине распределения рассмотренных биохимических характеристик в локальном апвеллинге соответствует их максимум в пятне и резкое падение концентраций за его пределами, с глубиной.

Экосистемный анализ событий в районе Перуанского апвеллинга выявил преобладающие процессы в локальных экосистемах, пятнах смешения холодных и теплых вод, установил их взаимосвязь с явлениями в экосистемах более высокого ранга (Авилов, Авилова, 2009в). Конкретное место появления продуктивных пятен в прибрежных водах определяется при взаимодействии двух встречных течений – тёплого с севера и холодного с юга. Комплекс биохимических показателей надёжно указывает на расположение зоны контакта. В экспедиции на НИС «Академик Иоффе» весной 1995 г. практически одномоментно (за две недели) проведено районирование геоэкологического состояния поверхностных вод у западных берегов Южной и Центральной Америки. Получены сравнительные характеристики различных акваторий (Авилов, Авилова, 1999).

На обширной акватории от 18° до 7° ю ш. измерены аномально высокие концентрации АТФ – 2250–5900 нг/л, которые хорошо согласуются с данными 1974 и 1978 гг. Скачкообразное изменение содержания АТФ с перепадом до 3000–5500 нг/л и изменяющиеся соотношения АТФ и ЩФА отражают пятнистую биологическую структуру вод, обусловленную многочисленными локальными апвеллингами. Углеводородные газы, Не, Н<sub>2</sub> найдены в пределах фона и не оказали заметного экологического эффекта. Проведённая съёмка показала, что локальные апвеллинги имеют место и в более южных широтах, чем считалось ранее. Подтверждение тому – впервые установленные высокие концентрации АТФ в районах 35° 31' и 28° 50' ю ш. составили соответственно 2300 и 3700 нг/л при градиентах 1400 и 3300 нг/л.

К побережью Эквадора и стран Центральной Америки заметно приблизились фоновые воды Тихого океана с концентрацией АТФ 170–180 нг/л. Воды с повышенной и высокой биологической активностью (содержание АТФ от 340 до 1810 нг/л) остались в виде узкой прибрежной полосы. Выявленные смещения границ контактных зон вызваны изменениями во взаимодействиях океанических течений, то есть процессами в планетарной экосистеме – более высокого ранга. В меняющейся обстановке комплекс биохимических показателей определяет критерии, являясь надежным диагностическим признаком, для прогнозирования цикличности масштабного, экологически кризисного, печально известного явления «Эль-Ниньо» (Авилов, Авилова, 2003а).

Другая важная с геоэкологической точки зрения контактная зона водного объекта проходит по естественной границе «вода – дно». Здесь обменные процессы отличаются глубоким взаимопроникновением, поэтому соприкасающиеся воды и грунт объединяем в самостоятельную экосистему и называем придонной средой. Пределы её простирания от физической границы зависят от свойств контактирующих элементов гидросферы и литосферы и интенсивности воздействий и процессов в приграничной зоне (придонные течения, скорость осадконакопления, особенности геологического строения и др.). Для изучения придонной экосистемы ранее (раздел 2.3) уже выделены два маркирующих горизонта – придонный слой воды и верхний слой грунта, созданы пробоотборники. Определяющее значение имеет также местоположение геохимической границы. Она отделяет кислородосодержащую область, где преобладают окислительные процессы, от анаэробной с восстановительной средой. Вполне понятно, что методы изучения этих обеих частей придонной экосистемы должны заметно отличаться. Геохимическая граница распространена по всей планете, обычно проходит по верхним слоям грунта, но может подниматься из осадка в воду.

Именно такая необычная ситуация возникла на глубине более 2 км во впадинах Красного моря – Атлантис-2 и других. Геохимическая граница в силу активной гидротермальной деятельности вышла из осадков и поднялась на десятки, до сотни метров над дном. Её толщина составила несколько метров, на которых происходит резкая смена геохимических параметров. Необычная вода ниже этой границы названа термальным рассолом. Её температура оказалась 62°C, солёность – 242‰ (при полном отсутствии кислорода), что на порядок

превышает аналогичные показания, обычно фиксируемые на подобных глубинах.

Термальные рассолы выбраны как объект аквагеоэкологических исследований в экспедиции на НИС «Академик Курчатов», 1976 г., 22 рейс. Постановка такой задачи казалась достаточно спорной, поскольку предшествующими исследованиями иностранных учёных эти термальные рассолы названы безжизненными, не была найдена биотическая составляющая, то есть считали, что в них отсутствует экосистема как таковая. Но настойчивость авторов была вознаграждена. Удалось убедить выполнить несколько спусков герметичных компенсационных пробоотборников БПД и БВ в одной точке (на станции) и тем самым отобрать достоверные параллельные пробы из термальных рассолов с глубины более 2 км. Этим обеспечены полные параллели биохимических определений, которые оказались чрезвычайно неожиданными. В этих водах обнаружен АТФ, его концентрации в параллельных пробах составили 161 и 178 нг/л (Миркина (Авилова), 1977а; 1979), они различаются менее чем на 10%, то есть в пределах погрешности анализа. Также необычной найдена абиотическая составляющая этой экосистемы – в отсутствии кислорода зафиксированы аномально высокие концентрации (в мл/л) водорода 0,0144, двуокиси углерода 8,75, гелия 0,02, метана 0,2 и других газов (Геодекян, Авилов и др., 1977).

Полученные авторами данные шли вразрез с господствовавшими представлениями о безжизненности этих вод. Их нельзя назвать случайными. Положительные свойства компенсационных пробоотборников обеспечили сохранность всех компонентов в пробах при подъеме сквозь водную толщу и передаче на анализ. Используя герметичные, компенсационные пробоотборники и современные, высокоспецифичные методы анализа, авторы были уверены в своих результатах. Анализ распределения газобиогеохимических показателей по различным слоям водной толщи показал, что содержание АТФ в термальных рассолах (глубина 2121 м) в 4–4,5 раза больше, чем в переходном слое (2030 м), в 6 раз – чем в промежуточном слое (1000 м), в 1,5 раза – чем в верхнем фотическом слое (50 м). Также выше содержание газов:  $\text{CO}_2$  – в 5 раз,  $\text{He}$ ,  $\text{H}_2$ , углеводородных газов – на 3–4 порядка.

Комплекс выполненных авторами измерений явился базой для широких обобщений и выводов. Экосистема термальных рассолов существует – там обнаружена жизнь. Состояние её биохимической активности аномально высокое по сравнению с вышележащими промежуточными водами Красного моря. Экосистемный анализ опреде-

лил причинно-следственные связи в экосистемных взаимодействиях. По существенным информационным признакам (газобиогеохимическим показателям) выявили доминантное природное явление, формирующее эту аномалию. В экосистеме термальных рассолов развито сообщество микроорганизмов с хемолитоавтотрофным типом обмена веществ, которые способны использовать неорганические доноры электронов (прежде всего водород) и получать почти весь углерод путем фиксации  $\text{CO}_2$ , при этом образовывать метан.

Живые организмы в качестве питательного субстрата используют газы, поступающие ко дну из земных недр. Объяснен генезис необычайно большого количества УВГ как результат жизнедеятельности этого сообщества микроорганизмов. Хемолитоавтотрофия определяет полную автономность существования данных сообществ организмов: их жизнь абсолютно не связана с вышележащей водной массой и протекающими в ней фотохимическими процессами. Иными словами, была обнаружена биосфера нового типа. Таким образом, установлено неизвестное ранее явление – «Явление существования сообщества морских организмов в глубинных подводных гидротермах» (диплом открытия № 56 с приоритетом от 1976 г.). Использование элементов, подходов и методов, заложенных в информационную систему, привело к открытию, что само по себе очень важно, но одновременно подтвердило эффективность экосистемного подхода аквагеоэкологии, когда традиционные методы бессильны (Авилов, Авилова, 2001).

Позднее, американские исследователи Х. Яннаш и К. Вирсен обнаружили микроорганизмы в гидротермах Тихого океана. Но, изучая их обычным микробиологическим методом (прямого счёта), так и не смогли объяснить, как они здесь развиваются и чем питаются. Это была простая констатация факта существования жизни без установления причинно-следственной связи. На советско-американском симпозиуме мы доложили о своей методологии и передали нашу публикацию. Только через несколько лет Х. Яннаш и другие исследователи, применив биохимический метод аналогичный нашему, установили присутствие АТФ в глубинной подводной гидротерме. Они получили те же, что и мы соотношения его концентраций и в самой гидротерме и в окружающих её водах. Этим, спустя шесть лет, подтверждено сделанное нами открытие. Также утверждена главенствующая роль хемолитоавтотрофов в развитии гидротермальных экосистем. Но их участие в природных взаимодействиях и процессах гораздо шире.

Явление хемолитоавтотрофии авторы изучали во многих природных объектах литосферы. Выявление хемолитоавтотрофии традиционными методами сопряжено со значительными трудностями, однако они легко преодолимы в рамках информационной системы аквагеоэкологии, и по принципу разумной достаточности используем лишь существенные информационные признаки. Развитие хемолитоавтотрофов в экосистеме переводит её в аномальное состояние, которое фиксируем, применяя экспертные системы, по биохимическим показателям – содержанию АТФ и ЩФА. Особенность заключена в том, что аномалия биотической части экосистемы сопровождается одновременно аномальными проявлениями в окружающей среде, прежде всего высокими концентрациями метана, водорода, двуокиси углерода (прямые индикаторы), а также характерным изотопным составом углерода и некоторыми другими косвенными признаками.

Придонная среда морей и океанов, объединяющая в себе верхний слой донных отложений и придонную воду, вызывает повышенный научный интерес как контактная зона взаимодействия гидросферы и литосферы. На современном этапе многие процессы газо- и флюидопроявлений и сопутствующие им явления на дне океанов и морей остаются малоизученными. Более детально изучены осадки с применением традиционной океанологической техники – дночерпателей и геологических трубок, тогда как для анализа придонной воды требуются специальные пробоотборники. Однако именно слой придонной воды признан наиболее информативным при решении ряда вопросов геохимии газов, в том числе – проблем нефтегазоносности акваторий. На практике сложность получения фактического материала возрастает, а число добываемых данных падает с увеличением глубины обследуемых акваторий, поэтому результаты натурных наблюдений в морских экспедициях, особенно в глубоководных частях океана, имеют важное научное значение.

Рассмотрены данные, свидетельствующие об аномальных газопроявлениях в придонной среде акваторий (Авилов, Авилова, 2009). Применялась разработанная авторами в ИО РАН комплексная методология получения широкого спектра газобиогеохимических показателей. Для отбора проб воды и осадков использовали как специально разработанные герметичные пробоотборники – придонный батометр и секционную грунтовую трубку, так и традиционные – прямоточную геологическую трубку и дночерпатель. В пробах определяли газообразные компоненты (УВГ, гелий, водород, двуокись углерода, перма-

нентные газы) и биохимические показатели (аденозинтрифосфат – АТФ, биомасса активных живых микроорганизмов по АТФ – БАЖМ, различная ферментная активность, растворенный органический углерод – Сорг. раств., азот карбамида и многие другие).

Представлены данные по распределению этих показателей в придонной зоне северо-западной части Индийского океана и Красного моря. В образцах грунта в интервале 0–5 см содержание АТФ измерено от 20 до 2840 нг/г (БАЖМ – от 5 до 710 мкгС/г). В грунтовом растворе из тех же проб осадков установлены колебания азота карбамида от 200 до 1000 мкг/л и диапазон изменения концентрации Сорг. раств. – 2–51 мг/л. В придонной воде обнаружена также высокая степень варируемости всех измеренных показателей: для метана – 0–0,2 мл/л, азота – 11,8–19,5 мл/л, двуокиси углерода – 0,18–8,75 мл/л, АТФ (БАЖМ) – 40–1420 нг/л (10–355 мкгС/л), растворенного углерода – 1,3–3,0 мг/л, азота карбамида – 18,4–82,4 мкг/л.

Разброс значений наблюдался в пробах, отобранных по разным станциям, расположенным в районах океана, отличающихся по геологическому строению под дном акватории. Зафиксированная неоднородность придонной среды указывает на существование разнообразных газобиогеохимических процессов, а сама неоднородность, в свою очередь, служит их индикатором. В работе был использован экосистемный подход. В районе наблюдения, на станции для выяснения её генезиса выделяем локальную придонную экосистему и оцениваем ее геоэкологическое состояние.

По концентрации АТФ в поверхностном слое осадков все станции можно разделить на две группы: с низким и аномально высоким содержанием АТФ. Низкие содержания координируются с типичными профилями распределения АТФ в осадках и отображают нормальное геоэкологическое состояние в этом слое грунта, обусловленное многофакторным природным воздействием. Аномально высокие концентрации АТФ определяют геоэкологическое состояние локальной экосистемы высокой биологической активности, вызванным доминирующим воздействием одного из природных факторов – поступлением глубинных потоков газообразных флюидов. В выделенных аномальных придонных экосистемах обнаружена в воде концентрация двуокиси углерода и водорода в значительных количествах – в несколько раз выше порога чувствительности хроматографа. Рекордной концентрации АТФ соответствует и аналогичная биомасса активно развивающегося сообщества микроорганизмов, использующих газо-

образные компоненты водород и двуокись углерода, как питательный субстрат. Соотношение биохимических параметров в пробах подтверждает хорошее физиологическое состояние этого микробиального сообщества.

Комплекс измеренных газобиогеохимических показателей позволяет выявить явление хемолитоавтотрофии, вызывающее высокую биологическую активность придонной экосистемы. При этом идет процесс генерации углеводородных газов (метана), как результат специфики обмена веществ в сообществе микроорганизмов с хемолитоавтотрофным типом метаболизма, развившихся на глубинных флюидных потоках газообразных компонентов. Явление хемолитоавтотрофии в осадках на горизонте 0–5 см четко зафиксировано на станциях, расположенных в рифтовой зоне срединного Аравийско-Индийского хребта и на его отрогах. Аналогично проявление хемолитоавтотрофии найдено на станциях, расположенных на разрезе по континентальному склону восточного побережья Африки при глубинах океана до 3930 метров.

Изучение геоэкологических аномалий в придонной зоне акваторий дает основание выделить ряд закономерностей в распространении и протекании формирующих их процессов. Обнаруженные на поверхности дна аномалии корнями уходят вглубь осадков. Здесь в грунтовых колонках вертикальное распределение газобиогеохимических показателей также отличается от типичных. В изученном регионе отмечено: во-первых – возрастание, а не уменьшение, концентрации АТФ вниз по разрезу и, во-вторых – на горизонтах 2–5 метров превышение содержания АТФ над типичными значениями уже на один – два порядка.

На шельфе и континентальном склоне Чёрного моря в аномалиях содержания АТФ, водорода, метана возрастают синхронно вниз по грунтовой колонке (Геодекян, Шнюков, Авилов, Авилова, 1995; Шнюков, Авилов, Авилова, 2006; Авилов, Авилова, 2001а). Проявление хемолитоавтотрофии в осадках найдено в виде погребенных пирамид с вершиной у поверхности дна и уходящим далеко вглубь основанием (Авилов, Авилова, 1995; 2007г). По изотопным исследованиям она прослеживается на сотни метров. Натурные измерения изотопного состава углерода метана и двуокиси углерода в образцах из скважин глубоководного бурения верхней части разреза до 200–400 м, сложенного илстыми осадками, показали, что метан обогащен легким изотопом ( $\delta^{13}\text{C}$  от -77 до -60‰). Это связывается с микробиологической генерацией метана по механизму восстановления двуокиси углерода (Галимов, Шабаетова, 1985). Интерпретация фактического материала и

геолого-геофизических данных позволяет установить еще одну закономерность: в морских условиях проявление хемолитоавтотрофии в верхнем слое осадка указывает на существование этого явления и в более глубоких слоях осадочной толщи, как следствие глубинных потоков газов. Глубинная хемолитоавтотрофия занимает большой объем в осадках под дном акваторий, а её проявление в верхнем слое осадка носит точечный характер.

В свою очередь установленное по биохимическим показателям геоэкологическое состояние придонной экосистемы на уровне низкой или нормальной (фоновой) биологической активности еще не показатель отсутствия глубинной хемолитоавтотрофии. Так на станции, взятой в рифтовой зоне срединного хребта Индийского океана, при небольшом содержании АТФ в пробе грунта из дночерпателя, в придонной воде обнаружены повышенные и аномально высокие концентрации двуокиси углерода и водорода. То есть четко прослеживается глубинный поток этих газов, указывающий на существование глубинной хемолитоавтотрофии, хотя на поверхности осадка в конкретной ситуации пробоотбора она не проявилась, возможно, из-за цикличности развития микроорганизмов, на что указывает повышенное содержание азота карбамида и Сорг. раств. до 15 мг/л.

Аналогичная ситуация прослеживается на станции в разломе рифтовой зоны Маскаренского хребта. Только там наличие глубинной хемолитоавтотрофии дополнительно подтверждается измерениями по грунтовой колонке, где на горизонте 1,5 м концентрация АТФ составила 1570 нг/г, а на 4 м – 1920 нг/г (Авилов, Авилова, 2003). На континентальном склоне Индостана и у его подножья также определено наличие глубинных газов: двуокиси углерода, водорода и гелия, которые, как было нами неоднократно показано, служат индикатором глубинной хемолитоавтотрофии, в то время как на поверхности осадков содержание АТФ остается на уровне фоновых. В регионах, где по газобиогеохимическим данным отмечено проявление хемолитоавтотрофии в поверхностном 0–5 см слое осадка, происходит подъем геохимической границы аэробно-анаэробного раздела из нижних горизонтов донных отложений к поверхности.

Иная картина наблюдается на станциях в Аравийской, Сомалийской и Маскаренской котловинах Индийского океана. Здесь установлено и более низкое содержание АТФ, и отсутствие глубинных газов. В верхнем слое осадков (0–5 см) величины АТФ достигали 90 нг/г, а в грунтовом растворе Сорг раств. – 10 мг/л, азота карбамида – 250

мкг/л. В придонных водах этих же котловин измерены содержания УВГ в пределах  $(0,16-2,8) \cdot 10^{-4}$  мл/л, двуокиси углерода – 0,2–0,6 мл/л, кислорода – 4,0–4,7 мл/л, азота – 15–19 мл/л, растворенного органического углерода – 1–3 мг/л, азота карбамида – 30–50 мкг/л, АТФ (БАЖМ) – 80–100 нг/л (20–25 мкг С/л). Близкое к типичному получено распределение биохимических показателей по грунтовой колонке на станции, расположенной в Аравийской котловине. Концентрация главенствующего биохимического параметра – АТФ и характер её вертикального изменения соответствует типичному профилю (Авилова, Авилов, 1997). Обращает на себя внимание, что распределение и остальных биохимических характеристик также типичное – достигая максимума на горизонте 1–1,5 м, они затем имеют ярко выраженную тенденцию уменьшения значений вниз по грунтовой колонке. Такое свойственно фоновым областям, в которых явление хемолитоавтотрофии не развивается.

Для глубоководных котловин других океанов также характерны невысокие величины газобиогеохимических показателей. В придонной воде Северо-Западной и Центральной котловин Тихого океана содержание метана составляло не более  $1 \cdot 10^{-4}$  мл/л, кислород определен на уровне 4 мл/л, азот – 17–19 мл/л. В осадках для этих же районов выявлены низкие содержания УВГ как по поверхности из дночерпательных проб, так и по разрезу колонки длиной до 3 м (метана – до  $37,3 \cdot 10^{-4}$  мл/кг). В Северной Атлантике в придонной воде Лофотенской котловины концентрация метана не превысила  $1,6 \cdot 10^{-4}$  мл/л, а в осадках –  $78 \cdot 10^{-4}$  мл/кг. В составе УВГ непредельные углеводороды преобладали над предельными.

Интерпретация фактического материала приводит к методологически важному выводу: для надежной идентификации явления хемолитоавтотрофии в природных условиях в океане необходимо использовать комплекс газобиогеохимических показателей, измеренных в придонной среде акваторий. Использование одного показателя, будь то какой-либо один параметр из биохимических, газометрических, либо микробиологических определений, существенно снижает вероятность обнаружения явления хемолитоавтотрофии. Проведение наблюдений только одного верхнего слоя осадка также занижает оценку масштаба распространения хемолитоавтотрофии в природной среде.

Авторскими многолетними газобиогеохимическими исследованиями явление хемолитоавтотрофии было обнаружено и в других регионах Мирового океана: в придонной среде у подножья континен-

тального склона западного побережья Северной Америки, в средней части трансформного разлома Мерей в Тихом океане, в шельфовой зоне Северного Ледовитого океана, в пришельфовой области острова Сахалин, в Балтийском море и других (Авилов, Авилова, 2002; 2007г; 2008г; 2009 и др.). Места обнаружения хемолитоавтотрофии располагаются в регионах, где существует высокая геодинамическая активность недр.

Изложенное меняет представление о масштабности распространения явления хемолитоавтотрофии в системе Мирового океана. Оно может охватывать практически все континентальные склоны, часть шельфа, срединные океанические хребты и их подножья и существовать повсеместно, где наблюдаются процессы глубинной дегазации и разгрузки литосферы в геодинамически активных зонах. Явление хемолитоавтотрофии в придонной среде и осадочной толще распространено на 20–30% площади дна Мирового океана. Оно сопровождает большую часть нефтегазопроявлений на дне, событий в придонной среде, связанных с дегазацией Земли. Его необходимо надежно идентифицировать в локальных придонных аномалиях для определения и понимания внешних воздействий планетарного масштаба.

Примером активного участия явления хемолитоавтотрофии в экосистемных взаимодействиях служат нефтегазопроявления, обнаруженные и изученные в придонной зоне различных акваторий. В северных морях в 12 рейсе НИС «Профессор Штокман», 1984 г. зафиксированы нефтегазопроявления в придонной воде и осадках Карского и Печорского морей в районах, где обнаружены морские нефтегазовые месторождения (Геодекян, Авилов, Авилова, 1986). Явление хемолитоавтотрофии присутствует в осадках на отдельных станциях, где концентрации АТФ от 40–50 нг/г в верхних горизонтах (10–70 см) возрастали до 130–150 нг/г вниз к забою – максимально на горизонте 285–295 см. Им сопутствовали относительно высокие активности 4-х измеренных гидролитических ферментов, подтверждая интенсивную микробиальную деятельность в глубине осадков. Одновременно установлено повышение содержания метана сверху вниз по разрезу грунта в 10–1000 раз, когда вблизи забоя трубки в интервале 1,2–3,0 м его концентрация достигла 27–47 мл/кг в осадках, относящихся практически к одному возрасту (голоцен) и состоящих из глинистых зеленовато-серых илов с включениями гидротроилитов. Здесь же в количествах  $(1-4) \cdot 10^{-4}$  мл/кг определены этан и этилен, а также водород – до

0,04 мл/кг. Аномалии вызваны флюидными потоками из более глубоких слоев осадочной толщи.

В придонной среде Балтийского моря газобиогеохимическими исследованиями показана главенствующая роль геолого-геохимических процессов, в частности глубинных потоков газообразных флюидов, в образовании газовых кратеров и геоакустических аномалий на отдельных участках дна. В пределах распространения этих уникальных природных образований в донных отложениях выделены локальные экосистемы высокой биологической активности, обусловленной явлением хемолитоавтотрофии (Геодекян, Авилов, Авилова и др., 1988). На станциях в кратерах содержание АТФ, газов, активность гидролитических ферментов стабильно возрастают вниз по грунтовым колонкам до максимальной глубины опробования 6,5 м.

Продолжение подобных работ осуществлено в 61 рейсе НИС «Профессор Штокман» в 2004 г. Трубка отобрана вблизи газового кратера в зоне геоакустической аномалии. В осадках отмечена тенденция возрастания с глубиной – уже к горизонту 60 см концентрация АТФ достигала 500 нг/г, и метан доходил до 8 мл/л (Авилов, Авилова, 2005; 2007в; Авилов, Авилова, Пака, 2008). Установлена генетическая связь аномалии с глубинным потоком газообразных флюидов и явлением хемолитоавтотрофии, что свидетельствует об устойчивом характере процессов в этом районе.

В этой же экспедиции впервые газобиогеохимические исследования выполнены в Финском заливе Балтийского моря (Авилов, Авилова, 2005). Газобиогеохимические исследования вскрыли на дне залива высокую изменчивость и пятнистость геоэкологического состояния локальных экосистем. По отдельным грунтовым колонкам из трубок получен комплекс показателей, характеризующих аномальное состояние. Одна трубка УТ заметно газонасыщена – содержание метана возрастает с глубиной и достигает 10,8 мл/кг, двуокиси углерода – до 1,2 мл/кг. Концентрация АТФ от верхних горизонтов 5 и 20 см вначале падает вдвое, а затем стабильно возрастает к глубине 4 м до прежних (400–500 нг/г) величин. Точка перелома (горизонт 95 см) также характеризуется высокой активностью гидролитического фермента (ЩФА достигает максимума – 696 Е/г), что указывает на изменения в составе микробиального сообщества.

Напрашивается вывод о смене направленности биохимических процессов. В верхнем метре осадка преобладают метанокисляющие микроорганизмы и гетеротрофы, а в более глубоких слоях развиваются

микроорганизмы с хемолитоавтотрофным типом обмена веществ, восстанавливающие водородом двуокись углерода и генерирующие метан. В результате на глубине в осадках продуцируется большое количество метана, образуется активная живая биомасса микроорганизмов, фоссилизация которых обогащает осадки органическим веществом.

В другом районе локальная экосистема изучена на четырех станциях трубками Ниемисте (Нт). Найдено характерное для аномалии вертикальное распределение показателей – отмечено увеличение содержания АТФ до 650 нг/г к горизонту 45–50 см и соответственно рост БАЖМ. Придонная вода также биологически высоко активна (АТФ – 3370 нг/л, ЩФА – 517 Е/л). В поверхностной воде измерено содержание АТФ 2240 нг/л, а ЩФА – 931 Е/л. Трубками Нт околонулена аномалия размером в 2,5–3 км.

Анализ полученного в рейсе фактического материала выявил сходство геолого-геохимических условий в зоне геоакустических аномалий южной Балтики и отдельных районов Финского залива (Авилов, Авилова, 2005; 2007; 2008в). Здесь и там глубинные потоки газов, включающие в основном двуокись углерода, азот, водород, метан, по разломам и эруптивным каналам поступают в придонную среду и вызывают активное развитие хемолитоавтотрофов. Явление хемолитоавтотрофии сопровождается интенсивным образованием биогенного метана в осадках. Рассеянный поток смеси новообразованного биогенного метана и глубинных газов концентрируется под дном, создавая геоакустические аномалии или находя выход в придонную воду в местах локальной разгрузки – кратерах. Эти процессы находят отражение в сформированных под их воздействием локальных экосистемах высокой биологической активности, обнаруженных в настоящей экспедиции в придонной зоне (Авилов, Авилова, 2007).

Приграничные процессы и явления ярко выражены в черноморской экосистеме. Уникальные свойства Чёрного моря вносят некоторые особенности в методы его исследования. В современном виде объединенная экосистема моря разделена на две неравные по водной массе части – аэробную и анаэробную зоны. Чаще всего их рассматривают как автономные образования для исследований, так как каждая из них требует специальных подходов к изучению специфических свойств. Это вполне оправдано для детализации процессов. Однако при поиске общих взаимосвязей более перспективно учитывать внешние воздействия на экосистему в целом. В таком контексте в экосистемном анализе вполне уместен исторический аспект.

Для Чёрного моря принципиальным вопросом является местоположение переходного слоя между обеими зонами, так называемой редокс-зоны, и прогнозирование её перемещения в пространстве. На этот счет существуют разные мнения. Авторы считают, что ответ можно получить, только установив причинно-следственные связи в процессах, приведших к её возникновению (Авилов, Авилова, 2002а). В экосистемном анализе постоянно имеем в виду, что редокс-зона по своей природе является повсеместно распространенной, а не чем-то особенным, геохимической границей, просто выведенной из осадков высоко в воду. Подключаем также сведения из геологической истории Чёрного моря.

Действительно, мало у кого не встрепенется сердце от воспоминаний или при встрече с его дивными берегами, пляжами и ласковой волной. Подобное трепетное чувство несомненно испытывали и наши предки сотни и тысячи лет назад. Но будет ли так дальше? – иногда с тревогой вопрошаем мы. Для подобных сомнений есть почва у тех, кто наблюдал захламленность его берегов бытовыми и промышленными отходами, кто доставал пустые сети из моря, кого отгоняло от пляжей шокирующее амбре сероводорода. Наибольшее беспокойство возникает у учёных, вынужденных констатировать частичную деградацию экосистемы бассейна. Им же через познание происходящих тут процессов предстоит решить задачу сохранения уникальной акватории.

Хорошая почва для современных размышлений на эту тему создана предшествующими исследователями. Еще в VI веке до н.э. на дошедшей до нас самой ранней карте Мира греческий историк Гекатей Милетский ставил в центре Земли, которую окружала река Океан, внутренние моря – Талласс (Средиземное море) и Понт Эвксинский (Чёрное море). С тех пор Чёрное море в большей или в меньшей степени, но всегда оставалось в центре внимания мореплавателей, историков, военных, художников, учёных, то есть по-современному – мировой общественности. Как результат – его относят к категории наиболее хорошо и полно изученных акваторий. В середине XIX в. один из основоположников русской океанографии адмирал С.О. Макаров начал здесь исследования, затем их проводили многие выдающиеся отечественные и зарубежные учёные, о которых ярко повествовал К.А. Виноградов (1958), состоялись многочисленные специальные и комплексные морские экспедиции, обогатившие знания по гидрологии, биологии, геологии, геохимии черноморского региона. Собран богатейший научный материал. Обратимся к некоторым основопола-

гающим фактам и событиям, в особенности – к имеющим неоднозначное толкование. И постараемся разобраться с ситуацией, подключая экосистемный анализ.

Прежде всего, Чёрное море – это крупнейший в Море водоём мезомиктического типа: верхние слои воды до глубины 130–150 м насыщены кислородом, а глубже около 90% водной толщи заполнены бескислородными водами. Такое разделение водной массы на две неравнозначные части открыл Н.И. Андрусов в специальной глубоководной экспедиции 1890 г., установив существование нижней сероводородной зоны. С тех пор все исследователи бассейна подтверждали подобную слоистость, но предметом дискуссии стала динамика процесса – поднимается, опускается или остается постоянной со временем граница раздела? Сложность в том, что границы как таковой нет. Есть целый промежуточный слой или так называемая редокс-зона, где одновременно сосуществуют кислород и сероводород и происходят интенсивные окислительные процессы. Его толщина значительна, составляет десятки – иногда до 70–100 метров. Положение редокс-зоны меняется во времени и пространстве в зависимости от сезона, метеословий и гидрологии региона, но главное – активность недр.

Большинство учёных, занимающихся проблемами Чёрного моря, среди них академики М.В. Иванов, Г.Г. Поликарпов, доктора наук Ю.И. Сорокин, И.И. Волков и многие другие, высказывались в пользу представления о практически неизменном положении границы распространения сероводорода за длительный (более 100 лет) период наблюдения. И по данным Морского гидрофизического Института АН Украины (Севастополь) в среднем положение границы по всему морю почти не меняется, она находится на глубине 125–135 м. Правда, отдельные замеры фиксировали сероводород на глубине всего нескольких десятков метров в акваториях моря и отсюда делали вывод об угрожающем подъеме сероводородного слоя. На них оппоненты обычно строят свое рассуждение о подъеме бескислородных вод и надвигающейся экологической катастрофе. О том же вроде бы свидетельствовали феерические события, сопровождавшие Крымское землетрясение 1927 г. Документально установлен факт появления гигантских факелов огня над морем, впервые описанный С.П. Поповым в 1928 г. Тогда пламя поднималось в высоту до 500 м и распространялось по фронту до 1,5 мили. Огненные вспышки и взрывы повторялись несколько раз в течение 2–3-х часов и были зарегистрированы с поста Лукулл (близ Евпатории) и маяка Севастополя, пеленги которых пересеклись в рай-

оне подножья континентального склона (глубина моря порядка 900-1500 м). К сожалению, данное происшествие обойдено научным вниманием и не получило внятного объяснения. И еще остаются вопросы до получения точного ответа: сопоставим ли столетний срок наблюдений со скоростными процессами и достаточны ли точность и чувствительность технологий применявшихся ранее измерений?

Впрочем, геологическая история Чёрного моря преподносит больше вопросов, чем ответов. Море становилось то более, то менее соленым, и не всегда присутствовал глубинный сероводород. По мнению геологов, глубоководная впадина Чёрного моря образовалась сравнительно недавно, примерно 4,5 млн лет назад во времена формирования альпийской складчатой области. В результате глубинных процессов в мантии и земной коре произошло опускание дна древнего моря на глубину в несколько километров и началось заполнение ее осадками. В дальнейшем тектонические процессы приводили к расширению и углублению впадины, что обусловило уникальность ее геологического строения. По мнению Ю.П. Непрочного и И.Н. Ельникова, в земной коре под центральной частью впадины отсутствует гранитовый слой и отмечается утончение слоя базальта. Образно говоря, впадина Чёрного моря выглядит как чаша с гранитовыми стенками, тонким базальтовым дном, лежащим на раскаленной мантии. Сама она на 14 км заполнена осадками, а сверху до краев залита 2-х километровым слоем черноморской воды.

Теперь о воде. В среднечетвертичный период (300–75 тыс. лет назад) здесь существовало Древнеэвксинское опресненное море – озеро. Затем оно соединилось со Средиземным морем и осолонилось. В ледниковый период (22–10 тыс. лет назад) образовался Ново-Эвксинский бассейн, воды которого вновь значительно опреснились. А около 8 тыс. лет назад Чёрное море окончательно соединилось через пролив Босфор с океаном и вновь начало осолоняться. С этого момента выделяются Древнечерноморский, а последние 3 тыс. лет – современный периоды существования данного бассейна. Водные пертурбации отразились на составе донных отложений. По сравнению с современными древнечерноморские осадки более обогащены органическим веществом. В чем причина? По одной из версий – тогда Чёрное море было высокопродуктивным. Если это так, то делаем логичный вывод – современный период не самый лучший в истории и жизни моря. Экосистема бассейна значительно ухудшилась и продолжает деградировать по сопоставлению с предыдущим Древнечерноморским периодом. И

наверняка, тысячелетия назад сероводородная зона залегала значительно глубже. Делаем вывод, что если сероводородная зона начала образовываться с открытием Босфора и поступлением соленых вод, то средняя историческая скорость подъема границы сероводорода составит (2000 м разделить на 8 тыс. лет) 0,25 м в год. И тогда станет ясно, что в благоприятный Древнечерноморский период сероводород располагался на глубине более 900 м и не наносил вреда экосистеме моря.

Ныне громадная бескислородная часть Чёрного моря практически безжизненна. В ней не может обитать ничто живое, кроме микроорганизмов. По данным Ю.И. Сорокина (1970 г.), биомасса микроорганизмов на глубине 500 м над континентальным склоном против Ялты составила 5 мкг/л, что на 1–2 порядка меньше, чем в кислородосодержащих водах. По нашим определениям (5 рейс НИС «Евпатория», 1982 г.) в западной глубоководной части моря концентрация АТФ находилась в пределах 10–16 нг/л, что соответствует их биомассе (БАЖМ) 2–3 мкг С/л (Авилов, Авилова, 1987). Аналогичные величины 10 нг АТФ/л получил D.M. Karl (1978 г.). Эти воды по биохимическим показателям отнесены нами к категории биологически пассивных. Все измерения подтвердили низкий уровень проявления жизни в бескислородной зоне.

В то же время жизнедеятельность микроорганизмов представляет большой интерес. Микробиологическими методами (посев на питательных средах) здесь выявлены основные физиологические группы бактерий, свойственные черноморским водам: гетеротрофные и метанокисляющие бактерии, бактерии азотного и серного циклов. Однако их удельная продуктивность ( $P/V$  коэффициент или отношение продукции к биомассе) крайне низка и не превышает 0,02–0,03 в сутки. С биохимических позиций это указывает на низкий уровень обмена веществ у этих микроорганизмов, то есть даже они находятся в угнетенном, как бы «сонном» состоянии. Но это сообщество, сохраняя видовое разнообразие, готово адекватно реагировать на внешнее воздействие, как это впоследствии мы и выявили. Заметим, с экологических позиций столь малая активность микроорганизмов в толще воды является экологической нормой для сероводородной зоны.

Уникальность глубинных черноморских вод не ограничивается присутствием сероводорода. Водная масса буквально наполнена метаном, содержание которого достигает 0,5 мл/л или на 3–4 порядка выше равновесной концентрации с атмосферным воздухом. Присутствуют также этан, этилен, водород, двуокись углерода. Газообразный

азот достигает 105% насыщения. Отмечается заметная неравномерность распределения перечисленных газообразных компонентов по плоскости и увеличение содержания с глубиной. Одной гидродинамикой или диффузионным массопереносом такие факты не объяснишь. Кстати, несмотря на эту аномальную газонасыщенность, поднятая с глубин вода, как ни поджигай – не горит, хотя распространяет специфический «аромат». Поэтому попытки некоторых аналитиков объяснить всполохи огня на море в 1927 г. выходом к поверхности глубинных вод, а уж тем более их самовозгоранием, опровергает элементарный эксперимент.

А вот донные отложения могут гореть. Обычно в природной газовой смеси осадков определяют метан, сероводород, азот, реже – этан, этилен, двуокись углерода. Причем отмечается мозаичная картина распределения компонентов по площади дна и разнообразные виды изменения содержаний по вертикали. Выделяются аномальные области с высоким газосодержанием. Грунтовые колонки, отобранные в аномалиях длиной в несколько метров, на борту судна буквально на глазах изгибались, разбухали и выделяли большое количество газа, который можно было поджечь (Авилов, Авилова, 1995). В составе газа определен главным образом метан (до 90%), а также сероводород, двуокись углерода. Авторам удалось впервые в аномалиях зафиксировать дополнительно водород (до 5%) в осадках юго-западнее Севастополя, примерно в том же районе, где горело море в 1927 г. (Геодекян, Шнюков, Авилов, Авилова, 1995).

И вновь возникают разночтения по поводу генезиса газа. Несомненно, в процессе газообразования участвуют микроорганизмы, но сколько их и какова их роль? В западной глубоководной части моря нами измерены аномально высокие концентрации АТФ до 1070 нг/г на горизонте грунта 70–80 см под дном. В том же районе на горизонте 10 см D.M. Karl установил также высокие содержания АТФ – до 380 нг/г. Там же по данным М.В. Иванова в сообществе микроорганизмов донных отложений присутствуют сапрофитные, сульфатредуцирующие, метанобразующие и метаноокисляющие бактерии в больших количествах. Так какие из них преобладают?

И еще одна задача. В 1959 г. доктор биологических наук А.Е. Крисс, обнаружив в поверхностном слое ила в глубоководной зоне Чёрного моря тионовые бактерии, требующие для своей жизнедеятельности кислород, выдвинул тезис об активных окислительных

процессах на дне сероводородной зоны. Как такое может быть – долго оставалось непонятным.

А теперь перейдём к анализу происходящих процессов. Главный из них, хотя и наиболее спорный, – процесс формирования и поддержания самой обширной в мире бескислородной массы вод. Принципиальная его схема общепризнанна – заполняющие глубоководную часть моря газы поступают из осадков, поднимаются к поверхности и, встречаясь с атмосферным кислородом, нейтрализуются. Необходимо сравнить количество поступления и расходования метана и сероводорода. Итак, основные события разворачиваются в осадках и редокс-зоне, а главная пострадавшая и ставшая безжизненной 90%-ная масса воды является как бы «без вины виноватой», выполняя пассивную роль проводника газовых потоков.

И действительно, в более изученной редокс-зоне протекают сложные физико-химические и биохимические процессы. Именно тут газы «вытекают» из ядра черноморских вод. Расходятся они за счет окисления метана и сероводорода. Количество убывающих из чаши газов вычисляют по скорости их окисления, которая напрямую зависит от скорости поступления кислорода в промежуточный слой. В свою очередь, последняя определяется многими природными факторами. Натурные наблюдения подтверждают эту функциональную зависимость. Увеличение скорости поступления кислорода вызывает заглубление границы контактного слоя. Она действительно снижается до глубин 200–250 м на окраинах моря в областях прибрежных течений в случае возрастания скорости вертикального перемешивания поверхностных вод и интенсивного поступления с ними растворенного кислорода.

В осадках происходящие процессы тоже сложны и менее изучены из-за трудности в воспроизведении условий *in situ*, то есть условий аналогичным в самих отложениях. Однако еще в 1893 г. выдающийся русский химик Н.Д. Зелинский открыл явление образования сероводорода специфическими бактериями, обитающими в илах Чёрного моря. С тех пор преобладает концепция о поступлении сероводорода из осадков в результате сульфатредукции. Многочисленные последующие исследования на эту тему показали: процесс образования сероводорода идет в анаэробных условиях наиболее интенсивно за счет деятельности сульфатредуцирующих бактерий в самом верхнем слое осадка толщиной 1–2 см и быстро затихает при заглублении на 10–20 см. Некоторое количество сероводорода генерируется при гнилостных процессах распада белка. Сообщество микроорганизмов в осадках вы-

полняет и другие важные функции: деструкцию органического вещества (гетеротрофы), образование и окисление метана. Но чаще всего на поверхности дна указанные процессы замедлены.

Теперь сопоставим скорости генерации газов в осадках и окисления в контактной зоне газов глубоководья Чёрного моря. Прямые экспериментальные исследования и теоретические расчеты оценивают продукцию сероводорода в донных отложениях величиной  $(4-7) \cdot 10^6$  т в год или около 20 г в пересчете на 1 м<sup>2</sup>. Аналогичные исследования, выполненные в редокс-зоне, дают гораздо более высокие скорости суммарного окисления сероводорода – порядка 100–200 г/м<sup>2</sup> в год. Столь разительное несоответствие ставит под сомнение саму концепцию о генезисе сероводорода.

Еще более запутан и сложен вопрос о метане. Специальные анализы у верхней границы сероводородной зоны в слое 200–400 м выявили необычайно активную микрофлору метанооксиляющих бактерий, схожую с активностью в придонной воде озер, где в илах наблюдалось интенсивное метановое брожение. Но в черноморских осадках такое и не видится. Более того, по данным М.В. Иванова в отдельных грунтовых колонках на западном континентальном склоне найдены только метанооксиляющие бактерии при полном отсутствии метанобразующих и сульфатредуцирующих микроорганизмов. По нашим же данным в осадках западной котловины при заглублении (до 2–4 м) возрастает содержание метана на 2–3 порядка, но снижается концентрация АТФ, что никак не может быть связано с процессом метанобразования в исследованных слоях. Наоборот, это скорее указывает на процесс метаноокисления *in situ*.

Современный уровень знаний лишь выявил существующее очевидное несоответствие скоростей генерации и окисления газов, но не решил поставленную задачу. Цифры говорят об ожидаемом заглублении сероводородной границы. Факты это опровергают. Логичен вывод о дополнительном источнике газов. Иначе говоря, процессы, протекающие в илах на дне Чёрного моря, «поставляют» в воду только часть сероводорода и метана от количества, необходимого для поддержания объемной бескислородной водной массы. Остальную долю поступающих газов необходимо искать в более глубоких слоях осадочной толщи и связано это, скорее всего, с образованием газа и нефти. Ведь Чёрное море – не болото и не мелководное озеро. Столкновение флюидных потоков из литосферы и атмосферы доминирует в формировании структуры его вод.

Для приближения к истине и к ответу на многие загадки Чёрного моря следует дополнительно привлечь наши данные именно из области нефтегазообразования. Авторы разработали новые технологии натурных газобиогеохимических исследований и экспериментального моделирования глубинных процессов, которые внедрены нами в практику морских работ, что принесло неординарные результаты, имеющие непосредственное отношение к теме. Экспериментально подтверждено новообразование газов в недрах осадочной толщи. Для этого были использованы образцы грунта со дна Чёрного моря, полученные по Международному проекту бурением на «Гломар Челленджер» в сайте 379 с горизонтов 50–100 м. На уникальных установках имитировалось их погружение на 3 и 5 км (температура до 250°C, геостатическое давление до 2000 атм.). Зафиксировано возрастающее с глубиной выделение из породы большого количества газа. Определен состав новообразованной газовой смеси, в котором измерены углеводороды (метан и его гомологи), водород, двуокись углерода; гелий не обнаружен.

В другой серии лабораторных экспериментов авторами установлено неизвестное ранее явление концентрирования рассеянного потока природных газов в верхних слоях осадков под воздействием глубинного давления. При моделировании восходящего движения гелия, водорода, двуокиси углерода для первых двух обнаружены их накопление внутри слоя черноморского ила. Для этого явления характерен краевой эффект: газовые пузыри внутри глинистых отложений и места их выхода на поверхность осадка наблюдались по периферии экспериментальной камеры (Авилов, Авилова, 1998; 1999).

Изучая в эксперименте современные черноморские отложения, нами воспроизведено явление хемолитоавтотрофии. При подаче в реакционную камеру рассеянного потока газовой смеси (водорода и двуокиси углерода) происходила удивительная метаморфоза – исходно биологически пассивные илы активизировались в несколько раз, а размещенная над ними морская вода – на порядок, (так в ней содержание АТФ возросло со 110 до 1230 нг/л). При этом в результате интенсивного размножения микроорганизмов с хемолитоавтотрофным типом обмена веществ зафиксировано микробиальное образование метана.

Натурные измерения в Чёрном море сделали достоянием науки новые научные факты. Вопреки общепринятым представлениям о повсеместном распространении сероводорода на глубине в тонком слое придонной воды было обнаружено присутствие водорастворенного

кислорода. Пробы многократно (в 1977, 1980, 1984 гг.) отбирались с помощью специально разработанного автором придонного пробоотборника на горизонте 1–1,5 м от дна при глубинах до 2200 м. Установлено, что содержание кислорода в узком придонном слое воды (не более 10 м) на глубинах за изобатой 2 км составило 0,5–0,7 мл/л, а у днища и на бортах глубоководного дунайского каньона с глубинами 400–800 м – в пределах 0,3–1,6 мл/л. Одновременно отмечено понижение содержание метана в придонной воде и осадках, обосновано существование окислительных процессов в этих аномальных регионах. Следовательно, разгадана одна из загадок Чёрного моря – гипотеза А.Е. Крисса (1959 г.) – объяснена активная жизнедеятельность тионовых бактерий в поверхностном иле за счет обнаруженного кислорода. Для наших же рассуждений важно, что на части поверхности дна сульфатредукция прерывается, то есть количество образованного сероводорода еще меньше расчетных величин. Это серьезный аргумент в пользу представления о преобладании глубинного источника поступления сероводорода в море.

Существенно пошатнулось и мнение о состоянии низкой биологической активности глубинных бескислородных вод. При тестировании акватории южнее Крымского полуострова в 1993 г. нашим интегрирующим батометром выделены целые слои воды на глубинах 500–1500 м с повышенной биологической активностью. Здесь в ядре черноморских вод содержание АТФ составило 75–90 нг/л (биомасса активных живых микроорганизмов – 17–24 мкгС/л). Это в 5–7 раз выше наших прежних измерений и данных Ю.И. Сорокина, D.M. Karl и других исследователей, а также в 2–3 раза больше концентрации АТФ для глубинных вод океана, где кислорода вполне достаточно для повсеместного распространения деструкционных процессов с участием гетеротрофов.

Разумеется, что подобное исключено в черноморской бескислородной зоне. Чем же объяснить повысившуюся биологическую активность ядра ее вод? Имея в виду при этом, что по нашим данным события в придонной и контактной зонах достаточно локализованы и слабо влияют на развитие глубинных микроорганизмов. Всё подводит к мысли о загрязнении прибрежных областей промышленными и бытовыми отходами, порождающими процессы брожения. Загрязняющие вещества, поступая в глубинные бескислородные воды, вызывают пробуждение и интенсивное размножение бактерий. При сбраживании органического субстрата образуются, среди прочего, газы – двуокись углерода и водород, которые в свою очередь используются метаноб-

разующими и сульфатредуцирующими бактериями. Часть поступающих загрязняющих веществ вообще, не способных сбрасываться в анаэробных условиях (насыщенные углеводороды, стероиды и другие), вызывает токсикацию окружающей среды, оказывая отрицательное экологическое воздействие на экосистемы водной толщи и донных осадков. Для наших изысканий существенен вывод о том, что техногенное воздействие дополнительно насыщает газами бескислородную зону, усугубляя опасность ее подъема к поверхности.

В осадках нами впервые обнаружены очаги высокой биологической активности. Там на потоках газообразных флюидов размножились микроорганизмы. В частности поток метана инициирует процветание метанокисляющих бактерий. Замеры аномально высоких содержаний АТФ указали на их активизацию в верхнем слое осадка и уменьшение с глубиной к горизонтам 1–3 м. Такая закономерность названа нами распределением 1-ого типа. Если же в потоке газов доминируют водород и двуокись углерода, то в осадке развиваются хемолитоавтотрофы, обеспечивающие микробиологическую генерацию метана по механизму восстановления двуокиси углерода водородом. Этот процесс в грунте носит глубинный характер: он начинается на горизонте 0,7–1 м и не угасает до нижней точки опробования, забоя тяжелой грунтовой трубки. Данный вид аномалий выделен нами как распределение 2-го типа (Авилов, Авилова, 2007г). Кроме того, с глубиной в осадках наблюдается увеличение площади аномальной зоны, и объемно она выглядит в виде погребенной пирамиды с вершиной у поверхности осадка (Авилов, Авилова, 1995). Логично допустить дальнейшее распространение аномалии на более низких горизонтах.

Натурные наблюдения напрямую указывают на глубинное происхождение поступающих в воду газов и опровергают существовавшие взгляды. Значит, неправы как те исследователи, которые связывали образование метана с деструкцией органического вещества в богатых им илах древнечерноморского периода, так и утверждающие, будто он возникает в результате биохимического синтеза в современных осадках. Лишь немногие рассматривали газовыделение как явление геологического характера. Наши измерения позволяют констатировать, что метан, двуокись углерода, водород и значительная часть сероводорода поступают в придонную исследуемую зону из более глубоких слоев осадочной толщи и происходит это не повсеместно на дне моря, а в локальных очагах разгрузки.

Показанный выше дополнительный научный материал, полученный нами за многие годы исследований в Чёрном море, в совокупности с известными фактами позволяет представить следующую картину протекающих здесь процессов. Основным двигателем являются активные глубинные процессы в литосфере, дегазация Земли. Своеобразие строения земной коры, близость высокотемпературной мантии вызвали аномально высокий прогрев осадочной толщи, расширение зоны газообразования. Образно говоря, весь бассейн (черноморская чаша с осадками и водой) сильно разогрелся на мантийном огне. В нижних слоях произошло и происходит обильное газообразование при деструкции рассеянного органического вещества пород. Высокое глубинное газовое давление инициирует рассеянный газовый поток за счет фильтрации через вышележащие слои осадков. В случае тектонических нарушений утоньшенного базальтового слоя внутрь чаши прорываются мантийные газы, которые также рассредоточиваются в рассеянные потоки. Наконец, при благоприятных геологических условиях газы могут скапливаться и образовывать первичные газовые залежи на глубинах в несколько километрах. Последние разрушаясь, опять-таки создают рассеянные газовые потоки.

Сформировавшийся рассеянный глубинный поток смеси природных газов, куда входят углеводороды (у метана тяжелый изотопный состав), сероводород, водород, двуокись углерода, по мере движения вверх претерпевает фазовые превращения, соответственно данным эксперимента, попеременно создавая вторичные залежи и опять рассеиваясь. Преодолев, таким образом, зону преимущественно физико-химических преобразований, основная масса газов в виде рассеянного потока попадает в зону дополнительных биохимических превращений. Нижняя граница последней может опускаться на несколько километров, что определяется возникновением благоприятной экосистемы, условиями, приемлемыми для жизнедеятельности микроорганизмов (температура и влажность и др.). Как уже говорилось, в наших экспериментах бактерии активно развивались при 95°C. Легкий изотопный состав метана  $-70 \div -60 \text{ ‰}$  наблюдали на глубинах до 0,5 км, а это, по мнению академика Э.М. Галимова служит признаком его микробиологического происхождения (Галимов, Шабаева, 1985).

Повсеместно в зоне биохимических превращений в сообществе микроорганизмов преобладают хемолитоавтотрофы. Обычно их жизнедеятельность сопровождается генерацией метана, реже – сероводорода. В процессе хемолитоавтотрофии производится основная масса

биохимического метана. Последний сливается с глубинным катагенным метаном и формирует мощный вертикальный рассеянный поток, который за счет фильтрации поступает в воду и создает в верхнем слое осадка аномалии с распределением первого типа. Выходит, прародителями черноморского метана сероводородной зоны являются глубинные потоки двуокиси углерода, водорода и катагенного метана.

Параллельно присутствует эффект накапливания рассеянных потоков как глубинных газов, так и биохимического метана. Они образуют газовые пузыри в осадках под дном моря, которые, в соответствии с обнаруженным в экспериментах краевым эффектом, преимущественно располагаются по краям чаши водоёма. Газовые пузыри периодически разгружаются в воду, оставляя на поверхности донного осадка кратеры – воронки, или находят выход через грязевые вулканы, по каналам тектонического нарушения или газового разуплотнения. Подобные локальные газопроявления по данным натурных наблюдений широко распространены в абиссали Чёрного моря и наиболее часто встречаются на континентальном склоне и у его подножья. В этом случае в аномалиях наблюдалось распределение второго типа, свидетельствующее в свою очередь о прорыве глубинных газов.

Из сказанного – всего один логичный шаг до объяснения одной из главных загадок – пылающего в 1927 г. моря. При Крымском землетрясении ускорился (и это подтвердили наши эксперименты) выход газовых пузырей. Множественные пузыри всплывали к поверхности. И те, в которых был водород, образовав с воздухом гремучую смесь, взорвались и подожгли основную массу газа – метан.

Практика натурных наблюдений подтвердила предложенную схему процессов, которая приводит к следующим очень важным выводам. Большое количество и высокая скорость поступления метана из осадочной толщи вывели геохимическую границу анаэробно-аэробного раздела из осадков в воду, что и привело к образованию известной редокс-зоны. Так называемое сероводородное загрязнение глубинных вод Чёрного моря – вторично по отношению к метановому. А меромиктический тип водоема Чёрного моря позволяет рассматривать его как единую экосистему, состояние которой обусловлено тектоническими особенностями региона и определяется в, первую очередь, активностью геологических процессов. Локальные газопроявления на дне водоема все вместе поддерживают контактную границу (редокс-зону) на существующем уровне, а наиболее мощные из них в импульсе местами выгибают её к поверхности или даже прорывают.

В то же время масштабные техногенные нагрузки, накладываемые на естественные, могут вызвать дальнейший подъем редокс-зоны к поверхности вод акватории и гибель биоты (Авилов, Авилова, 2007б).

Изложенная система взглядов на черноморский регион позволяет вклиниться в дискуссию об использовании его природных ресурсов. Авторы дают однозначный ответ, что утилизация части газов бескислородной зоны заглубит границу раздела анаэробных и аэробных вод и послужит только на пользу экосистеме Чёрного моря. И второе – экологические проблемы необходимо решить экологически чистыми методами.

Естественно, созидательная деятельность человека должна быть направлена на откачку углеводородов, сероводорода из глубин Чёрного моря и на препятствие обратному процессу. Надо идти по пути снижения скорости поступления метана и сероводорода из осадков в воду. Тогда море будет постепенно от них очищаться. Соответствующее техническое решение эффективно искать в отводе этих газов с поверхности дна в районе их локальных выходов, желательно используя фактор разряжения (ускоряется выход газов – это по данным наших экспериментов). Прежде чем конструкторы найдут оригинальное экологически чистое решение, следует сделать очевидное – обеспечить безопасность газовых трубопроводов по дну Чёрного моря и ограничить сброс бытовых отходов в его глубоководную часть.

### **3.3. Явления в единой экосистеме океана**

В геоэкологии океана не менее значимы глобальные аспекты процессов и явлений в единой экосистеме Мирового океана. На первый взгляд проблемы неисчерпаемы, но они могут быть познаны с максимальным приближением к истине подходами и методами информационной системы аквагеоэкологии. Экосистемный подход относим к тому звену, за которое вытягивается вся цепь. Наибольшие трудности вызывает столкновение с непонятным природным явлением. Часто выделенных существенных признаков бывает не вполне достаточно для его идентификации. В таком случае постулаты, принципиальные положения информационной системы задают верное направление поиска, подсказывают, из какой области знаний следует черпать дополнительную информацию.

Проблема образования органического вещества в океане постоянно находилась в центре внимания океанологов. По мере вовлечения в

её орбиту учёных разных специальностей число привлеченных информационных признаков permanently возрастало, но актуальность углубленного познания процесса не исчезает и по сей день. Наши исследования в этой области полностью соответствовали разработанной технологии. В морских экспедициях измеряли комплекс газобиогеохимических показателей в океанической среде, впервые в 22 рейсе НИС «Академик Курчатов» (1976 г.) по акватории северо-западной части Индийского океана. Сформирована база достоверных данных, характеризующая обе составляющие экосистемы в фотическом и придонном слоях, ядре вод и донных отложениях океана. При проведении экосистемного анализа явления образования органического вещества в океане используем главенствующие показатели из этой базы данных плюс необходимые океанографические сведения по проблеме.

Жизнь в океане относим к одному из увлекательнейших объектов наблюдения. Её проявления чрезвычайно многообразны. Исследователи, углубляясь во взаимоотношения живого в океане, постепенно приблизились к её истокам – удивительному по своей живучести и адаптации сообществу микроорганизмов в водной среде. Понятие микроорганизмы имеет под собой одну единственную размерную характеристику. Они различимы только под микроскопом, к ним относят всех представителей разных царств органического мира (микроскопические грибы, водоросли, простейшие, бактерии, вирусы) размером менее 200 микрон.

Микробы играют чрезвычайно важную роль в круговороте веществ. В океане известна их главная функция в создании биопродукции. Количество и качество рыбных и других морских деликатесов на обеденном столе человека напрямую зависит от геоэкологического состояния и «образа жизни» исходного звена пищевой цепи – микробного сообщества. Быстрый рост народонаселения заставляет задуматься о суммарных биоресурсах на планете Земля. Взор всё чаще обращается в сторону Мирового океана. Здесь наука должна дать количественную оценку его действительных и потенциальных возможностей. Но существующие оценки значительно разнятся. Океаны поглощают и накапливают наибольшее количество солнечной энергии. Одних учёных этот факт подвигает говорить о лидирующей роли океана в общем балансе первичной продукции в современной биосфере. Другие считают, что океаны слабо участвуют в продукции пищи, поскольку в них образуется лишь 5–10% производимого на Земле белка. Возникшие несогласия объяснимы различием методов и подходов

к решению проблемы, а также недостаточной изученностью процессов образования органического вещества в океане. Отпечаток наложила относительно недавняя, но бурная история освоения океана. Краткий экскурс в этапы его изучения поможет сконцентрировать внимание на ранее неизвестных сторонах жизни в океане.

Мировой океан относится к одному из немногих уникальных природных образований на планете Земля. Он многолик в восприятиях – вызывает неподдельный интерес, восхищение, будоражит воображение бездной и мощью, для его обитателей – это дом родной с пищей и защитой, представляя в масштабах планеты тонкую пленку воды. Водная гладь океанов, занимая приблизительно 71% поверхности планеты, до сих пор скрывает многие события своей внутренней жизни. И немудрено – тысячелетиями человек «ходил за три моря», ловил рыбу, а изучать начал лишь три века назад.

Сама морская наука зародилась с момента разработки и внедрения новых технологий – способа и устройства измерения глубины (лот) и отбора проб воды (пробоотборник), в чем преуспел основоположник отечественной океанографии адмирал С.О. Макаров. И в дальнейшем заметное продвижение в познании океана также связано с появлением новых методов исследования. Химический этап изучения ознаменовался открытием необыкновенного свойства основной массы океанической воды – постоянство солевого состава. Хотя такое предположение впервые было высказано в 70-х годах 17 века Р. Бойлем, полномасштабного объяснения этого феномена до сих пор не нашлось. Внедрение фундаментальных открытий 18 (фотосинтез) и 19 (хемосинтез) веков на долгие годы определило два основных направления изучения микробиоты – в двух пограничных или контактных с атмосферой и литосферой зонах океана. В эвфотической зоне на глубинах 0–200 м выявлена главенствующая роль фитопланктона (главным образом одноклеточные водоросли) в продуцировании органического вещества (ОВ). В донных отложениях преобладают сульфатредуцирующие, метанобразующие и другие микроорганизмы, участвующие в разложении ОВ. Для выделения этих микроорганизмов обычно применяют методы культивирования – посева на питательных средах.

Параллельно использовали обобщенные характеристики микробного сообщества в целом, такие как сырая биомасса, содержание органического углерода (Сорг), изотопный состав углерода и другое. Микробы входят в состав взвешенного органического вещества, осажденного на фильтре с размерами пор 0,4–1 мкм, что составляет около

5% от растворенного (в фильтрате) ОВ. Определение содержания некоторых компонентов проводили известными методами. В 70-е годы 20 века отмечен определенный рубеж океанологической науки. К тому счастливому для советских океанологов времени в многочисленных и длительных океанических экспедициях на судах целого научного флота страны ими был получен колоссальный фактический материал. По инициативе директора Института океанологии, академика А.С. Мони-на издана десятитомная монография «Океанология», в которой изложена «накопленная в мире сумма знаний по главным перспективным проблемам океанологии на уровне 1976 года». Это в полной мере касается и изучения ОВ. К очевидным достижениям относим выявление закономерностей пространственного распределения и временной изменчивости широкого спектра компонентов и показателей морской среды, многое из которых актуальны и по сей день.

Максимальные количества взвешенного ОВ характерны для слоя фотосинтеза, особенно в прибрежных и высокопродуктивных районах океана (Сорг больше 100 мкг/л). С глубиной его количество падает (ниже 1000 м содержание Сорг меньше 50 мкг/л). В целом между содержанием взвешенного Сорг в глубинных водах того или иного района океана и величиной продукции фитопланктона в поверхностном слое 0–200 м наблюдается прямая корреляция. В результате в монографии сформирована генеральная схема образования и трансформации ОВ в океане. Продуcentом ОВ является фитопланктон. В эвфотической зоне, поверхностном 0–200 м слое воды, благодаря фотосинтетической деятельности фитопланктона, создается первичная продукция в океане, которая проходит сложный путь утилизации в трофических цепях. Остатки организмов (детрит) опускаются в неосвещенные глубины, где поедаются детритоедом, а те в свою очередь становятся добычей хищников. То есть считалось, что в промежуточных и глубинных водах протекают только процессы разложения ОВ. Они же преобладают в верхнем слое осадка.

Утвердившаяся генеральная схема сыграла свою положительную роль, но, воспринимаемая как истина в последней инстанции, явилась определенным тормозом познания. Отдельные измерения выпадали из генеральной схемы, при этом некоторые исследователи уже в 70-х годах отмечали, что в глубинах океана встречаются слои (облака) сгущения жизни. Но разрозненные факты вписывали в существующую генеральную схему и не предавали им самостоятельного значения. Общий процесс по-прежнему воспринимался незыблемым: образова-

ние органического вещества происходит только в верхнем фотическом слое океана, всё, что глубже, – его производные. Подобная точка зрения настолько укоренилась, что в обобщающей монографии «Биогеохимия океана» (1983) академики А.П. Лисицын и М.Е. Виноградов опять подтверждают: «Начальным этапом образования живого вещества на Земле является фотосинтез». И далее отмечают: «По мере опускания на все большие глубины детрит продолжает потребляться животным населением промежуточных водных слоев; более интенсивно – в мезопелагиали (до глубины 750–1000 м), менее интенсивно – глубже – в батипелагиали, населенной в основном плотоядными формами». При этом глубинной массе вод океана отводится роль транспорта биогенных остатков в донные отложения.

Очередной шаг в изучении взвешенного ОВ сделан также благодаря нашим новым технологиям, положившим начало аквагеоэкологии (Авилов, Авилова, 2008). К середине 70-х годов наряду с успехами проявились некоторые пробелы. Стало ясно, что накопленная информация не вполне достаточна для понимания сути океанических процессов – она разрознена и не всегда достоверна. Не все слои водной толщи одинаково изучены из-за ограниченных технических возможностей. Отсутствует широкое обобщение океанографической информации. Поэтому авторы избрали курс на создание комплексной методологии исследования морской среды – были разработаны новые пробоотборники компенсационного типа, обеспечивающие отбор герметичных проб морской воды, изучены биологически активные вещества и выбран комплекс наиболее значимых биохимических показателей и газообразных компонентов (Авилов, Авилова, 2009д и др.). Подготовлены методы и аппаратура для их определения в судовых условиях. Прежде всего, ультрасовременный в то время метод определения аденозинтрифосфата (АТФ). АТФ – органическое соединение, является универсальным носителем энергии в клетке и содержится только в живых клетках, в погибших клетках его нет. АТФ-метод принципиально меняет ситуацию – он однозначно идентифицирует живую клетку.

Другими тоже важными методами измерена различная ферментная активность: липолитическая, амилалитическая, протеолитическая и щелочной фосфомоноэстеразы; получены концентрации белка, углеводов и фосфора, а также до девяти газовых компонентов (гелия, водорода, аргона, двуокиси углерода, перманентных и углеводородных газов). Изучали две формы органического вещества – растворенную и взвешенную (Авилова, Авилов, 1997). Для более детального изучения

растворенного органического вещества (РОВ) нами был разработан специальный метод с применением сефадекса. Это позволило нам разделить РОВ по молекулярной массе и, что очень важно, – определить активность внеклеточных ферментов в каждой фракции. После выхода этой работы в свет (Миркина (Авилова), 1977) запрос на статью был из более 20 стран мира.

Все же основное внимание уделили изучению взвешенного органического вещества (ОВ). Именно оно давало главную информацию о трансформации ОВ в океане или, выражаясь современным языком, несет главную экологическую функцию в аквагеоэкологии. Его характеризует количественный показатель – биомасса активных живых микроорганизмов (БАЖМ), измеряемая по АТФ. Океанологи давно стремились определить соотношение живого и неживого органического вещества во взвеси, например, в планктоне. Использовались методы культивирования микроорганизмов, прямого микроскопирования, а затем добавились определения какого-либо из неустойчивых к гидролизу органических веществ, входящих в состав живых организмов (например, хлорофилл, фосфор) и другие. Однако при культуральных методах присутствует проблема некультивируемости отдельных видов микробиоты. Общий недостаток этих методов проявился в неспособности надежно отделить живую клетку от погибшей, что приводит к большим ошибкам.

Наша новая технология комплексных газобиогеохимических исследований обеспечила разделение живого от неживого во взвеси на количественном уровне. Нами введено понятие «активное живое вещество» (1976 г.). Его характеризует количественный показатель – биомасса активных живых микроорганизмов (БАЖМ), измеряемая по АТФ. Разработанную авторскую технологию также отличает возможность учитывать некультивируемые виды микроорганизмов.

Более 30 лет назад, в 1976 г. (марте-июле) состоялся 22 рейс научно-исследовательского судна «Академик Курчатов» (начальник экспедиции – член-корреспондент РАН В.Г. Нейман) в северо-западную часть Индийского океана, где впервые была применена новая технология комплексных газобиогеохимических исследований. В данной экспедиции использовали более 20 современных биохимических методов для изучения водной толщи Индийского океана. Наше научное оборудование – это чрезвычайно тяжелый груз, состоящий из точных приборов, пробоотборников и 45 огромных ящиков с химической посудой и другим для обеспечения большого комплекса научных изы-

сканий, было доставлено на борт судна на грузовых машинах из Москвы. На судне груз срочно распаковывали, аппаратуру располагали в судовой лаборатории для удобной, эффективной работы, укрепляли в целях сохранности в случае качки во время шторма. Мы кропотливо готовились к экспедиции, чтобы «первый блин не получился комом», и не возникло проблем в первом использовании разработанного нами газово-геохимического и биохимического комплексного методологического подхода.

В экспедиции проводили напряженную исследовательскую работу. Зачастую сутками без сна. Приоритетный научный гигантский по объему материал получен в натурных условиях в северо-западной части Индийского океана, Красном море, Персидском заливе (Миркина (Авилова), 1977а; 1979; Авилова, 1982; 1983; 1984а; Геодекян, Авилов и др., 1977 и др.). Весь комплекс измерений проведен, как говорят, «одними руками» в водной толще от поверхности до дна практически на всех станциях по маршруту судна.

Среди массива полученных нами данных по существенным информационным признакам выявлены локальные аномалии в экосистемах. В частности, в ядре вод на отдельных горизонтах найдены чрезвычайно высокие содержания АТФ (БАЖМ), атипичные виды их вертикального распределения, то же – по активности четырёх групп гидролитических ферментов. Экосистемный анализ необычной активности биоты ориентировал на углубленное изучение обменных процессов в экосистеме. Из комплекса полученных нами измерений выбрали, в качестве дополнительных, сведения по распределению концентраций взвешенного Сорг, белка, общего фосфора, азота карбамида одновременно определенных в тех же пробах, использовали и соотношение БАЖМ к Сорг.

Неожиданные данные получили на отдельных горизонтах в промежуточных и глубинных водах: в Красном море на горизонтах 1000 и 2030 метров, на экваторе на горизонтах 1500 и 4900 метров, над Маскаренским хребтом на горизонтах 3800 и 1200 метрах и по широте о. Мадагаскара на горизонте 500 метров. АТФ (БАЖМ) в водах указанных горизонтов содержится в повышенных количествах по сравнению с окружающими водами, а иногда выше, чем в фотической зоне, и его концентрация колеблется от 10 (2,5) до 60 нг/л (15 мкг С/л). Ещё более не вписывалось в общепринятые рамки найденное соотношение БАЖМ и взвешенного органического углерода на выделенных горизонтах – до 80%, то есть в глубине вод обнаружена необычайно высо-

кая доля активного живого вещества во взвеси. Повышенная функция микроорганизмов здесь сравнима с таковой в районе Перуанского апвеллинга, одного из самых продуктивных регионов океана.

Установленная закономерность нашла подтверждение в распределении белка – его содержание было измерено в пределах 0,8–3,0 мкг/л, а доля белка от взвешенного Сорг также высока – до 20%. В то же время абсолютное содержание и белка и органического углерода во взвешенном веществе уменьшается по вертикали, но доля белка в нем возрастает. Такие концентрации и соотношения АТФ, белка и взвешенного Сорг на названных горизонтах в изученных пробах найдены впервые. Они не связаны с первичной продукцией в фотическом слое, а являются индикаторами образования активного живого вещества непосредственно в глубинах океана.

Дополняют картину данные по ферментной активности и биохимическому составу взвешенного ОВ. По вертикальным профилям на пройденных станциях активность щелочной фосфомоноэстеразы (алкилфосфатазы) уменьшалась с глубиной. Установлена прямая зависимость между алкилфосфатазной активностью и содержанием белка. Не обнаружено связи между алкилфосфатазной активностью и содержанием во взвешенном веществе общего фосфора, это отмечалось в тех случаях, когда во взвешенном веществе находился фосфор и в неживых компонентах взвеси. Здесь содержание фосфора вырастало от обычных концентраций 0,02 до аномальных 0,14 мкг/л. Высокая липолитическая активность встречалась в различных слоях океана до дна, она не коррелирует с концентрацией белка. Тогда как амилолитическая активность находится в прямой зависимости от содержания белка и не зависит от содержания углеводов. Содержание последних найдено в пределах 0,7–4,3 мкг/л. Немалая протеолитическая активность встречалась на всех глубинах до дна. Удалось также измерить все четыре вида внеклеточной ферментной активности (необычайно трудоемкая работа), которая на 2–3 порядка ниже, чем в активном живом веществе. Газово-геохимические исследования показали наличие аномально высоких концентраций газовых компонентов, в первую очередь водорода и двуокиси углерода, и АТФ в придонной воде (в нескольких метрах от дна) обследованных районов.

Наш комплексный методологический подход позволил учесть в сообществе все виды активных живых микроорганизмов, что в принципе изменило представление о происходящих процессах и привело к открытию «Явление образования взвешенного органического веществ

ва в промежуточных и глубинных водах Мирового океана» (Диплом открытия № 92, дата приоритета 1976 г.). Комплексность исследования исключает случайности в интерпретации данных, все вместе они указывают не только на рутинное преобразование ОВ, но и на процесс новообразования активного живого вещества на тестируемых горизонтах водной толщи.

Сущность открытия неизвестного ранее явления образования взвешенного ОВ в промежуточных и глубинных водах океана заключается в том, что во мраке больших глубин осуществляется жизнедеятельность сообщества микроорганизмов преимущественно с хемолитоавтотрофным типом обмена веществ, которая и порождает образование активного живого вещества (собственного глубинного взвешенного органического вещества). Открытое явление совершенно определенно не находится в прямой зависимости от фотосинтеза в поверхностных водах, а обусловлено потоками вещества и энергии при дегазации Земли или на структурных внутренних неоднородностях водных масс (внутренние волны и другое). Газово-геохимические исследования показали наличие связи с глубинными процессами в литосфере в геодинамически активных зонах, в том числе в зоне разломов срединного океанического хребта Индийского океана.

Однако продуцирование ОВ найдено не во всех точках опробования водной толщи. В некоторых наблюдалось типичное затухание жизни с глубиной. В иных – найдены слои с аномально высоким содержанием взвешенного Сорг и белка (71,4 мкг/л на глубине 500 м) при аналитическом нуле АТФ – эти данные уникальны. Становится ясным, что обогащенные соленые воды Персидского и Оманского заливов затягиваются в промежуточные и глубинные воды Аравийского моря. При этом микроорганизмы испытывают стрессовую ситуацию и погибают, что немедленно отражается на концентрации АТФ и поэтому все взвешенное органическое вещество представлено детритом, в этой ситуации в столь стремительное время белок не успел разрушиться. Установленный факт отражает цикличность процессов в микробиальном сообществе в глубинах океана подобно той, которая более подробно показана в водах Перуанского апвеллинга. Во всяком случае, природные процессы в океане гораздо сложнее схем, пусть даже и генеральных.

В дальнейшем внедрение новых технологий в исследование океана раскрыло отдельные грани явления, оставляя неизменной суть процесса. Положение, выдвинутое нами, подтверждено спустя 8 лет ра-

ботами американских исследователей Карлом и Кнауером (D.M. Karl, G.A. Knauer, 1984). В опытах «in situ» они, используя метод меченых атомов, также установили, что на горизонтах 500 и 1100 м наблюдается пятнистость с повышенной функцией микроорганизмов и таким образом «идет продукция органического углерода в глубинах океана».

Достижения биофизики способствовали определению состава и структуры сообществ морских экосистем на основе методов молекулярной генетики. Хотя эти методы не являются строго количественными, они обладают неоспоримым достоинством, поскольку идентифицируют любые группы микроорганизмов, в том числе, как и в нашем методе, – некультивируемые. Были получены данные, которые сами исследователи называли «неожиданными», – анализ р-РНК позволил выделить несколько новых групп бактерий, в том числе археобактерии (P. Lopez-Garcia et al., 2001; S. Y. Moon-van der Staay et al., 2001). Археи, кроме гидротерм, найдены и в глубинных водах. «Каково их разнообразие и роль здесь – остается непонятным» – признаются исследователи, хотя эти данные однозначно указывают на развитие здесь активной микробиоты. Отметим главное – новые факты, добытые современным методом молекулярной генетики в 2001 г. практически напрямую вновь, как и в 1984 г. Карл и Кнауэр методом меченых атомов, подтверждают результаты наших изысканий 1976 г. с применением биохимических и газово-геохимических методов.

Хотя образование собственного ОВ в глубинных и промежуточных водах нами впервые было обнаружено уже как 30 лет тому назад, многие учёные не используют этот факт в своих исследованиях. Либо считают это явление мелкомасштабным и не придают должного значения. В 2004 г в книге «Новые идеи в океанологии» биологи констатировали, что подавляющая часть органического вещества создается в океане автотрофными фотосинтезирующими организмами, причем доля биомассы фитопланктона близка к 40, а фитобентоса – к 60%.

Продуцируемому в глубинных и промежуточных водах активному живому веществу в «балансе» не нашлось места, хотя по нашим данным там, в сгустках жизни доля активного живого вещества (по АТФ) доходит до 80% от общего БОВ. Учитывая это, оцениваем вклад этого явления до 10–15% в суммарную продукцию органического вещества океана, что принципиально меняет взгляд на образование ОВ и формирующие процессы. Считаем также заниженным вклад хемолитоавтотрофов в продуцирование ОВ в придонной воде на глубинах более 200 м, вне зоны фотосинтеза. Биологи оценивают его величиной 0,1%

и даже менее того от первичной продукции фотосинтеза. По нашим данным явление хемолитоавтотрофии сопровождается ростом БАЖМ (содержание АТФ на порядок выше фоновых величин) в районах подводных грязевых вулканов, гидротерм (Авилов, Авилова, 2001), газовых факелов, других видов нефтегазопоявлений и потоков глубинных флюидов и распространено на 20–30 % площади дна океанов (в придонной среде и осадках до нескольких километров). Естественная биопродукция Мирового океана оказалась заметно выше, а его роль в биоресурсах планеты возросла. Исследования в области аквагеоэкологии приоткрыли мир сложных внутриокеанических взаимодействий, предсказывая огромные потенциальные возможности океана в обеспечении человека морепродуктами.

Планетарный характер выявленных процессов дает основание рассматривать океан как целостное образование, единую экосистему. Здесь мы возвращаемся к постоянству солевого состава – вопросу, занимающему умы многих исследователей. В 2008 г. вышла в свет коллективная монография «Проблемы зарождения и эволюции биосферы» под редакцией академика Э.М. Галимова. Он пишет, что «эта книга в затронутых вопросах отражает позицию Российской научной школы. В отдельных случаях эта позиция расходится с западными парадигмами». В монографии среди многого уделено внимание проблемам океана. В частности, современными методами исследовано постоянство солевого состава водной среды, измерена концентрация и соотношение ионов натрия и калия в воде морей, рек и озер, а также в гемолимфе и сыворотке крови некоторых животных и человека. При значительном диапазоне изменения концентраций самих компонентов соотношение ионов калия к натрию удерживается в очень узких пределах и примерно одинаково для всех обследованных объектов (Галимов, Рыженко, 2008). В солевом составе современного океана соотношение  $K/Na$  приблизительно равно 0,02 и оно удерживалось на этом уровне практически «в течение всей геологической истории Земли».

Соответственно Мировой океан является древнейшей экосистемой планеты и ее изучение наиболее эффективно методами аквагеоэкологии (Авилов, Авилова, 2008). Экосистемный подход, базирующийся на разработанной авторами в конце 80-х годов теории биохимического состояния природной среды, решает общие вопросы взаимодействия в океане. Изучение явления образования ОВ в ядре океанических вод пролило свет на общие вопросы геоэкологии океана. Действительно Мировой океан можно определить как единую глобальную экосисте-

му. Единая в том смысле, что водная масса повсеместно населена живыми организмами, они находятся во взаимодействии и взаимосвязи с единой средой обитания – водой. Эти взаимодействия сопровождаются идентичными процессами, в частности – образованием биомассы активных живых организмов, создающим собственную первичную продукцию.

Более того, океан следует рассматривать как живой своеобразный единый организм. С биохимических позиций он подходит под ряд соответствующих критериев, характеризующих живой организм. Океану присущ определенный уровень структурной организации. Во-первых, его тело состоит из воды и заключено в конкретные границы и может быть обнаружено по этому признаку в пределах геосферы планеты. По аналогии – любой живой организм, вплоть до человека в основном содержит воду. Во-вторых, в нем прослеживаются ступени иерархической организации – элементный состав, простые органические соединения, макромолекулы, простейшие микроорганизмы и далее – живые организмы по известной трофической (пищевой) цепи. Четкая структурная организация – существенный признак проявления жизни.

Другой важный признак – способность к эффективному преобразованию и использованию энергии. Общеизвестно потребление и преобразование океаном солнечной энергии в зоне фотосинтеза. Можно уверенно говорить об утилизации океаном и других видов энергии: ветровой, гравитационной, вращательной и внутрипланетарной, космической. Здесь океан выступает в роли открытой системы, для существования которой необходим постоянный обмен с окружающей средой энергией и веществом.

К критериям живого организма также относится обмен веществ с окружающей средой и саморегуляция химических превращений. Потребление внешних потоков вещества и энергии происходит в контактных зонах благодаря процессам, описанным выше. Утилизацию этих потоков осуществляет биотическая составляющая экосистемы океана, а продукты жизнедеятельности выводятся по рассмотренным выше схемам самоочищения водоема. Здесь мы возвращаемся к постоянству солевого состава. Это одна из многих саморегулирующих функций экосистемы. Способы реализации этих функций хранятся в памяти информационной формы жизни, входящей в состав экосистемы океана.

Информация в многочисленных видах присутствует в океане и в необходимых случаях вступает в действие – определяет реакцию на

меняющуюся ситуацию. О её существовании говорят факты проявления в экосистеме. Информационная форма жизни проявляется в океане в виде механизма саморегуляции потребления поступающих из внешней среды веществ и выведения продуктов биохимических превращений во внешнюю среду. Именно этот механизм запускает одинаковую реакцию в разных частях экосистемы океана на одинаковые воздействия – нефтегазопроявления и другое. Например, распространение информации в океане объясняет развитие совершенно схожих, но одновременно уникальных, необычных по составу биоты, подводных экосистем на глубинах 2–4 км в районах «черных курильщиков», удаленных друг от друга на тысячи километров. По такому же механизму распространяются кораллы (Авилов, Авилова, 2000) и конкреции (Авилов, Авилова, 1993).

Аналог подобного механизма следует искать у человека, так давно замечено удивительное совпадение солевого состава у обоих. В этом плане человек и океан – родственники. Природа по-своему экономна – она запускает один и тот же механизм для достижения одинаковой цели в разных природных объектах.

В случае признания океана живым организмом встает проблема о его месте в царстве животных. В свое время океан сравнивали с огромной метаболической клеткой (К.М. Хайлов, 1965). В качестве аргумента выдвигали тезис о метаболических межорганизменных связях, осуществляемых через водную среду при участии внешних метаболитов в сообществе микроорганизмов между разными видами бактерий, одноклеточными водорослями и т.п. Такое взаимодействие чрезвычайно важно и хотя подтверждается современными биофизическими исследованиями, но этого слишком мало для описания всех жизненных функций океана. На наш взгляд океан гораздо сложнее, чем живой простейший одноклеточный организм. Свойства океана столь необычны и сложны, что ставят его в разряд сложных комплексных экосистем, несущей в себе все четыре формы жизни. Таинственность связанных с ними событий будоражит общественность и привлекает внимание писателей-фантастов.

В научном плане с позиций единого живого организма легче объяснить и решить разнообразные геоэкологические проблемы. Одной из главных задач этого направления выдвигается проблема сохранения нативных свойств океана, его целостности. Из наших комплексных исследований яснее видны общие закономерности. В океане развиты своеобразные механизмы передачи наследственной информации (самый уникальный признак живых организмов). Эту функцию несут разные виды информационной формы жизни – как определенные рас-

творенные органические соединения, например, внеклеточные ферменты, так и сообщества микроорганизмов в целом и другое. Через повсеместно распространяемую информацию океан создаёт себе подобных в виде рек, водохранилищ, озёр (в главных чертах – например, озеро Байкал) и других водоёмов (Avilov, Avilova, 1989б).

Биохимические, биофизические, генетические исследования раскрывают отдельные стороны и детали процессов и превращений в океане. Но только их совместные усилия, объединенные под эгидой аквагеоэкологии, дадут ответ о действительном месте в структуре экосферы планеты и роли Мирового океана в обеспечении существования современной цивилизации и определяют шаги по продолжению комплексного познания его уникальных свойств. Авторы не раз поднимали вопрос о создании Международного экологического заповедника в центральных глубоководных районах всех океанов с целью сохранения уникального микробиального сообщества как генофонда нашей планеты (Avilov, Avilova et al, 1999; 2000). Идея становится все более очевидной по мере расшифровки новых геномов, при обнаружении эффекта «горизонтального переноса» генов, в котором, как полагают, главную роль играет микробиота. В монографии Э.М. Галимов (2008) делает далеко идущий вывод: «Геномы организмов могут черпать генетический материал из общего генного пула биосферы». Представить страшно, что будет с биосферой Земли, если будет искажен или разрушен метагеном океана. Актуальность создания Международного экологического заповедника в центральных глубоководных районах океанов с проведением экологического мониторинга возрастает в связи с увеличивающимся антропогенным загрязнением планеты и необходимостью обеспечения человечества экологически чистой средой.

### **3.4. Происхождение нефти и газа**

Изучение проблем происхождения углеводородов в нефтегазовой геологии традиционно ведут по двум направлениям – нефтегазонакопление и нефтегазообразование. Оба они входят в систему жизнеземлеизнания, но располагаются в двух разных ветвях – литоэкогеологии и литоакваэкологии соответственно. Оба направления находятся в сложном взаимоподчиненном положении в науке, но по-разному восприняты в сфере промышленного производства нефти и газа, что накладывает отпечаток по обратной связи на уровень их развития (Авилов, Авилова, 2008б; 2010ж).

Наука и производство, как звенья одной цепи человеческой деятельности, находятся в сложном соподчиненном состоянии и взаимодействии. В историческом аспекте научные разработки могут отставать или опережать время, чаще – попадать в точку и развивать промышленность. В нефтегазовой отрасли сложилось своеобразная ситуация.

Всё последнее столетие в мире господствовала углеводородная экономика. Анализируя перспективы альтернативной энергетики, участники Форума «ТЭК России в XXI веке» декларировали, что нефть и газ будут доминировать и в ближайшие десятилетия. Промышленное производство ставило, и будет ставить перед наукой задачи обеспечения эффективной добычи углеводородного сырья, при этом в экономическом плане между обоими научными направлениями возникали заметные противоречия. Потоки денежных средств внутри нефтегазовых корпораций направлены в основном на разведку и разработку нефтяных и газовых месторождений, то есть на решение вопросов нефтегазонакопления.

Эпоха углеводородной экономики характеризуется невостребованностью научных разработок в области нефтегазообразования. Из-за труднодоступности объекта для экспериментальных работ исследования процессов нефтегазообразования носили теоретический характер, отставая от достижений другого, более прикладного направления. Кроме недофинансирования, тормозом прогресса теоретических изысканий служило отсутствие собственной надежной методологической основы. В главных чертах в нефтегазовой геологии использовали единый методологический подход – изучают геологическую, геофизическую, геохимическую функции литосферы методами таких геологических наук, как тектоника, стратиграфия, геофизика, геохимия и др. Собирают информацию о свойствах и характеристиках осадочной толщи, отдельных частей литосферы, входящих в состав геосистемы. Если в вопросах накопления углеводородов (УВ) он давал хорошие результаты, то при изучении происхождения УВ оказался малоэффективен.

Подобная ситуация почти полтора века наблюдалась в период развития теоретической составляющей нефтегазовой науки. Ровно столько происходило известное противостояние двух теорий органического и неорганического происхождения УВ. К достижениям этого периода следует отнести накопленный колоссальный фактический материал по косвенным признакам процесса генерации УВ. Но каждая из этих теорий в отдельности не смогла убедительно объяснить многие факты

нефтегазопроявлений в недрах, особенно в связи с эффектами дегазации Земли, что по современным меркам понижает их статус.

На смену приходит новый этап – период глубокого осмысления собранной информации. Побуждающим мотивом служит геологоразведочное производство, нацеленное на обеспечение добычи нефти и газа. Геологи-практики закладывали скважины на антиклинальных складках, стремясь вскрыть нефтегазоносные комплексы (коллектор, покрывку). Такая методика поисково-разведочных работ оказалась успешной при разработке верхнего этажа нефтегазоносности с глубинами до 3 км, где сосредоточено более 90% всех открытых в мире запасов углеводородов. За последние 20 лет ситуация в отечественной нефтегазовой отрасли претерпела заметные изменения. Сократилось финансирование на геологоразведку и уж тем более – на научные изыскания, в то время как добыча углеводородного сырья только нарастала. Возникшие диспропорции выдвинули восполнение запасов УВ в одну из ключевых задач развития ТЭК России. В её решении важное место занимает освоение ресурсов углеводородного сырья на больших глубинах более 4,5 км, что относится к высокочувствительному и наукоемкому производству. Для этого наиболее эффективно наращивание знаний об особенностях процессов, происходящих в недрах Земли, путем квалифицированного научного сопровождения геологоразведочных работ. У геологов-теоретиков не только возникла возможность, но и назрела необходимость провести широкое обобщение накопленного фактического материала. Начало этапа осмысления данных отмечено определенными успехами в области теории нефтегазообразования.

**Теоретические предпосылки.** Проблема генезиса нефти и газа рассматривается в разных аспектах и обросла многочисленными теориями и концепциями. Выделим биогенную и абиогенную теории происхождения нефти и газа, активно противоборствующие многие годы, а также поддерживающие и развивающие их концепции и гипотезы – флюидодинамическую, магматическую, космическую, синергетическую и другие. Считаем, что нет необходимости агрессивно доказывать правоту только одной концепции. Гораздо более продуктивно вникнуть в мотивации, понять логику теоретических построений, рассматривать каждую концепцию как раскрытие одной из граней сложного природного явления – образования нефти и газа. Здесь нельзя полностью согласиться с высказыванием философского толка: «Если для объяснения какого-нибудь события имеется более десяти гипотез,

то о нем мы не знаем ничего!». С нашей точки зрения в каждой концепции есть рациональное зерно. Все вместе они могут быть соединены в информационную систему по изучаемому явлению, насыщая её разноплановыми признаками. Считаем важным и актуальным проведение подобных объединительных исследований для решения теоретических и практических задач нефтегазовой геологии, в том числе при изучении нефтегазоносности Мирового океана.

Выбранный нами методологический подход направлен на учет всех известных научных фактов и событий, сопровождающих изучаемое явление, выделение среди них существенных признаков, исследование взаимосвязи прямых и косвенных показателей и установление причинно-следственных связей, раскрывающих его генезис. Такой подход, названный нами экосистемный, применен в данной работе. Он развит в разработанном нами синтезированном научном направлении – аквагеоэкологии, входящей частью в геоэкологию и жизнеземлезнание, сформированных на базе геологии и экологии (Авилов, Авилова,; 2008; 2009б; 2009д).

В совокупности все аспекты проблемы нефти и газа отнесены к компетенции жизнеземлезнания, но отдельные вопросы решаются более эффективным образом разными методами. Внимание научного сообщества к проблеме образования углеводородов (УВ) приковано не только в связи с практической значимостью скопления УВ в виде месторождений нефти и газа, но и с уникальностью самого этого природного явления. В изучении нефтегазоносности недр соседствуют две генеральные линии – нефтегазонакопление и нефтегазообразование. Их соединяет общий объект наблюдения – углеводороды. Различия проистекают из принципиальной разницы в методологии исследований. В нефтегазонакоплении наиболее эффективен геосистемный подход. Для решения задач нефтегазообразования лучшие результаты дает уже другой – экосистемный подход.

Экосистемный подход предполагает рассматривать отдельные стороны процессов образования, скопления и преобразования углеводородов (УВ) в экосистемах, то есть во взаимодействии с внешней средой (вмещающими породами, энергетическими, информационными полями и другое). Авторы выдвигают в число главных представление о том, что именно экосистемные взаимодействия наиболее рельефно высвечивают свойства и качества изучаемых явлений и объектов. Подобные представления заложил В.И. Вернадский в своем учении о живом веществе. Он взял за основу взаимосвязь веществ с био-

той, с этих позиций изучал свойства веществ и осуществил их классификацию. В частности, по происхождению нефть, газ, уголь отнесены к живому веществу биокосного типа.

Подобная методология привела к созданию систем определения основных видов биологической активности для массивов химических соединений и формированию понятия «биологически активные вещества» (БАВ). Разнообразным БАВ находят место в многочисленных концепциях, описывающих процессы образования углеводов. Понятия БАВ и живое вещество (по В.И. Вернадскому) во многом тождественны.

В экосистемах активность всех БАВ существенно различается и зависит от выполняемой функции. Доминантную роль играет биотическая составляющая экосистемы, в которой авторы выделили «активное живое вещество» (1976) и его показатели (компоненты живой природы) – активность гидролитических ферментов, содержание АТФ и связанная с ним характеристика: биомасса активных живых микроорганизмов (Миркина (Авилова), 1977а, Авилов, Авилова, 2008а). Делаем очередной, логически обоснованный, следующий шаг – расширяем и углубляем понятие экосистема.

Обычно в экосистеме выделяют две составляющие – биотическую и абиотическую, находящиеся во взаимодействии и взаимосвязи. Первая компонента или биота включает сообщество живых организмов, объединенных общей областью распространения – экосистемой. Для её количественной характеристики ввели понятие «активное живое вещество», численно выраженное в элементарном химическом составе, в весе или энергии. Это понятие конкретизирует участие всех видов живых организмов и проясняет их роль в экологических преобразованиях. Подобное экологическое значение имеют другие БАВ, отнесенные к абиотической составляющей экосистемы. Отдельные группы или виды этих БАВ вызывают различные экологические эффекты.

Подобие экологических функций элементов экосистемы (они все оказывают друг на друга определенное воздействие) позволяет объединить их в одно понятие – «живая материя» как совокупность всех элементов экосистемы. Разделяем элементы по степени их активности или пассивности в экосистемных взаимодействиях. По способу влияния на процессы и уровню организации группируем по видам, формам и т.п. Тогда экосистему в пределах природного объекта определяем как совокупность элементов живой материи, выраженной в различных видах и формах, которые находятся между собой во взаимовлиянии и

взаимодействии. Экосистемный анализ занимается изучением взаимодействий внутри экосистемы, выявлением участвующих в них видов и форм живой материи, определением степени их активности.

Этот принципиальный шаг позволил обосновать выбор существенных информационных признаков аквагеоэкологии, а входящий в состав её информационной системы экосистемный анализ привел к концепции существования живой материи (Авилов, Авилова, 2009д). Жизнь может существовать и развиваться только в экосистеме. В экосистеме материя становится живой и в результате экосистемного взаимодействия приобретает разнообразные формы и виды жизни, находящиеся в постоянном взаимодействии и взаимосвязи. Выделяем как минимум четыре формы живой материи (вещественная, белковая, информационная, космическая), каждая из которых представлена множественными видами. Подходы и положения концепции применяем при исследовании процессов образования УВ.

**Лабораторные и натурные эксперименты.** Из теоретических представлений следует, что очаг генерации УВ располагается глубоко в осадочной толще и практически не доступен для прямых наблюдений. При изучении такого труднодоступного объекта используем два методологических подхода: моделирование процессов в лабораторных условиях на специальных установках и решение обратной задачи путем экосистемного анализа натурных измерений косвенных признаков этого процесса в природе.

Заметное место в литоакваэкологии занимает экспериментальное исследование процессов преобразования ОВ в осадочной толще. В серии экспериментов имитировали глубинные потоки газов  $H_2$  и  $CO_2$  через искусственные слои – фильтр, донные отложения и воду с выходом в атмосферу, воспроизводящие природную среду акваторий в среде инертного газа  $Ar$ . Сначала в экспериментальную камеру поместили осадки из Балтийского моря с фоновым содержанием всех газов. Под действием глубинных потоков в них развилось сообщество микроорганизмов (хемолитоавтотрофы). Они генерировали метан, создавая аномалию, с максимумом на 7–9 сутки.

В другой серии эксперимента в камеру поместили черноморские осадки и воду, в которых периодически измеряли концентрацию АТФ (БАЖМ). От исходных фоновых значений 110 нг АТФ/л на 7 сутки получили аномалию по содержанию АТФ – 1230 нг/л – развились микроорганизмы с хемолитоавтотрофным типом обмена веществ, ис-

пользуя газовый поток. В контрольной же камере микроорганизмы не развивались.

В последующем эксперименте на установке УМКП в специальной экспериментальной камере в анаэробных условиях при температуре 95°C и геостатическом давлении 500 атм. после выдержки образцов альбской глины в течение 36 ч в ней установлено содержание АТФ 43 нг/г. При этом из образца зафиксирован выход газообразных компонентов –  $\text{CH}_4$  и его гомологов,  $\text{H}_2$ . Анализ экспериментального материала на основе существенных информационных признаков подтвердил существование и развитие явления хемолитоавтотрофии в придонной воде, верхнем слое осадков, внутри осадочной толщи на глубинах 2–3 км.

В лабораторном экспериментировании проблемы эколитогеологии рассмотрены в связи с процессами нефтегазонакопления. Авторами изучены некоторые конкретные стороны массопереноса в осадочной толще. В методологии более эффективен геосистемный подход и на первый план выходят другие существенные информационные признаки – газовые компоненты и их потоки, характеризующие абиотическую составляющую экосистемы. На установке УМГП имитировали рассеянные потоки газовой смеси с преобладанием гелия до 80 %об из глубинного источника (залежи) под воздействием перепада давления и концентрации. В природных объектах такое вертикальное перемещение газов относят к третичной или повторной вторичной миграции.

В течение длительного эксперимента визуально и инструментально отмечали аномальное состояние донных отложений. В экспериментальной камере через прозрачную стенку наблюдали поэтапно возникновение пузырьков газа (гелия) в однородном слое ила в нескольких точках, их постепенный рост, видоизменение круглой формы газового пузыря на многополостную каверну, практически одномоментный прорыв газа (на 42 сутки эксперимента) через верхнюю часть слоя ила в воду и далее в воздушную подушку, где концентрация гелия мгновенно выросла на один – два порядка. Далее цикл неоднократно повторялся. Было установлено неизвестное ранее явление концентрирование рассеянных газовых потоков в свободную форму внутри слоя глинистых отложений при достаточном перепаде давлений. Открытое явление – «Явление перехода в осадочной толще газа в свободную форму из его рассеянного потока» с приоритетом от 1998 г., имеет выход в экогеологию и геоэкологию. Оно объясняет рождение вторичной газовой залежи, цикличность газопроявлений и разгрузок,

возникновение геоэкологических рисков, образование геоэкологических аномальных состояний осадочной экосистемы и другое (Авилов, Авилова, 1998; 1999; 2003; 2008а, г; 2009; 2009б и др.).

Натурные эксперименты по влиянию очага генерации или накопления УВ на окружающую среду ставит сама природа. Исследователю остается только распознать следы этого воздействия и количественно измерить. Такой подход определяет главную задачу натурных наблюдений в нефтегазовой геологии – изучение нефтегазопроявлений на всех доступных тестированию уровнях геохимического разреза, проходящего, в частности, через водную толщу, контактную зону, вглубь осадочной толщи. Экосистемный анализ признаков нефтегазопоявлений, как косвенных показателей процессов нефтегазообразования и нефтегазонакопления, ведем из понимания, что эти процессы протекают в планетарной экосистеме. Она более высокого ранга по отношению к изученным, поэтому внешние воздействия на рассмотренные в книге локальные экосистемы оцениваем как возможные индикаторы нефтегазопоявлений. Соответственно весь массив газобиогеохимических данных, полученных в контактных зонах, относим к результатам природного эксперимента для познания сути явления генерации и аккумуляции УВ и привлекаем в экосистемный анализ комплекс показателей этого явления.

**Нефтегазообразование и жизнь.** Геохимические исследования в нефтегазовой геологии констатировали чрезвычайное разнообразие в составе нефтей не только углеводородных, но и не углеводородных соединений. Множественные БАВ принимают участие в создании нефти и газа. Несмотря на вариабельность состава в широких пределах, нефть и газ обладают конкретными свойствами и формой, выделяющими их скопления в самостоятельный природный объект. С экосистемных позиций этот научный факт интерпретируем так: в природной экосистеме УВ представляют собой образование из многих БАВ с высоким уровнем структурной организации (упорядоченности). По этому существенному признаку относим природный газ и в ещё большей степени нефть к высокоорганизованному виду живой материи, её вещественной формы. В экосистеме такие структурные образования должны поддерживаться извне. Следует логичный вывод, что месторождения нефти и газа могут существовать только в условиях постоянной подпитки углеводородами и БАВ, то есть в реальном времени идет перманентное восполнение открытых и эксплуатируемых

месторождений. Вопрос может стоять только о скоростях восполнения, и их соотношения с объемом добычи.

Месторождения УВ достаточно широко распространены на планете. Обследовано более 500 осадочных бассейнов, около 150 из них отнесены к промышленно нефтегазоносным и в каждом найдена отнюдь не одна залежь. Около миллиона скважин извлекают нефть и газ из земных недр. Можно говорить о тысячах однотипных природных объектах – скоплениях УВ, одновременно существующих на Земле. Это означает, что принцип подобия (воспроизводство себе подобных), свойственный живой материи, функционирует и при образовании УВ.

Информационная база осадочно-миграционной (органической) теории нефтегазообразования представляет многочисленные доказательства неоспоримых корреляционных связей большинства УВ в системе живое вещество (активное живое вещество) – органическое вещество пород – нефть. Это утверждение признается подавляющим большинством исследователей нефтяников, сторонников разных школ, и рассматривается как одно из главных достижений нефтегазовой геологии. Данный научный факт также аргументирует в пользу признака подобия, имеющего место при нефтегазообразовании, – залежи УВ похожи в разных точках поверхности Земли.

Несмотря на известное многообразие состава нефтей, детальные геохимические исследования в нефтегазовой геологии на основе анализа баланса основных индивидуальных УВ нефти доказывают универсальность состава большинства нефтей, коррелирующего с морским органическим веществом (активным живым веществом). Это обстоятельство ещё с одной стороны указывает на единообразие скоплений УВ, что позволяет отнести принцип подобия к существенным информационным признакам проявления нефти и газа в экосистеме.

Принцип подобия подчеркивается космической гипотезой, зародившейся почти век тому назад. Она предполагала, в частности, присутствие нефти на многих космических объектах. Новейшие космические исследования укрепляют эту идею. Метан и его гомологи обнаружены космическими аппаратами в атмосфере планет, в составе космической пыли, метеоритов, комет. Так в атмосфере Титана, спутника планеты Сатурн, концентрация метана достигает 5%, предопределяя его автохтонный генезис – образование внутри экосистемы спутника. Следует обобщающий вывод, что образование углеводородов – одна из функций живой материи. Воспроизведение себе подобных скоплений УВ есть её неотъемлемое свойство. Механизм нефтегазообразо-

вания существует в самой природе, например, в виде технологического процесса.

Носителем природной технологии, обеспечивающей генерацию углеводородов из отдельных БАВ, является память, заложенная в информационной форме жизни. Такая технология записана, вероятно, в виде информационно емких структурных образований космического эфира, распространена повсеместно, взаимодействует со всеми формами жизни и находится в пассивном состоянии. Толчком к запуску этой технологии служит благоприятное состояние локальной экосистемы, свойство которой (наличие исходных БАВ, вещественный состав, каталитические свойства и т.п.) в конкретное время оказалось вполне достаточным для воспроизводства модели нефтегазообразования по матрице, хранящейся в памяти.

В число существенных факторов среды входит энергетическое воздействие, вариации которого рассматриваются в синергетической концепции. Это направление, активно развивающееся в последнее время в естественных науках, предполагает учитывать влияние различных видов энергии как на процессы нефтегазонакопления, так и нефтегазообразования. Большинство концепций связывают энергетическое воздействие с нефтегазонакоплением. Различные гипотезы в числе главных факторов называют тепловое, гравитационное, сейсмическое воздействие на преобразование УВ. Другие включают энергии высоковольтного электромагнитного поля, фазовых переходов, ионизирующего излучения и других явлений в процессы генерации природных УВ.

Разнообразные виды энергетического воздействия авторы, согласно концепции наличия различных форм живой материи, относят к существенным признакам проявления космической (энергетической) формы жизни в экосистеме. Она активно участвует в круговороте жизни в природе, включаясь в общую схему взаимодействия с другими формами жизни. Выделяем преобладающее направление обменных процессов. Вещественная и белковая формы жизни воспринимают и передают различные виды информации, поступающие от информационной формы жизни, в частности, вещественная принимает информацию от белковой формы жизни. Вещественная форма жизни передает вещество и энергию белковой субстанции, а та, в свою очередь, транспортирует информацию и энергию в информационную и космическую формы жизни, соответственно. Космическая форма жизни при содействии информационной формы преобразуется в вещественную

форму жизни, порождая звезды, планеты и тому подобное. Взаимодействие форм жизни осуществляет круговорот жизни, а значит и материи, во вселенной.

Для процесса нефтегазообразования важно, что энергия в концентрированном виде может переходить в вещественную и белковую формы жизни в экосистеме. Не рассматривать и не учитывать её нельзя. В связи с этим уместно вспомнить экспериментальные исследования по проблеме зарождения жизни. Наиболее значимые результаты были получены при сильных энергетических воздействиях. В своих работах А.И. Опарин подытожил, что образование и усложнение органических соединений должно происходить в том числе «при воздействии очень различных энергетических источников». В экспериментах по синтезу органических соединений в условиях, моделирующих атмосферу ранней Земли, показано, что они образуются в восстановительной обстановке при достаточно мощных энергетических воздействиях, например, лазерного импульсного излучения (Галимов, 2008 и др.).

**Концепция перманентного нефтегазообразования.** Все гипотезы и концепции объединяем в информационную систему, характеризующую сложное природное явление – происхождение УВ. Применив разработанный в аквагеоэкологии экосистемный анализ, авторы по существенным признакам и косвенным показателям проявления жизни в экосистеме предлагают следующую генеральную схему образования УВ.

Исходный материал – необходимые БАВ поставляются в очаг генерации УВ из недр Земли, что предложено магматической концепцией, выдвинутой в начале прошлого века. Магматические газовые компоненты (с преобладанием  $H_2$  и  $CO_2$  – исходные БАВ) в виде концентрированных газовых потоков (Авилов, Авилова, 2002; 2006; 2008г; Дегазация..., 2002; Шнюков, Авилов, Авилова, 2007) поступают в благоприятную локальную экосистему (она может быть на всех этапах осадочной толщи и глубже в зонах с высокими температурой и давлением), находящуюся под достаточно мощным воздействием энергетических полей, и по технологии природной памяти запускают процесс генерации УВ. Аккумуляция углеводородов приводит к появлению залежей нефти и газа.

В этой, в принципе известной схеме присутствуют некоторые новые логические связи. В свете современных сведений о глубинном происхождении нефти более категорично заявляем о магматическом источнике исходного вещества для образования УВ. Вводим понятие благоприятной локальной экосистемы для нефтегазообразования, ко-

торая может возникать случайным образом (во времени при меняющихся геотектонических обстановках) в различных точках литосферы. Утверждаем о наличии повсеместно информационной формы существования живой материи, несущей в себе технологию (способ) генерации УВ путем упорядочения исходных БАВ. Воздействие информации в экосистеме тут же запускает технологию при возникновении благоприятной ситуации.

Генеральная схема содержит некоторые узловые моменты, требующие объяснения. Узким местом остается технология генерации УВ (нафтотехнология). Она нам до конца не известна, но с высокой степенью вероятности можем судить о её главных свойствах. Природа имеет в своем распоряжении автономный способ образования УВ, для чего использует весь арсенал необходимых средств. Суть нафтотехнологии заключена в упорядочении элементного состава исходного вещества (БАВ) до уровня высокой структурной организации углеводородов (скоплений нефти и газа).

Детали процесса по понятной причине находятся за пределами видимости и сконструированы исследователями в виде гипотез и концепций. Абиогенная концепция предлагает разнообразные направления и варианты неорганического синтеза УВ. Известна реакция Фишера-Тропша по синтезу УВ из водорода и окислов углерода при температурах 150–300°C на катализаторах. На экспериментальных данных разработана концепция геокатализа в неравновесных системах, где совершаются превращения углеродсодержащих молекул с образованием нефтегазовых УВ. Гипотезы минеральной концепции ограничиваются описанием достигаемой упорядоченности в основном на молекулярном уровне, от которого до вещественного уровня структурной организации (самой нефти как вещества) предстоит сделать большой шаг.

Более продвинутые результаты дает органическая теория нефтегазообразования. Высочайший уровень упорядоченности обеспечивает белковая (углеродная) форма жизни в виде активного живого вещества (микробиального сообщества). Споры вызывает вопрос о том, как его доставить в зону нефтегазообразования. Ответ предлагает концепция хемолитоавтотрофного цикла образования УВ, разработанная авторами (Авилова, 1984а, Авилов, Авилова, 2002 и др.). На первом этапе нафтотехнология обеспечивает, при благоприятном стечении обстоятельств, зарождение и развитие сообщества микроорганизмов преимущественно с хемолитоавтотрофным типом обмена веществ в такой экосистеме.

Зарождение белковой жизни происходит по программе, заложенной, например, в микробальном геноме, распространенном в веществе (породе) в иммобилизованном, пассивном состоянии. Но вероятнее всего программа присутствует в информационной форме жизни в виде некоей матрицы или сгустка энергии и др. Взаимосвязь энергии и массы установлена известной формулой А. Эйнштейна. Можно представить, каким колоссальным всплеском энергии сопровождается смерть живого организма из-за мгновенной потери веса. Этот акт сопровождается переходом белковой формы жизни в вещественную, энергетическую и информационную формы. Очевиден и обратный созидательный процесс, когда огромные космические энергии (по этой же формуле, но в обратном направлении) продуцируют массу – вещественную форму жизни и далее по информационной матрице – белковую форму. В благоприятной экосистеме, соединившись, энергетическая, информационная и вещественная формы жизни порождают белковую форму, то есть зарождаются микроорганизмы, на потоках  $H_2$  и  $CO_2$  – хемолитоавтотрофы. Ведь не зря, в опытах по моделированию происхождения жизни часто применяют сильный энергетический импульс – ударное воздействие, импульсный разряд в газовой фазе, действие энергии открытого космоса и т.п.

На последующих этапах нафтехнологии, в результате своей жизнедеятельности хемолитоавтотрофы создают активное живое вещество, производят УВ (как минимум – метан) и воду, их останки обогащают биополимерами материнскую породу, давая начало процессам флюидизации, по флюидодинамической концепции. Процесс отличают характерные черты. Цикличность связана с функционированием микробального сообщества и его зависимостью, как неравновесной системы, от геоэкологического состояния внешней среды. Процесс сопровождается двумя встречно направленными конструктивным и деструктивным действиями по упорядочению УВ, что свойственно природе в целом. В результате непосредственно в очаге генерации может достигаться структурная организация УВ не только на молекулярном, но и на вещественном уровне – образуется микронефть.

Исходя из экосистемного анализа, доминирующую роль в образовании УВ отводим хемолитоавтотрофной концепции. В её пользу свидетельствует отмеченная выше корреляционная связь основного состава УВ нефтей и активного живого вещества. Подтверждает данный тезис природный эксперимент в жестких термобарических условиях. В вулканах (природной лаборатории) не течет неорганическая нефть или бен-

зин, но процветают микроорганизмы – термофилы. Подобный вывод приносят наблюдения в глубинных подводных гидротермах, черных курильщиках. Соответственно хемолитоавтотрофы, а они отнесены к термофилам, воспринимают условия в глубинах литосферы, до «вулканических» температур порядка 250–300°C, как благоприятные.

Если в экспериментах повышенное давление замедляет процессы неорганического геокатализа, то для микроорганизмов оно не является помехой. Так, в живых клетках ростков растений развивается давление в сотни атмосфер, что помогает пробиться к свету даже через асфальт. Аномально высокое давление создают микробы на километровых глубинах, отвоеывая себе жизненное пространство в грунте и одновременно разуплотняя породу. При этом они заполняют пространство произведенной водой, биополимерами, нефтяными и газовыми УВ, создавая локальную экосистему с УВ-растворами. В экосистеме происходит внутреннее взаимодействие, формирующее состав УВ-растворов, и внешнее воздействие на породу, определяющее параметры первичной миграции.

Главным двигателем внешнего воздействия выделяем избыточное давление внутри экосистемы. Оно порождает рассеянные потоки флюидов во внешнюю среду, запуская процесс первичной миграции. Авторы разработали концепцию концентрирования этих рассеянных потоков в свободную форму, то есть консолидацию компонентов из их рассеянных потоков в виде скопления внутри слоя породы (Авилов, Авилова, 1998; 1999 и другие). Под избыточным давлением флюиды, распространяясь по породе, образуют в ней, как показали эксперименты, пузырьки, капли, каверны, заполненные компонентом, которые либо создают новые рассеянные потоки, либо прорываются к разуплотнениям в виде трещин, включаясь в процессы вторичной миграции. Каверны схлопываются, затем наполняются и опять схлопываются, то есть работают как циклический перекачивающий насос. Дальнейшая консолидация нефтегазовых УВ в месторождения происходит по хорошо известным схемам нефтегазонакопления.

Предложенная хемолитоавтотрофная концепция объясняет с наибольшей достоверностью механизм образования УВ в недрах планеты. Концепция перманентного нефтегазообразования объединяет существенные положения двух – органической и минеральной теорий, многих концепций с позиции достижения высокой структурной организации углеводородных соединений в единое идентифицируемое вещественное образование – газ и нефть. Их уникальные свойства, прояв-

ляющиеся на стадии генерации, вписываются в концепцию существования различных форм живой материи.

Экосистемный подход наиболее эффективен в исследовании проблемы нефтегазообразования. Выявлены новые логические связи взаимодействий внутри генерирующей УВ экосистемы, экосистемный анализ приводит к выводу, что процесс образования УВ перманентно протекает на Земле и других планетах. В благоприятных локальных экосистемах в глубинах осадочной толщи периодически зарождаются микробиальные виды белковой формы жизни, обеспечивающие упорядоченность БАВ в виде нефти и газа, их залежей. Нефть и газ представляют высоко структурно организованный вид вещественной формы живой материи. Появление нефти и газа в экосистемах относим к признакам зарождения и существования в них белковой формы жизни. Концепция объясняет многие непонятные прежде стороны процессов нефтегазообразования и накопления углеводородов и этим приближается к статусу теории. Детализация теории нефтегазообразования будет продолжена, но её главный постулат в принципе сохранится: «нефть из жизни, жизнь на потоках из лито- и фотосферы». Выполненные теоретические построения утвердили известные факты воспроизводства многих нефтегазовых месторождений, внося заметный вклад в решение задачи по восполнению запасов углеводородного сырья.

### **3.5. Процессы в антропоэкосистеме «учёный – наука – власть»**

**Экосистемный анализ** успешно применим при исследовании любых природных экосистем, не исключая антропоэкосистему, где человек играет главенствующую роль. Краткий экскурс в историю науки (раздел 1.1) убеждает, что роль науки в обществе со временем менялась, а взаимоотношения учёных с властью не всегда были гладкими. Несомненно и то, что именно достижения науки обеспечивали прогресс современной цивилизации.

В России отношения с учёными складывались по-разному. Советская власть возвысила учёных, они составили костяк интеллигенции, ставшей в последствии идеологом низвержения этой власти. Перестройка пустила учёных на самовыживание и отдача от науки резко упала. Власть РФ сделала вынужденный шаг на привлечение иностранных технологий, изделий. Кризис отечественной науки затянулся до нынешних времен. Президент РФ Д.А. Медведев призвал к модернизации страны, что, как показывает исторический опыт, невозможно

сделать без активного участия собственной науки. Премьер-министр РФ В.В. Путин, выступая на Общем собрании Российской Академии Наук, настаивал на концентрации капиталовложения в науку, «не размазывая тонким слоем». Президент РАН академик Ю.С. Осипов говорил не в унисон, отстаивая необходимость развивать все научные направления. Положение серьёзное и требует глубокого осмысления.

Озабоченность первых лиц Государства стала поводом для обсуждения этой темы. Проблема давно созрела для решительных действий. Вопрос поставлен самой жизнью и может быть решён путём выяснения создавшейся ситуации. С нашей точки зрения главная объективная причина кроется в несоответствии уровня развития науки и места учёных в России с настоящей стадией мирового цивилизационного процесса. Мир находится на переломе, переходе из индустриальной эпохи в постиндустриальную, в ноосферный этап развития человечества. Если в индустриальный период главной фигурой – движителем прогресса был инженер, то в наступающем цикле развития человечества главенствующая роль, по логике вещей, перейдёт к учёному. Чтобы это произошло не само по себе – стихийно, «как всегда», желательно способствовать этому закономерному процессу, осознав новые реалии. Сделать это могут лучше всего только сами учёные (пока за них, как обычно, кто-то не решил), используя весь арсенал научных методов.

Результат принесёт широкое обсуждение современных задач и места науки в обществе. Предлагаем свое видение вопроса. Прежде всего, проанализируем устойчивые взаимосвязи, сложившиеся к настоящему моменту с помощью экосистемного подхода к проблеме. Для этого из многообразия взаимоотношений выделяем как главный объект исследования антропоэкосистему «учёный – наука – власть», поскольку уверены, что этот правильный выбор является залогом успеха.

Взаимодействие между учёными, наукой и властью (тремя элементами выбранной экосистемы) протекает в рамках всего человеческого общества, имеет глубокие исторические корни и видоизменяется в соответствии с развитием цивилизации. Со временем менялось и само значение этих слов, поэтому предлагаем современные трактовки этих понятий с тем, чтобы использовать в дальнейших рассуждениях.

Власть – её исполнительная ветвь, которая несёт периодическую и историческую ответственность перед обществом и избирателями страны.

Наука – сфера государственной (частной) деятельности, направленная на познание природы.

Учёный – гражданин страны, получающий, накапливающий и применяющий знания о природных процессах и явлениях.

При такой общей формулировке любой обучённый (в школе и т.п.) человек попадает под понятие учёный. Это и хорошо для будущего страны. Однако степень его участия в научном процессе зависит от того, как он накапливает и применяет свои знания. Такое определяет его принадлежность к науке (в качестве научного работника) и долю его вклада в научный процесс (степень кандидата, доктора наук и различные звания).

Во взаимоотношении учёного и науки важное место занимает признание его труда в виде авторства, должности и др. Сферам научной деятельности нет предела и научная продукция также многообразна, что создаёт трудности в оценке её значимости для общества. Постараемся найти общности в массе частных. Подойдём со стороны давно замеченных склонностей и предпочтений учёного. Одни более успешны в экспериментальной работе, другие – в анализе и обобщении фактического материала. Деление на теоретиков и экспериментаторов выбираем как главный фактор в нашем экосистемном анализе.

Наука практически не учитывает заметной разницы, существующей на базе генетической предрасположенности между этими двумя группами, при оценке труда учёного. Более того, она приписывает учёному функцию внедренца собственных разработок. Так в требование ВАК к диссертациям среди многих включено обоснование практической значимости исследований, которая должна быть подтверждена результатами использования, подкреплена актами внедрения научной работы. Соответственно для получения учёной степени соискателю рекомендовано выступать сразу во всех ипостасях: экспериментатор, теоретик и внедренец. Правомерен ли такой уровень интеграции? Логично заключить, что такая методика оценки работы научного сотрудника не способствует повышению производительности его труда.

Принятая система отчетности отстает от мировых стандартов и не инициирует учёного на производительный труд. Годовые отчеты научных лабораторий и организаций грешат отсутствием конкретных данных и обезличкой исполнителей. Лучше дело обстоит с публикациями, где автор может представить свои достижения. Поэтому число и качество печатных работ все чаще используют в качестве критериев эффективности работы. Однако здесь есть свои подводные камни. В коллективе авторов не ясно кто, чем занимался, даже бытует мнение, что пишет последний. Преимущество получает теоретик – он пишет,

пока экспериментатор добывает данные. Совершенная оргтехника, компьютеризация повышают вероятность появления компиляции, плагиата в научных публикациях.

Налицо отсутствие четкого регламента взаимодействий науки и учёного в экосистеме. Неопределенность (иногда несправедливость) оценок снижает мотивацию научного работника к плодотворному и производительному труду. Именно поэтому тот, кто хочет много и успешно работать, ищет свой шанс за границей, даже становятся нобелевскими лауреатами. Факт, уходящий в область контрпродуктивных взаимосвязей учёного и власти. Тенденция очень опасная и чем-то напоминает потерю активного сельского работника в 30-х годах в СССР.

Не менее сложные отношения внутри науки. Научные направления отстаивают приоритетность своих исследований, во многих из них существуют и соперничают различные школы, делая научный мир многополярным. Ситуацию обостряет перманентная нехватка средств на развитие научных исследований с точки зрения научных, педагогических и научно-производственных организаций. Власть считает все возможности исчерпанными, направляя на науку 10% бюджетных отчислений. Стоит вопрос об их эффективном вложении и о соразмерной отдаче. При этом наука отстаивает свою многополярность, ибо это важное свойство обеспечило её выживание и развитие за длительную жизнь во взаимодействии с разной властью во все исторические периоды.

С этих позиций выделяем главное в схеме взаимодействий науки и власти. Наука, в силу своей многополярности, предлагает одновременно обществу разные варианты развития и решения проблем в любых сферах общественно-политической и экономической жизни. Власть выбирает и реализует только один из предложенных вариантов. Если власть умело пользуется прогрессивными достижениями науки, то государство и общество выигрывает от этого (развитие космонавтики и другое в СССР). Но если власть ошибается или держит науку для обоснования своих амбиций, то такую власть ждёт фиаско (отрицание генетики, информатики, насаждение научного коммунизма и другое).

Сделать своевременно правильный выбор из целого ряда научных, часто противоречивых теорий, для власти чрезвычайно сложно. Здесь авторитеты не всегда помогают (пример с Т.Д. Лысенко). Остаётся одно – создать гибкую схему взаимодействий в системе «учёный – наука – власть». Такая схема должна строиться на постоянных принципах взаимодействия между элементами этой системы, а способы их реализации на практике (реорганизация ведомств или создание новых,

принятие законов и т.п.) могут меняться в процессе развития государства и воздействия на него со стороны экосистем более высокого ранга (межгосударственные связи, войны, природные катаклизмы и др.).

Из краткого анализа современного состояния проблемы становится очевидной главная цель предлагаемых преобразований – создание максимально благоприятных условий для творчества учёного. Повышение производительности его труда – основное звено цепи взаимодействий в выделенной антропоэкосистеме. Научный работник – практически единственный производитель научной продукции. Его способности и талант раскроются полностью только в благоприятной экосистеме. Чтобы её создать, необходимо учитывать специфику людей, посвятивших себя служению науке.

Учёный – это, прежде всего человек, со всеми плюсами и минусами. Но чтобы достичь заметных успехов в науке, он должен иметь специфический склад ума. В нём доминируют свойства, способности, сопровождающие кропотливый научный труд, а также увлечённость и чутьё на новое. Обычно эти качества развиваются в ущерб некоторым другим общечеловеческим свойствам, зачастую выставляя учёного в чудаковатом виде. Для нашего анализа существенно то, что «чудаковатость» часто проявляется в отношении учёного к деньгам – они не главное. Вспомним, в похождениях Х. Насреддина на чашах весов лежали «ум» и «деньги». Учёный выбрал «ум». Герой романа «Не хлебом единым» отказывается от многих благ во имя науки. Наконец, свежий пример – отсутствие интереса у математика Г. Перельмана к денежной премии в один миллион долларов. Настоящий учёный готов любить науку даже «без взаимности».

Среди привлекающих внимание доминантных качеств учёных отмечаем также убеждённость в правоте своих идей. Отстаивая их, некоторые готовы даже голову сложить (например, Джордано Бруно). У этой фанатичности есть две стороны: прогрессивная и консервативная. Молодой учёный, не взирая на авторитеты, получил новые данные, нашёл им объяснения, построил теорию (прогрессивное начало) и всю оставшуюся жизнь, став сам авторитетом, отстаивает идею, хотя наука ушла вперед (консервативный исход). По этой схеме в науке постоянно возникали и соперничали разные школы, создавая её многополярность. Постоянная борьба мнений обеспечивает прогресс науки. Прогресс состоится, если удерживать эти противоречия на оптимальном уровне – в рамках словесных баталий, дискуссий, не допус-

кая расправ с оппонентами, провоцируя власть на устранение «инакомыслящих», «врагов народа» и т.п.

Перипетии науки, уроки истории, свойства человеческого характера, собственный опыт авторы попытались соединить, разработав принципы взаимодействия в системе «учёный – наука – власть». Предлагаем (в кратком виде) следующие принципы более четкого взаимодействия между элементами этой системы, практическая реализация комплекса разработанных принципов приведет к достижению поставленных целей.

### **Принципы взаимодействия «учёный – наука – власть»**

1. Учёные, наука предлагают свою научную продукцию (идеи, теории, методы, приборы и др.), а власть их принимает для внедрения или нет, поскольку только она несет ответственность перед обществом и историей (так, советская власть правильно выбрала космос и ошиблась с генетикой, кибернетикой и т.п.).

2. Власть финансирует учёных и науку и, эффективно вкладывая деньги налогоплательщиков, должна знать кому, сколько и за что платит.

3. Учёный – главный производитель научной продукции, и власть, и наука должны обеспечить его необходимыми орудиями труда, создать жизненные условия и признать авторские права. Учёный планирует направление работы и ежегодно отчитывается о полученных результатах.

4. Наука и власть выделяют в труде учёного три основных рода (вида) деятельности: экспериментатор, теоретик и реализатор (внедренец). Для производительного труда всем создают общие (оргтехника, помещение), а по родам деятельности – специальные дополнительные условия. Экспериментатору – лабораторное оборудование и опытное производство, предоставляемые властью по планам и проектам, которые готовит наука. Теоретикам – автономность. Внедренцам – кредитование и субсидирование под проекты на конкурсной основе по научно-организационной деятельности (конференции, выставки, конкурсы и другое).

5. Власть устанавливает по всем ведомствам одинаковые должностные оклады научным работникам, но дополнительно вознаграждает за лучшие научные результаты.

6. Результаты научного труда оцениваются по степени их внедрения в производство научной, культурной, промышленной продукцией и общественной значимости.

7. Для достоверной оценки научной продукции власть организует и финансирует самостоятельную научную, правительственную и общественную экспертизу в виде соответствующих комитетов. Экспертные комитеты оценивают научную продукцию каждого научного работника, подразделения и научной организации, выбирают достойную внедрения, готовят предложения для власти, способствуют внедрению, получают долю прибыли, которую распределяют среди авторов в виде вознаграждения. Комитеты работают на конкурентной основе и датируются властью пропорционально объемам внедренной научной продукции.

8. Власть, направляя финансовые потоки через те или иные экспертные комитеты и научные структуры, отдавая предпочтение проектам экспериментаторов или внедренцев, активизируют деятельность науки в соответствии с требованием времени. Финансовые потоки спровоцируют свободное (при равенстве окладов) перетекание активных научных кадров в сферы научной деятельности, где выше и чаще дополнительные вознаграждения и моральные стимулы.

9. Власть и наука выстраивают этические нормы взаимоотношений в научной среде, создавая единые критерии достоверных оценок научной продукции по трем названным видам научной деятельности, принимая проекты только со ссылкой на авторов использованного фактического материала, идей, ноу-хау и другое. Научный работник, отрабатывая должностной оклад, должен ежегодно представлять отчет о созданной научной продукции, доступной всем, например, в Интернете. В отчетах по проектам добавляются сведения о себестоимости полученных результатах. Научный работник сам может вносить предложения о внедрении во все экспертные комитеты ежегодно.

**Краткий комментарий.** Практическое исполнение предложенных принципов взаимодействия в экосистеме «учёный – наука – власть» может быть реализовано разными способами, но наилучшие результаты принесёт внедрение нашего Предложения в целом. Высказанное Предложение, от нашего лица власти, извините, назовём его «Принципы Авиловых», может быть принято или нет. Чтобы быть правильно понятыми, представляем их главные положительные стороны.

Достигнута главная цель – повышается роль научного работника, производительность его труда и одновременно вероятность внедрения его разработок. У него появляется заинтересованность в создании такой продукции, которая может быть востребована другими, и есть выбор, как с ней поступить. Её выгоднее обнародовать, как бы выставить

на продажу, чем держать при себе, в тайне (к этому давно пришли на западе). При этом научный сотрудник имеет преимущество – самому первому подготовить проект на внедрение своей разработки, так как за неё он обязан отчитаться только в конце года. Но главное, он может этим и не заниматься – система сама отследит и внедрит выгодную научную продукцию, не обделив автора. Учёный продолжает эффективно заниматься тем родом деятельности, где наиболее ярко проявляются его способности.

Сейчас используют довольно условное деление науки на фундаментальную и прикладную с весьма размытыми границами, тем не менее, влияющее на распределение бюджетных средств. Предлагаем делить научную деятельность на три вида, что гармонирует с естественным ходом научного познания. Эмпирическое и теоретическое познание составляют единый процесс, присутствуют в исследовании на разных стадиях. Для каждого из них нужна своя финансовая и производственная база, и уж совсем другие подходы и капиталы – для внедрения научных разработок.

Эмпирическое познание направлено на получение фактов из окружающей действительности посредством наблюдений, эксперимента. Наука создает благоприятную обстановку для учёных экспериментаторов. По опыту знаем, что в морских экспедициях, где добываются научные факты, отдача труда возрастает в разы. На флоте, замечал Ж.И. Кусто, всегда работают много и тяжело. Морской опыт стоит внедрить при организации экспериментальных работ в научных центрах типа Сколково. Власть нацеливает этот род деятельности на разработку и использование новых методов, финансируя соответствующие проекты.

Теоретическое познание само по себе не может вскрыть закономерности природы. Для своего эффективного движения оно должно получать толчки, импульсы в виде новых научных фактов. Наука обеспечивает доступ учёного теоретика ко всем необходимым результатам экспериментаторов и создает благоприятную обстановку для мыслительной работы. Хотя теоретический род деятельности не требует дополнительного финансирования, есть одно немаловажное обстоятельство. Каждый учёный снабжается отдельным помещением (как давно сделано на западе). В России многие доктора наук, знаем по собственному опыту, приписаны в общие комнаты и вынуждены искать уединения для эффективного, плодотворного творчества вне стен учреждения, вступая в противоречие с трудовым законодательством, что

часто создает никому не нужную напряженность с администрацией. Власть обязана решить этот вопрос, построив недостающие площадки либо внося коррективы в законы. Теоретическая мысль создает руководящие идеи, без которых наука обречена на блуждание на ощупь, экспериментатор в наблюдениях не сделает ни шага вперед. Отечественная наука славилась передовыми идеями, за ними к нам ехали со всего света. Власть, следуя Принципам, может поддержать славные традиции чисто организационными мерами без серьезных затрат.

Под внедрением научной продукции обычно понимают использование её в промышленном производстве. Это действительно так, но Принципы расширяют понятие внедрение. Нововведение важно для достоверной оценки достижений учёного. Установлен необычный научный факт, о нём вещают в СМИ, преподаватель включил в лекцию, теоретик использовал результаты измерений, экспериментатор следовал руководящей идеи – все это примеры внедрения. Авторы получают сообразное дополнительное моральное и материальное поощрение. Учёный – внедренец ведет научно-организационную работу в составе экспертных комитетов, по внедренческим проектам, дополнительно поощряется пропорционально количеству внедренной продукции.

В реорганизации научных и властных структур главное место отводим созданию экспертных комитетов, которые обеспечивают связь учёных с производством и другими потребителями научной продукции. Власть организует три типа независимой экспертизы, поддерживая конкуренцию в их работе. Научные экспертные комитеты создаются в научных организациях, вузах, РАН; правительственные – в министерствах; общественные – на базе общественных академий. Экспертные комитеты наделены широкими полномочиями, они с лихвой заменяют разные фонды. В отличие от них, комитеты не делают предоплату, а поощряют морально и материально авторов за уже выполненную и внедренную работу.

Подчёркиваем значимость моральных стимулов и гласности авторства. Прообразом может служить продукция культурной сферы – после просмотра фильма, концерта и других программ зритель знакомится с автором идеи, исполнителями и всеми участниками проекта. Промышленная и сельскохозяйственная продукция также должна нести имена своих авторов и изготовителей, участвовать в фестивалях (подобно кинофестивалям) и конкурсах, выделяя лучших.

Внедрение предложенных «Принципов Авиловых» позволит превратить науку в рентабельную производственную сферу, управляемую

властью на пользу всего общества, а не отдельных лиц или научных школ (денег на всех не хватает). Теперь учёный и наука деньги будут частично зарабатывать сами. Принципы в комплексе обеспечивают адресность капиталовложений по разным видам научной деятельности. Разумное воплощение предлагаемой идеи в жизнь хорошо координирует с категориями ноосферного мышления, свойственного постиндустриальной эпохе, в которую вступает цивилизованное человечество.

Будущее человечества – это общество с доминирующей ролью учёных, а это означает повышение ценности интеллекта, моральных стимулов, уход от разрушающего, развращающего влияния денег, отводя им лишь необходимую позицию обменного инструмента, а не сути человеческого общения. Мир учёных должен стать более чистым и задавать тон всему обществу.

**Информация.** В соответствии с предложенными нами правилами, относим данные Принципы к теоретическим разработкам. Работа выполнена в период летнего отпуска. Она основана на собственных наблюдениях за 40 лет нашей научной работы и на созданном экосистемном подходе к анализу природных и общественных явлений. Побуждающим толчком стал призыв Президента РФ Д.А. Медведева к модернизации страны и предложения Премьера РФ В.В. Путина на Общем собрании РАН концентрировать финансовые вложения в науку. Считаем, что использованы эти идеи в предлагаемом проекте. Поскольку экспертные комитеты ещё не созданы, направили наш проект прямо во власть, лично Президенту и Премьеру РФ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение природных водных объектов с помощью созданной авторами комплексной методологии газобиогеохимических исследований имеет давнюю историю с начала 70-х годов прошлого века. За это время в океанах, морях, внутренних водоемах в экспедициях на судах авторами лично, что называется «одними руками», получен массив данных о содержании и распределении целой группы (около 30) биологически активных веществ по различным слоям водной толщи и донных отложений. Результаты выполненных измерений не потеряли значения, и по сей день многие служат основой для долгопериодного мониторинга состояния водных экосистем. Они детально показаны и обсуждены в данной книге и многочисленных публикациях – более трехсот. В этом разделе кратко касаемся основных достижений за весь период.

Разработаны, усовершенствованы и внедрены более 20 методов измерения индивидуальных компонентов. Разработаны, испытаны и использованы около 10 способов отбора и обработки проб. Новые методы и реализующие их технические средства защищены 22 авторскими свидетельствами и патентами. Поставлены многочисленные эксперименты в лабораторных и натурных условиях. В итоге многолетних изучений получено несколько тысяч образцов воды и донных осадков, выполнены десятки тысяч биохимических и газово-геохимических определений. Авторы показали себя целеустремлёнными экспериментаторами и внедренцами, проводя объемную научно-организационную работу по изготовлению опытных образцов приборов, аппаратурному обеспечению натурных наблюдений. Это необходимо подчеркнуть, поскольку только так можно было обеспечить получение достоверной информации, достичь уверенности в правильности выполненных определений. Результаты измерений легли в основу достоверной базы данных информационных систем по исследованию природных процессов и явлений.

Установлено присутствие биологически активных веществ во всех природных объектах, обнаружена чрезвычайная вариабельность их концентраций, отмечено множество взаимных сочетаний и видов распределения во времени и пространстве, Уникальные приборы и методы предопределили получение необычных данных, отнесенных к новым научным фактам. Неизвестные ранее аномально высокие или низкие количества отдельных БАВ и их сочетаний, варианты распространения по водоему потребовали нетрадиционного подхода к установлению их генезиса. Неординарные экспериментальные результаты послужили импульсом для теоретических исследований авторов. Комплекс собственных данных лег в основу достижений сделанного теоретического осмысления и обобщения полученного фактического материала.

Совершен переход от накопительной базы данных к информационной системе, для которой разработаны принципы её построения, обоснован её элементный состав, включая методологические подходы к обработке и анализу комплекса газобиогеохимических данных. Комплексность измеряемых показателей потребовала рассматривать изучаемую акваторию как экосистему со специфическими свойствами водной массы, её географическим положением и геологическим окружением. Так в умах авторов родилась геоэкологическая направленность океанологических исследований, которая со временем сформирова-

ровалась в новое самостоятельное аквагеоэкологическое направление, междисциплинарную науку аквагеоэкологию (синтез экологии, геологии и океанологии). Теоретические разработки авторов позволили сформулировать её базовые понятия как науки – определены цели и задачи, разработаны теоретические основы и методология собственных исследований. Определено место аквагеоэкологии в схеме иерархических связей синтезированных направлений геологии и экологии – она является частью геоэкологии, а в нее входят геоэкология океана и литоакваэкология.

В процессе теоретических изысканий получены новые представления о взаимодействиях во множестве БАВ (их миллионы) – разработана классификация БАВ по степени их геоэкологической значимости, систематизированы и разделены на три типа загрязняющие вещества по биохимическому признаку, – составившие одни из базисных положений теории биохимического состояния природной среды. Определено главное назначение теории – объяснить проявление жизни в природной среде путем выявления причинно-следственных связей, управляющих состоянием и вектором развития разнообразных экосистем.

Теория использует современный теоретический багаж, накопленный многими научными дисциплинами. Однако для повышения достоверности оценок авторы ввели новое понятие «активное живое вещество», предложили его количественный показатель, содержание АТФ, адаптировали к судовым условиям методику его определения (как экспресс-оценку). Также обоснованно выделен комплекс главенствующих газобиогеохимических показателей, предложены экспертные системы в частности 2-х мерная номограмма, на количественном уровне определены границы геоэкологического состояния гидросферы – норма, токсикация, эвтрофирование 1 и 2 степени. Использование основных положений теории, комплекса выявленных количественных критериев оценки состояния экосистемы составляет суть специфической методологии аквагеоэкологии – экосистемного анализа при обработке получаемой и используемой информации.

При изучении природных экосистем примененный экосистемный анализ позволил по-новому оценить их свойства и качества. Четкое разделение на нормальные и аномальные значения компонента обеспечивают методы статистической обработки всего массива данных. Зоны аномального аквагеоэкологического состояния экосистемы выделяем по совокупности аномалий комплекса компонентов. Экосистемный анализ содержания и распределения главенствующих газо-

биогеохимических показателей в аномальных зонах выявляет доминирующие процессы и явления.

Обнаружение неизвестных ранее событий в природе является венцом научных достижений аквагеоэкологических исследований. В результате натурных наблюдений по прямым признакам установлено «Явление существования сообщества морских организмов в глубинных подводных гидротермах» (явление хемолитоавтотрофии) (диплом открытия № 56 с приоритетом от 1976 г.) и «Явление образования взвешенного органического вещества в промежуточных и глубинных водах Мирового океана» (диплом открытия № 92 с приоритетом от 1976 г.). Изучено распространение и условия возникновения явления хемолитоавтотрофии в природной среде. При лабораторном моделировании открыто «Явление перехода в осадочной толще газа в свободную форму из его рассеянного потока» (с приоритетом от 1998 г.).

Экосистемный анализ привел к обнаружению аномальных состояний, которые интерпретируем как результат внешнего воздействия, связанного с процессами в недрах Земли, и как проявление разных форм жизни. Для лучшего понимания внесены новые понятия и термины: благоприятная экосистема, экогеология, жизненность, всежизнь и другие. Найденные аномалии вызваны потоками вещества и энергии, главным образом при нефтегазопроявлениях на границе вода – дно, которые относим к косвенным признакам глубинных процессов. Используя эти косвенные показатели проявления жизни в аномалиях и данные лабораторного моделирования, авторы решили обратные задачи, разработав соответствующие концепции.

Концепция перманентного нефтегазообразования вносит центральную идею возникновения в глубинах осадочной толщи благоприятной экосистемы для развития сообщества микроорганизмов с хемолитоавтотрофным типом обмена веществ. Концепция всежизни выдвигает предположение о повсеместном существовании жизни. Её главный постулат – жизнь подобно материи не возникает ниоткуда и не исчезает, а переходит из одной формы в другую, совершая круговорот в природе.

Изучение природных экосистем методами аквагеоэкологии внесло элемент новизны в практику экспериментальных работ. Были разработаны новые виды технических средств, в том числе – для работы с современных подводных аппаратов. Внедрен принцип разумной достаточности и другие для наполнения информационной системы по изучаемому объекту, что позволило оптимизировать число измеряемых

компонентов, ввести этапность в методы тестирования водоемов. Разработанные методологические основы аквагеоэкологической экспертизы обеспечили нормирование и прогнозирование состояния экосистем по комплексу количественных газобиогеохимических критериев, в частности для разделения техногенного и естественного воздействия. Получаемые экспертные оценки обосновывают практические рекомендации по рациональному природопользованию: предложено организовать международный заповедник в центральных частях океанов для сохранения генофонда планеты, считать полезным откачивать углеводороды со дна Чёрного моря, уменьшить техногенную нагрузку на внутренние водоемы и другое.. В свою очередь экспертные оценки, геоэкологическое районирование водного объекта акцентируют теоретические исследования на изучение причинно-следственных связей в процессах, формирующих выявленные аномалии.

Применение методологических подходов аквагеоэкологии превратили изучение природных экосистем в единый процесс чередующихся экспериментов и теоретических обобщений, наиболее эффективный в познании природы. Новые факты инициируют творческую мысль. Сделанные авторами научные выводы и открытия, предложенные концепции содержат руководящие идеи для последующих экспериментов. Во всяком случае, после нашей публикации материалов по обоим открытиям 1976 г., американские учёные (эту статью с нашей методологией подарили им в Москве на советско-американском симпозиуме, который проходил в нашем Институте), поставив подобные натурные эксперименты, подтвердили их, спустя 6–8 лет.

Выполненные исследования природных экосистем убедили, что современной науке известны прямые признаки проявления в экосистеме лишь белковой формы жизни (наличие АТФ и др.), тогда как другие её формы обнаруживаются по косвенным проявлениям. Многие природные события станут понятнее, если будет решена задача количественных измерений главенствующих показателей других форм живой материи новыми методами. Это этапный вопрос естествознания.

Благодарим за внимание.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Авилов В.И. Герметичный пробоотборник-дегазатор // Океанология. М., 1976. Т. 16. ВЫП. 1. С. 170–173.
2. Авилов В.И. Разработка технических средств и методов газовой геохимических исследований в акваториях. М.: ИОАН, 1985. 87 с.
3. Авилов В.И. Технические средства и методы газобиогеохимических исследований океана: Диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук. М.: РЭФИА–ИО РАН, 1997. 78 с.
4. Авилов В.И., Авилова С.Д. Биологически активные вещества как дополнительный критерий при изучении нефтегазонасности акваторий // V Всесоюзный биохимический съезд. Киев, январь 1986. М.: Наука. Т. 2. С. 140.
5. Авилов В.И., Авилова С.Д. Газобиогеохимические исследования в западной части Чёрного моря // Геохимия. М. 1987. № 1. С. 121–128.
6. Авилов В.И., Авилова С.Д. Карта зон в Мировом океане, уязвимых от загрязнения // Всесоюзная конференция «Экологические проблемы охраны живой природы». Москва, 1990. Т. 2. С. 77.
7. Авилов В.И., Авилова С.Д. Активное живое вещество и ферментная активность в Мировом океане // Третье Всесоюзное Совещание по геохимии углерода. М.: ГЕОХИ, 1991. С. 122.
8. Авилов В.И., Авилова С.Д. Экологическое состояние Балтийского моря // «ЭКОБАЛТИКА-91». Материалы конференции. Калининград, 1991. С. 44–45.
9. Авилов В.И., Авилова С.Д. Разгадана ли тайна океанических конкреций? // Наука в России. М., 1993. № 1. С. 82–83.
10. Авилов В.И., Авилова С.Д. Способ исследования проб водной среды и устройство для его осуществления // Патент. 1995. № 2051355. Бюл. № 36.
11. Авилов В.И., Авилова С.Д. Эти загадочные черноморские осадки // Наука в России. М., 1995. № 2. С. 66–70.
12. Авилов В.И., Авилова С.Д. Система газобиогеохимических критериев для экспертных оценок в аквагеоэкологии // XI Межд. Школа морской геологии. М., 1997. Т. 1. С. 68.
13. Авилов В.И., Авилова С.Д. Принципы построения информационной системы для принятия решения в аквагеоэкологии // III Межд. научн.-технич. Конф. «Современные методы и средства». М. 1997а. С. 72.
14. Авилов В.И., Авилова С.Д. Моделирование нефтегазообразования в акваториях // Международный Форум по проблемам науки, техники и образования. М. 1998. С. 100.
15. Авилов В.И., Авилова С.Д. Газобиогеохимические показатели в оценке геоэкологического состояния вод Тихого и Атлантического океанов // Доклады Академии Наук. М., 1999а. Т. 369. № 6. С. 802–805.

16. Авилов В.И., Авилова С.Д. Экспериментальное исследование рассеянных потоков природных газов // Доклады Академии Наук. М. 1999. Т. 369. № 5. С. 664–666.
17. Авилов В.И., Авилова С.Д. Два рейса – два океана // Наука в России. М., 2000. № 3. С. 76–81.
18. Авилов В.И., Авилова С.Д. Жизнь на океанском дне // Наука в России. М., 2001. № 3. С. 56–61.
19. Авилов В.И., Авилова С.Д. Проявление флюидных потоков со дна в глубоководной части Чёрного моря // Доклады Академии Наук. М., 2001а. Т. 378. № 4. С. 522–525.
20. Авилов В.И., Авилова С.Д. Хемолитоавтотрофия в сфере проблем нефтегазоносности акваторий // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. М., 2002. № 10. С. 7–9.
21. Авилов В.И., Авилова С.Д. Загадки Чёрного моря // Наука в России. М., 2002а. № 6. С. 50–58.
22. Авилов В.И., Авилова С.Д. Потоки газов в придонной зоне глубоководной части океана // Доклады Академии Наук. М., 2003. Т. 389. № 4. С. 519–523.
23. Авилов В.И., Авилова С.Д. Эль-Ниньо – природное явление глобального масштаба // Труды Международного Форума по проблемам науки, техники и образования. М., 2003а. С. 86.
24. Авилов В.И., Авилова С.Д. Явление хемолитоавтотрофии в нефтегазовой парадигме // Генезис нефти и газа. М.: ГЕОС, 2003б. С. 8–9.
25. Авилов В.И., Авилова С.Д. Геоэкологическое состояние Финского залива // Труды Международного Форума по проблемам науки, техники и образования. М., 2005. Т. 3. С. 101.
26. Авилов В.И., Авилова С.Д. Газогидраты – готовый природный источник энергии // Четвертый Всероссийский энергетический Форум. ТЭК России в XXI веке. М. Кремль. 2006. URL, [www.iprr.ru](http://www.iprr.ru).
27. Авилов В.И., Авилова С.Д. Нефтегазовое направление в геоэкологии океана // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. М.: ВНИИОЭНГ, 2007. № 6. С. 56–59.
28. Авилов В.И., Авилова С.Д. Глобальные аспекты аквагеоэкологии // Южно-Российский вестник геологии, географии и глобальной энергии. Астрахань, 2007а. № 1 (25). С. 3–11.
29. Авилов В.И., Авилова С.Д. Прогнозирование геоэкологического состояния Чёрного моря // Сборник статей IV Международной научно-технической конференции «Наука, образование, производство в решении экологических проблем» (Экология-2007). Уфа, 2007б. С. 84–88.
30. Авилов В.И., Авилова С.Д. Геоэкологические риски отдельных районов Балтийского моря // Там же, 2007в. С. 374–378.

31. Авилов В.И., Авилова С.Д. Изучение геоэкологической обстановки вблизи затонувших объектов в Балтийском море // Там же. (Экология–2008). 2008в. С. 58–68.
32. Авилов В.И., Авилова С.Д. Оценка генезиса углеводородов подводных вулканов, газогидратов, газовых факелов Чёрного моря по газобиогеохимическим показателям // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. Киев: Нац. Академия Наук Украины, 2007. № 2. С. 67–85.
33. Авилов, В.И., Авилова С.Д. Геоэкологические риски для подводных трубопроводов // Пятый Всероссийский энергетический Форум. ТЭК России в XXI веке. М. Кремль, 2007а. URL, [www.iprg.ru](http://www.iprg.ru).
34. Авилов В.И., Авилова С.Д. Газобиогеохимические аспекты проблем нефтегазообразования // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. М.: ВНИИОЭНГ, 2008а. № 6. С. 4–8.
35. Авилов В.И., Авилова С.Д. Теоретические основы аквагеоэкологии. М.: «ВИКТАН-полиграф», 2008. 120 с.
36. Авилов В.И., Авилова С.Д. Участие науки в нефтегазовой отрасли // Шестой Всероссийский Энергетический Форум «ТЭК России в XXI веке». Москва. Кремль. 2008б. URL, [www.iprg.ru](http://www.iprg.ru).
37. Авилов В.И., Авилова С.Д. Явление хемолитоавтотрофии в нефтегазообразовании // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. Киев: Нац. Академия Наук Украины, 2008. № 1. С. 70–78.
38. Авилов В.И., Авилова С.Д. Газобиогеохимические исследования в придонной среде акваторий // Доклады Академии Наук. М., 2009. Т. 427. № 6. С. 821–825.
39. Авилов В.И., Авилова С.Д. Основные направления синтеза геологии с экологией // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. М.: ВНИИОЭНГ, 2009а. №. 9. С. 24–29.
40. Авилов В.И., Авилова С.Д. Наука геоэкология в морских исследованиях // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. Киев: Нац. Академия Наук Украины, 2009б. №. 3. С. 5–24.
41. Авилов В.И., Авилова С.Д. Планетарные аквагеоэкологические процессы // Геология, география и глобальная энергия. Астрахань, 2009в.
42. Авилов В.И., Авилова С.Д. Информационная система аквагеоэкологии. М.: «Прима-Пресс», 2009д. 142 с.
43. Авилов В.И., Авилова С.Д. Идентификация нефтегазопроявлений в экосистемах // Труды Межд. Форума по проблемам науки, техники и образования. Москва. Декабрь. 2009е. Т. 3. С. 70–71.
44. Авилов В.И., Авилова С.Д. Формы существования живой материи // Там же. 2009ж. С. 72–73.
45. Авилов В.И., Авилова С.Д. Роль отдельных БАВ в образовании углеводородов // Там же. 2009з. С. 74–75.

46. Авилов В.И., Авилова С.Д. Концептуальный подход к проблеме образования углеводородов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. М.: ВНИИОЭНГ, 2010. №. 8. С. 16–20.
47. Авилов В.И., С.Д.Авилова Экосистемный анализ концепций нефтегазообразования // Геология и полезные ископаемые Мирового океана Киев: Нац. Академия Наук Украины, 2010а. №. 1. С. 94–102.
48. Авилов В.И., Авилова С.Д. Геоэкологические подходы к экспертизе природных экосистем // Геология, география и глобальная энергия. Астрахань, 2010б. №. 3. С. 4–16.
49. Авилов В.И., Авилова С.Д. Концепция перманентного нефтегазообразования // В трудах «Дегазация Земли: геотектоника, геодинамика, геофлюиды, нефть и газ, углеводороды и жизнь». Всерос. конф. с межд. участием. Москва. 19–22 октября. 2010в. С. 11–14.
50. Авилов В.И., Авилова С.Д. Тенденция развития нефтегазовой науки // Там же. 2010. С. 14–18.
51. Авилов В.И., Авилова С.Д. Экосистемный подход к проблеме нефтегазообразования // Сборник статей 7-й Междунар. конф. «Наука, образование, производство в решении экологических проблем» (Экология-2010). Уфа, 2010д. Т. 1. С. 307–329.
52. Авилов В.И., Авилова С.Д. Геоэкологическая экспертиза подмосковных водоёмов // Там же. 2010е. С. 329–342.
53. Авилов В.И., Авилова С.Д. Прогресс теоретических разработок в нефтегазовой науке // Международный энергетический Форум «ТЭК России в XXI веке». Москва. ЦВЗ. «Манеж». 2010ж. URL, [www.irpg.ru](http://www.irpg.ru).
54. Авилов В.И., Авилова С.Д. Геоэкологическая экспертиза эксплуатируемых водных объектов // Там же. 2010з.
55. Авилов В.И., Авилова С.Д., Пака В.Т. Газобиогеохимические исследования отдельных регионов Балтийского моря // Доклады Академии Наук. М., 2008. Т. 422. № 1. С. 81–84.
56. Авилов В.И., Геодекян А.А. и др. Грунтозаборник // Авторское свидетельство № 517828. Бюллетень № 22. 1976.
57. Авилов В.И., Гуськов В.И. и др. Устройство для отбора проб жидкости. // Авторское свидетельство № 463891. Бюллетень № 10. 1975.
58. Авилов В.И., Троцюк В.Я. Усовершенствование средств получения герметичных проб донных осадков // Океанология. М., 1980. Т. 20. Вып. 3. С. 558–563.
59. Авилова С.Д. Биологически активные вещества как возможная оценка состояния водной среды // II Всесоюзный съезд океанологов. Декабрь. Ялта. Севастополь, 1982. Вып. 3. Часть. 2. С. 142–143.
60. Авилова С.Д. Мочевина в водах северо-западной части Индийского океана // Океанология. 1983. Т. 23. Вып. 4. С. 588–593.

61. Авилова С.Д. Биологически активные вещества (АТФ и щелочная фосфомоноэстераза) // Влияние разлива мазута на экосистему Балтийского моря. Вильнюс: Отдел географии АН Лит. СССР, 1984. С. 118–125.
62. Авилова С.Д. Некоторая биохимическая характеристика придонных вод в северо-западной части Индийского океана // Океанология. 1984а. Т. 24. Вып. 3. С. 460–463.
63. Авилова С.Д. Аденозинтрифосфат в водах Перуанского апвеллинга // Океанология. 1984б. Т. 24. Вып. 4. С. 616–623.
64. Авилова С.Д. Биохимические методы в оценке состояния водной среды и осадков // V Всесоюзный биохимический съезд. Киев. Январь. 1986. М.: Наука. Т. 2. С. 73.
65. Авилова С.Д. Биологически активные вещества как индикаторы биохимического состояния морской среды // Диссертация на соискание учёной степени доктора биологических наук. М. 1990. 453 с.
66. Авилова С.Д., Авилов В.И. Биохимическая индикация для нормирования экологического состояния водных объектов. М.: ВАСХНИЛ, 1990. 31 с.
67. Авилова С.Д., Авилов В.И. Оценка экологического состояния водных объектов по биохимическим показателям (методические указания). М.: РЭФИА, 1997. 35 с.
68. Бондаренко Н.А. Пограничные структуры платформ Черноморско-Каспийского региона: Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. Саратов. КубГУ, 2009. 37 с.
69. Вернадский В.И. Живое вещество. М.: Наука, 1978. 358 с.
70. Галимов Э.М. Что такое жизнь? Вместо введения // Проблемы зарождения и эволюции биосферы / Под ред. Академика РАН Э.М. Галимова. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2008. С. 9–19.
71. Галимов Э.М., Рыженко Б.Н. Разрешение K/Na-биогеохимического парадокса // Доклады Академии Наук. М., 2008. Т. 421. № 3. С. 375–377.
72. Галимов Э.М., Шабаетова И.Ю. Изотопный состав углерода  $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}_2$  в осадочных отложениях гватемальского желоба (84-я экспедиция проекта глубоководного бурения) // Геохимия. М., 1985. № 6. С. 850–857.
73. Геодекян А.А., Авилов В.И., Авилова С.Д. Газобиогеохимические исследования в осадках Северных морей // Доклады Академии Наук. М., 1986. Т. 289. № 5. С. 1217–1220.
74. Геодекян А.А., Авилов В.И., Авилова С.Д. Газобиогеохимические характеристики придонной воды и современных осадков западного сектора Чёрного моря // Доклады Академии Наук. М., 1986а. Т. 289. № 4. С. 966–970.
75. Геодекян А.А., Авилов В.И., Авилова С.Д. Геоэкологический мониторинг морской среды // Доклады Академии Наук. М., 1990. Т. 311. № 1. С. 183–188.

76. Геодекян А.А., Авилов В.И., Авилова С.Д. Геоэкологические исследования Байкала // Доклады Академии Наук. М., 1990а. Т. 310. № 6. С. 1442–1446.
77. Геодекян А.А., Авилов В.И. и др. Газы придонных вод северо-западной части Индийского океана // Доклады Академии Наук. М., 1977. Т. 237. № 6. С. 1483–1485.
78. Геодекян А.А., Троцюк В.Я., Авилов В.И., Верховская З.И. Углеводородные газы // Океанология. Химия океана. Т. 1. М.: Наука, 1979. С. 164–175.
79. Геодекян А.А., Авилов В.И., Авилова С.Д., Троцюк В.Я. Газобиогеохимические исследования газовых кратеров и геоакустических аномалий Балтийского моря // Доклады Академии Наук. М., 1988. Т. 299. № 2. С. 449–453.
80. Геодекян А.А., Авилов В.И., Авилова С.Д., и др. Геоэкологическое состояние отдельных водных объектов присахалинского шельфа // Доклады Академии Наук. М., 1991. Т. 321. № 4. С. 810–813.
81. Геодекян А.А., Авилов В.И., Авилова С.Д. Геоэкологические исследования и прогнозирование экологического состояния природной среды // Доклады Академии Наук. М., 1992. Т. 324. № 2. С. 415–419.
82. Геодекян А.А., Авилов В.И., Авилова С.Д. Океан глазами геоэкологов // Наука в России. М., 1993. № 1. С. 30–36.
83. Геодекян А.А., Авилов В.И., Авилова С.Д. Геоэкологический мониторинг водных бассейнов сахалинского шельфа // Доклады Академии Наук. М., 1994. Т. 334. № 1. С. 83–86.
84. Геодекян А.А., Авилов В.И., Авилова С.Д. Газобиогеохимические исследования в водах Атлантического океана // Доклады Академии Наук. М., 1997. Т. 353. № 4. С. 546–549.
85. Геодекян А.А., Авилов В.И., Троцюк В.Я. Интерпретация результатов газово-геохимических исследований Охотского моря // Океанология. М., 1977. Т. 17. Вып. 2. С. 237–242.
86. Геодекян А.А., Троцюк В.Я., Авилов В.И. Углеводородные газы в воде и донных осадках – возможные индикаторы очагов нефтегазообразования в осадочных недрах Мирового океана // Генетические предпосылки нефтегазоносности Мирового океана. М.: ИО АН, 1978. С. 98–119.
87. Геодекян А.А., Шнюков Е.Ф., Авилов В.И., Авилова С.Д. Газобиогеохимические исследования в Чёрном море в районе Крыма // Доклады Академии Наук. М., 1995. Т. 342. № 5. С. 667–671.
88. Дегазация Земли и генезис углеводородных флюидов и месторождений / Отв. редакторы А.Н. Дмитриевский, Б.М. Валяев. М.: ГЕОС, 2002. 370 с.
89. Красногорская Н.Н., Елизарьев А.Н., Фашевская Т.Б. Комплексная оценка антропогенной деградации речных экосистем. Количественный аспект. Уфа: «Полиграфсервис», 2008. 290 с.

90. Миркина (Авилова) С.Д. Выделение и биохимическая характеристика растворенного органического вещества природных вод // Океанология. М. 1977. Т. 17. Вып. 4. С. 629–637.
91. Миркина (Авилова) С.Д. Биологически активные соединения в водах северо-западной части Индийского океана // 1 Съезд советских океанологов. Москва. М.: Наука, 1977а. Вып. II. С. 190–191.
92. Миркина (Авилова) С.Д. Ферментная активность и АТФ в водах северо-западной части Индийского океана // Океанология. М., 1979. Т. 19. Вып. 4. С. 517–521.
93. Миркина (Авилова) С.Д. Биохимическая характеристика вод тропической зоны восточной части Тихого океана // Биология моря. 1982. № 3. С. 51–57.
94. Никитин А.Н., Ивченко Б.П., Несмеянов И.А., Несмеянов А.А., Несмеянов А.Н., Несмеянов Д.А., Несмеянов П.А., Шумейко Н.С. Закономерная связь между состоянием внутренней среды организмов биологических систем и энергетическими параметрами окружающей среды. Диплом открытия № 307.
95. Никитин А.Н., Санаев В.Г., Кузнецов О.Л., Давыдов В.Ф. Явление возникновения поляризационных аномалий электромагнитного поля над очагом землетрясения. Диплом открытия № 336.
96. Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир, 1975. 740 с.
97. Проблемы зарождения и эволюции биосферы. / Под ред. Академика РАН Э.М. Галимова. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2008. 552 с.
98. Снакин В.В., Мельчинко В.Е., Бутовский Р.О. и др. Оценка состояния и устойчивости экосистем. М.: ВНИИприрода, 1992. 127 с.
99. Статистика природных катастроф за 2006 год // Геориск. – М., 2008. № 1. С. 63 – 64.
100. Толковый словарь по охране природы / Под ред. д.б.н. В.В. Снакина. М.: Экология, 1995. 191 с.
101. Тролль К. Ландшафтная экология (геоэкология) и биогеоценология. Терминологическое исследование // Известия АН СССР. Серия геогр. 1972. № 3. С. 114–120.
102. Трофимов В.Т. Содержание и соотношение экологической геологии и геологии окружающей среды // Геология, география и глобальная энергия. Астрахань, 2008. № 1 (28). С. 3–19.
103. Флоренский К.П. В.И. Вернадский – натуралист, естествоиспытатель // Бюл. Моск. Об-ва Испыт. Природы. Отд. Геол. 1963. Т. XXXVIII (3). С. 111–119.
104. Шнюков Е.Ф., Авилов В.И., Авилова С.Д. Газобиогеохимические исследования // Геологические исследования Чёрного моря. Киев, 2006. С. 135–155.
105. Шнюков Е.Ф., Авилов В.И., Авилова С.Д. Происхождение углеводородов, подводных вулканов, газогидратов, газовых факелов Чёрного моря

- по газобиогеохимическим показателям // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. М., 2007. № 8. С. 22–31.
106. Яковец Ю.В. Циклы. Кризисы. Прогнозы. М.: Наука, 1999.
107. Avilov V.I., Avilova S.D., Braginsky A.P., Pavlovsky B.R. Scientific aspects of the problem of ecological ocean reserve creation. PACON. 1999 // Honolulu. Hawaii. Proceedings. P. 484–489.
108. Avilova S.D., Avilov V.I. Biological active matters as indicator of the biochemical state of environment // 9-th International symposium on environmental biogeochemistry: Abstracts. Moscow, 1989. P. 90.
109. Avilov V.I., Avilova S.D. Near-bottom surrounding of gas crater areas in the Baltic sea // Там же. Moscow, 1989. P. 89.
110. Avilov V.I., Avilova S.D. Gasbiochemical research of Baikal // Там же. Moscow, 1989a. P. 99.
111. Avilov V.I., Avilova S.D. Biochemical state of Baikal ecosystem is similar to that of the ocean // The first Vereshchagin Baikal informational conference. Irkutsk, 1989b. P. 46.
112. Avilov V.I., Avilova S.D. Biochemical state of the Pacific ocean coral reefs environment // PACON. 2000. Honolulu Hawaii. P. 168.
113. Dmitrievsky A.N., Avilov V.I., Avilova S.D. Expert estimation of water environment ecological state at oil-gas fields development. PACON. 1999 // Moscow, 1999. Abstracts. P. 265.
114. Lopez-Garcia P., Rodriguez-Valera F, Pedros-Alio C. and Moreira D. Unexpected diversity of small eukaryotes in deep-sea Antarctic plankton // Nature. 2001. Vol. 409. P. 603–607.
115. Moon-van der Staay S.Y., De Wachter R., Vaulot. Oceanic 18S rDNA sequences from picoplankton reveal unsuspected eukaryotic diversity // Nature. 2001. Vol. 409. P. 607–610.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------|-----|
| ВВЕДЕНИЕ.....                                                | 3   |
| 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ.....                            | 6   |
| 1.1. Методология аквагеоэкологических исследований.....      | 6   |
| 1.2. Развитие теоретических основ.....                       | 14  |
| 1.3. Особенности информационной системы аквагеоэкологии..... | 26  |
| 1.4. Концепция экосистемного взаимодействия.....             | 32  |
| 2. АКВАГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА ЭКОСИСТЕМ...              | 47  |
| 2.1. Технология аквагеоэкологических исследований.....       | 51  |
| 2.2. Нормальное и аномальное состояние экосистемы.....       | 56  |
| 2.3. Аквагеоэкологическое районирование.....                 | 74  |
| 3. ЯВЛЕНИЯ И ПРОЦЕССЫ В ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ..              | 89  |
| 3.1. Природное и техногенное воздействие.....                | 91  |
| 3.2. Приграничные взаимодействия.....                        | 107 |
| 3.3. Явления в единой экосистеме океана.....                 | 134 |
| 3.4. Происхождение нефти и газа.....                         | 147 |
| 3.5. Процессы в антропоэкосистеме «учёный – наука – власть»  | 161 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....                                              | 170 |
| ЛИТЕРАТУРА.....                                              | 175 |

**Авилов Владимир Игоревич** – главный научный сотрудник Института океанологии им. П.П. Ширшова Российской Академии Наук, доктор технических наук, академик РАЕН.

**Авилова Светлана Давыдовна** – главный научный сотрудник Института океанологии им. П.П. Ширшова Российской Академии Наук, доктор биологических наук, академик РАЕН.

## **ИЗУЧЕНИЕ ЭКОСИСТЕМ В АКВАГЕОЭКОЛОГИИ**

Компьютерная верстка *О.Ф. Корсунский*  
Корректор *Е.П. Бережкова*

Подписано в печать 25.10.2010. Формат 60х90/16  
Бумага офсетная № 1. Заказ № 856  
Объем 11,5 печ. л.

Тираж 300 экз.  
Издательство «Прима-Пресс»  
121170, Москва, Кутузовский пр., 8