

УДК 551.35:504.42(26)

© В.И. Авилов, С.Д. Авилова, 2009

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

НАУКА ГЕОЭКОЛОГИЯ В МОРСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Рассмотрены современные научные направления, образованные в результате синтеза геологии и экологии. Предложена иерархическая схема их распределения на методологической основе. Систематизация эффективна в познании природных явлений. Своеобразие подходов в изучении процессов нефтегазообразования и нефтегазонакопления разрешает теоретические проблемы в нефтегазовой геологии. Открыто явление образования органического вещества в промежуточных и глубинных водах океана.

Место геоэкологии в системе научных отраслей и направлений

Вторая половина XX века ознаменовалась интенсивным расширением собственно науки «экология» и её вторжением в различные области знаний. У человеческого общества по мере экономического прогресса стали всё более востребоваться знания о результатах возможного техногенного воздействия на быт и среду обитания биоты, включая человека, то есть то, чем занимается экология. Возникли такие научные направления, как прикладная экология, инженерная экология, морская инженерная геология, ландшафтная экология, экологическая безопасность, экологическое мышление и другие. Веяния не обошли стороной и геологию, поскольку при оценке техногенного воздействия оказалось, что многие геологические события по масштабу распространения и силе воздействия соизмеримы с техногенными нагрузками. Изменилось мнение о месте геологической науки в жизни общества. Её влияние заметно расширилось и стало выходить за рамки узкоспециализированных задач по обеспечению минеральными ресурсами. Стали привлекать научные материалы, добытые традиционными геологическими науками, для решения практических задач по использованию окружающей среды на благо человека. Развился интерес к геологическим, в том числе и планетарным, процессам и явлениям в плане энергетического, экономического, интеллектуального и любого иного рода воздействия на жизнь каждого человека. Факт вызванного общественной необходимостью определенного взаимопроникновения геологии и экологии состоялся.

В настоящее время на рубеже тысячелетий многие исследователи констатируют переход современной цивилизации из индустриальной эпохи в постиндустриальную, которую всё чаще определяют как эпоху ноосферных знаний. Основанием для такого вывода служит отмечаемый кризис в развитии традиционных, «чистых» наук, и наоборот – прогресс междисциплинарных направлений. Ноосферная методология, внедряющаяся в мышление и познание, выдвигает на передний план углубленное изучение природных явлений и механизмов их взаимодействия с интеллектуальной и

другими сферами деятельности человечества. Ноосферное знание предполагает всеобъемлющее обновление существующих представлений в базисных разделах всех наук. Создание более совершенной парадигмы объединенного направления – синтеза геологии с экологией находится в русле тенденций развития современной науки. В этом смысле первостепенной задачей видим рассмотрение содержания существующих разновидностей общего геолого-экологического направления, определение их места в общей схеме взаимоподчиненности и взаимосвязи.

Актуальность этой задачи обусловлена высокой значимостью прикладных результатов объединенных геологических и экологических научных исследований по различным направлениям – с одной стороны, с другой – издержками «бурного роста» нового синтезированного направления, его отставанием в формировании собственной фактологической и теоретико-методологической базы. Наиболее заметно отсутствие единой терминологической основы. Зачастую содержание используемых понятий страдает неопределенностью, растекаясь от определения узких конкретных задач и объектов до безликих, широких толкований, не выделяющих главных свойств и качеств каждого направления. Строгость понятий вырабатывается со временем как плод всестороннего обсуждения в научной среде. Рожденное на стыке наук, объединенное геолого-экологическое направление проходит этот сложный период, о чем свидетельствуют многочисленные публикации на эту тему [3, 12, 17, 21, 23, 29, 30, 32 и др.]. Считаем возможным, используя накопленный багаж знаний более чем за 30 лет наших натурных наблюдений в области морской геоэкологии, внести вклад в решение обсуждаемой проблемы с исторических, теоретических и экспериментальных позиций. В этом цель данной работы.

Наряду с практической необходимостью, зарождение геолого-экологического направления проходило также под влиянием прогресса научной мысли. Оправдалось представление, что появление и внедрение в практику исследований новых методологий, технических средств и методов зачастую приводит к рождению нового научного направления, особенно на стыке наук. Подобное произошло с геоэкологией. Методология в широком смысле слова объединяет общие философские установки и принципиальные подходы, которые определяют исходные ориентиры и направленность конкретных научно-практических исследований в выбранной области познания Мира. Теоретические предпосылки в области геоэкологии, можно с уверенностью заметить, заложены в учении Вернадского о живом веществе в 20-х годах прошлого столетия. В той или иной степени его работы послужили толчком к разработке новых методов исследования в нефтегазовой геологии, которые могли привести к становлению нового направления – геоэкологии, но по ряду объективных причин их объединение не состоялось, хотя эти идеи постоянно витали в атмосфере научных знаний, периодически находя своих последователей. Так в тех же 20-х годах основоположник газовой съемки В.А. Соколов впервые предложил проводить измерение углеводородных газов для индикации залежи нефти и газа. Аналогичный способ запатентовал G. Laubmeyer в 1932 г. Микробиологическую съемку по индикаторной микрофлоре также для поиска

нефтегазовых скоплений предложил Г.А. Могилевский в 1937 г. Из-за небеспеченности исследований должной техникой и аналитической аппаратурой и разрозненности этих изысканий не произошло совместного обобщения полученного научного материала.

В дальнейшем методологии геологии и экологии соединились при изучении как сухопутных, так и морских объектов, например, в ландшафтной экологии и морской геоэкологии. Причем сама экология претерпела заметные изменения в процессе своего становления и совершила стремительный взлет. Термин экология долгое время применяли для обозначения фундаментального раздела биологии о взаимоотношениях между организмами (видами), а также средой их обитания, то есть рассматривалась в единстве некая система. Системный подход отражен в многочисленных публикациях, из которых выделим фундаментальный труд Ю. Одум [26]. Во главу угла экологии поставлена экосистема. Она – главный объект исследования общей экологии: экосистема, образованная сообществами организмов различной сложности вместе с взаимодействующим с ними биотопом – местообитанием. В настоящее время экология стала самостоятельной наукой. Существует разнообразие трактовок как самого термина (наука, которая изучает все живущие организмы и все функциональные процессы, делающие среду пригодной для жизни; комплекс наук о природе и взаимодействии природы и общества и другое), так и его производных (экологические проблемы, экологически устойчивое развитие, экологическое мышление и т.п.).

Предлагаем использовать широкую трактовку: экология – наука о взаимодействии и взаимосвязи живых организмов со средой их обитания.

Прообразом морской геоэкологии можно назвать первые шаги по объединению морских микробиологических и геолого-геохимических исследований, и это происходило опять же в связи с работами по поиску и разведке нефтегазовых месторождений теперь уже на морском шельфе. Традиционные методы оказались непригодными для прорывных достижений. Воплощение экосистемного подхода нашло в разработке новой технологии проведения комплексных газобиогеохимических исследований [2, 6, 17], положивших начало геоэкологическому направлению в морских работах [9, 18, 19, 20, 22]. Ландшафтная экология видоизменялась вслед за эволюцией экологии. Представление о ландшафте вышло за рамки раздела описательной географии и рассматривается в масштабах глобальных, региональных или локальных экосистем как результат внутрисистемных эковзаимодействий [28].

Исторический экскурс приводит к необходимым выводам. Причиной синтеза геологии и экологии стали как общественно-экономическая необходимость, так и поступательное развитие науки в целом. Синтез протекал на фоне динамичного развития основных (геология и экология) и сопутствующих отраслей знаний. Стержнем объединенного направления выбран системный подход, его основные положения широко используются в различных научных направлениях, а истоки можно найти уже в трудах ранних философов. Длительная эволюция, многообразие объектов и методов исследования наполнили геолого-экологическое направление большим числом заимствованных и вновь предложенных терминов. Это нормально, но для

дальнейшего успешного развития необходимо выбрать наиболее устоявшиеся термины. Начать следует с рассмотрения современных понятий и формулировок.

К настоящему времени возникли разнообразные подходы к совместному использованию геологии и экологии в решении теоретических и прикладных задач, которые с нашей точки зрения постепенно оформились в три междисциплинарные направления: геология окружающей среды, экологическая геология (экогеология) и геологическая экология (геоэкология). Пути их становления часто пересекались, но по современным представлениям они достаточно самостоятельны, хотя некоторые исследователи продолжают их отождествлять, из-за общих геологических или экологических корней.

Геологии окружающей среды (Environmental geology) уделяется большое внимание на Западе [16, 32]. В сферу её интересов вошли вопросы из области минералогии, гидрогеологии, инженерной геологии, экономической геологии, имеющие отношение к освоению ресурсов, прогнозированию и разработке эффективного использования земных пространств, например: строительство зданий, транспортных сооружений и коммуникаций, утилизация отходов и другое. По мнению В.Т. Трофимова [29] «геологию окружающей среды следует определить так: это общеобразовательная, описательная область геологии, призванная охарактеризовать применение геологических знаний к проблемам окружающей среды, взаимоотношению между обществом и геологической средой». В ней используются понятия и положения традиционных геологических наук. Геология окружающей среды антропоцентрически ориентирована, акцентируясь на воздействии окружающей среды на человека. Её следует считать областью геологии [29].

Экологическая геология (экогеология) по объекту исследования, по собственной теоретической экологически направленной базе значительно шире по сравнению с геологией окружающей среды. В настоящее время «экологическая геология рассматривается как новое направление геологических наук, изучающее экологические свойства и функции литосферы, закономерности их формирования и пространственно-временного изменения под влиянием природных и техногенных причин в связи с жизнью и деятельностью биоты, и прежде всего человека» [29]. Она исследует эколого-геологические системы типа литосфера – биота, литосфера – инженерное сооружение – биота и функциональные связи в них с позиции влияния геологических условий на биоту, включая человека.

Обе рассмотренные области знаний существенно различаются, как отмечено выше, по основным позициям. Однако кроме различий геология окружающей среды и экогеология имеют принципиальное сходство. Они оперируют геологической информацией, полученной с использованием методов традиционных геологических наук – геофизики, геохимии, гидрогеологии, сейсмологии, инженерной геологии и других. Их истоком является геология, а сами они – две их ветви. В методологии преобладает идентичный геосистемный подход – исследуют совокупность элементов земной коры и природных явлений, находящихся в отношениях и связях между собой и образующих определенную целостность, единство, именуемое

геосистемой. Делается акцент на изучение одной из двух составляющих экосистемы – абиотической. Лишь затем изучают влияние геосистемы на биоту, включая человека. В геоэкологии преобладает экосистемный подход, а не геосистемный.

Геоэкологию часто рассматривали как раздел геологии. Постепенно в центральной концепции геоэкологии стал преобладать экологический аспект, что и отражено в названии – геологическая экология. По современным представлениям геоэкология – это новое направление экологии, а не геологии. Базовый принцип и подход геоэкологии вытекает из постулатов экологии. К настоящему времени сложилось наиболее общее представление об экологии как о науке о взаимодействии и взаимосвязи живых организмов со средой их обитания [10, 14, 15]. В число главных понятий экологии входит экосистема, которая трактуется как совокупность растительных и животных организмов, среды их обитания, находящихся во взаимодействии и взаимосвязи. Вместе с тем геоэкология сужает сферу интересов общей экологии, ограничивая объект экологических исследований геосистемой. Соответственно – геологическая экология (геоэкология) определяется как самостоятельное направление экологии, которое изучает свойства и функции биоты в пределах геосистемы, их формирование и изменение под воздействием условий среды обитания. Геоэкология исследует биотическую составляющую экосистемы, влияние геологических факторов на её состояние, а также их взаимодействие. Последнее предполагает наличие сложных встречно направленных процессов на организменном и клеточном уровне с внешней средой. Большинство подобных превращений протекает в водной среде, и этот факт инициировал рождение обширного раздела геоэкологии – аквагеоэкологии [3, 4, 5, 12].

Геоэкологию и аквагеоэкологию отличает экосистемный подход. При исследовании любого природного явления выделяем экосистему, в границах которой заметно влияние этого явления, изучаем свойства биоты и по её функциональному состоянию определяем главенствующие элементы геосистемы, формирующие это состояние, а также получаем количественные характеристики исследуемого явления. Для более достоверной оценки в экосистеме обе её составляющие (биотическая и абиотическая) рассматривают во взаимовлиянии и взаимосвязи, изучают протекающие в ней процессы с точки зрения обеспечения единства экосистемы. В аквагеоэкологии выделяем водную экосистему в целом или отдельные части системы Мирового океана и гидросферы.

На современном этапе аквагеоэкологию определяем как многоцелевую науку о гидросфере, её экологической функции на Земле [4, 10, 12]. Важное место в аквагеоэкологии занимает геоэкология океана, учитывая главенствующую роль Мирового океана в гидросфере по занимаемому объёму, по наибольшей степени изученности и его планетарной функции в виде уникальной экосистемы с высокой степенью самоорганизации. По этим показателям применительно к океанологии аквагеоэкологию и геоэкологию океана можно считать синонимами. Но такая трактовка не совсем правомерна при изучении геоэкологических процессов в атмосфере и литосфере. Синтезируя в себе многие научные направления, аквагеоэкология объединяет

частично цели и задачи отдельных дисциплин океанологии и геологии, но на экологической основе. Однако аквагеоэкология возникла главным образом для постановки собственных целей и решения своих задач. 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, чтобы дать оценку экологического состояния всего Мирового океана или его составных частей, выявить интенсивность и направленность формирующих это состояние процессов и факторов.

Теоретической основой аквагеоэкологии является теория биохимического состояния природной среды, в её разработке реализована концепция экосистемного подхода геоэкологии [12, 14, 18]. Теория объясняет проявления жизни в водной среде под влиянием абиотической составляющей экосистемы природного или техногенного происхождения. В теории выделены доминантные элементы геосистемы (по воздействию на биоту) – неоднородности геохимических и геофизических полей, динамические свойства (потоки вещества и энергии). Разработана классификация биологически активных веществ по степени их значимости в индикации проявления жизни. По биохимическому признаку, то есть здесь уже по степени участия во внутриклеточных биохимических процессах, произведена классификация загрязняющих веществ. Обосновано представление о стационарном состоянии экосистемы и предложена система критериев для его количественной оценки. Теория биохимического состояния природной среды дает возможность установить причинно-следственные связи явлений и процессов в водной экосистеме, служит надежным инструментом познания в аквагеоэкологии [12].

Геоэкология океана (аквагеоэкология), являясь междисциплинарной наукой, в своих исследованиях сохраняет преемственность в использовании некоторых традиционных методов океанологии, биологии, биохимии, геологии и одновременно имеет собственную техническую и методологическую базу. Объединенная технология обеспечивает получение достоверной геоэкологической информации в гидросфере [1, 7, 12, 14, 15, 21, 24]. Сформулированы принципы построения информационной системы аквагеоэкологии [4, 5]. Можно считать, что аквагеоэкология сформировалась как синтезированное направление экологии, геологии и океанологии.

Анализ сложившихся синтезированных направлений геологии и экологии позволил получить общую картину их взаимосвязи и взаимоподчиненности и представить схематично на рисунке. Подобные построения проводили и ранее [23, 29] в основном по глобальным объектам наблюдения, их функциям, что крайне важно. У нас несколько иной методологический подход. Сложившиеся синтезированные научные направления выстроены по иерархическим ступеням, разделяя их прежде всего по методическим вопросам и лишь затем по изучаемым объектам. Преимущество такого построения в том, что один и тот же природный объект (нефть, газ, гидротермы и другие) могут изучать несколькими научными направлениями с использованием различных методов, что близко к современной практике научных исследований. Проведенный анализ выявил некоторые пробелы в

терминологии. Мы постарались их устранить и дать более точные определения. Термины, связанные с отдельными разделами, не могут быть применены к общему названию объединенного геолого-экологического направления. Предлагаем термин «жизнеземлезнание» или по аналогии с употребляемыми терминами – «жизнеземлелогия». На схеме (рисунок) внесены оба названия как синонимы и английский перевод. Аналогично даны термины и синонимы по отдельным направлениям.

Жизнеземлезнание (ЖЗЗ) занимает первый уровень на иерархических ступенях синтезированных направлений. ЖЗЗ – наиболее общее понятие. Жизнеземлелогия (ЖЗЛ) объединяет все синтезированные направления, которые в своей методологии используют системный подход. ЖЗЛ (ЖЗЗ) образуется в результате синтеза геологии и экологии, занимающих на схеме исходные позиции – нулевой уровень. На втором уровне находятся две составные части ЖЗЗ, два самостоятельных научных направления, принципиально отличающиеся методологией исследований: в одном (экогеологии) – преобладает геосистемный подход, в другом (геоэкологии) – экосистемный подход. На третьем уровне (даны отдельные примеры) показаны самостоятельные научные направления, возникшие при исследовании различных объектов специфическими методами в дополнение к традиционным.

Каждый из разделов ЖЗЗ третьего уровня имеет свои подразделы или разветвления, которые наверняка может достроить специалист в своей области знаний. В качестве примера приведем изучаемый нами раздел «аквагеоэкология». В аквагеоэкологии выделяем по объекту исследования два подраздела: геоэкология океана (ГЭО) и экология гидросферы литосферы или «литоакваэкология» (ЛАК). Они в свою очередь могут дробиться и далее. Так ГЭО включает придонную геоэкологию, геоэкологию контактных

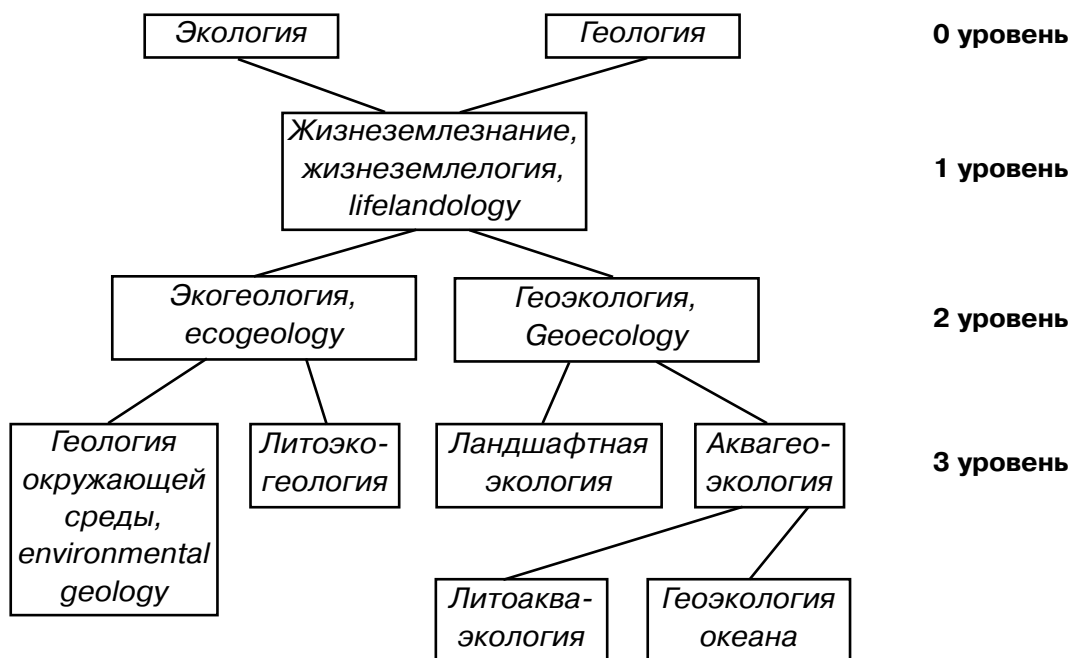


Схема иерархии синтезированных направлений геологии и экологии

зон и другое. Главное, что их объединяет – изучение свойств, функций объектов и явлений с экосистемных позиций.

Предложенная систематизация позволит более точно определить место любого научного направления в системе ЖЗЛ, найти для него более эффективные методы исследования и повысить достоверность получаемых результатов и выводов.

Новые результаты исследований в литоакваэкологии

В нефтегазовой геологии рассматриваем два раздела: нефтегазообразование и нефтегазонакопление. Нефтегазонакопление изучает явления, в результате которых образуется залежь, месторождение углеводородов. Экологическая функция нефтегазонакопления заключена в жизнеобеспечении части биоты, главным образом человека, что является двигателем прогресса в поиске, разведке и разработке месторождений. Для этого необходимо знание свойств и характеристик осадочной толщи, отдельных частей литосферы. Изучают геологическую, геофизическую, геохимическую функции литосферы, опираясь в первую очередь на методы таких геологических наук, как тектоника, стратиграфия, геофизика, геохимия, геология полезных ископаемых. Эти разделы относятся к экогеологии (см. рис.), поэтому наиболее эффективным в изучении нефтегазонакопления является геосистемный подход.

В нефтегазообразовании первостепенным ставится вопрос о генезисе нефти и газа. Большинство исследователей-нефтяников признают наличие неоспоримых корреляционных связей углеводородов в системе «живое вещество – органическое вещество пород – нефть». Биомаркеры нефти однозначно указывают на её органическое происхождение. Правомерен постулат «нефть из жизни», поэтому в нефтегазообразовании необходимо прежде всего изучать жизненную функцию литосферы. Этим занимается литоакваэкология как составная часть аквагеоэкологии и геоэкологии, то есть научные направления другой ветви ЖЗЗ (см. рис.). Следует методологически важный вывод: для решения задач нефтегазообразования наиболее эффективен уже другой – экосистемный подход.

В литоакваэкологии среди изучаемых процессов доказана доминирующая роль явления хемолитоавтотрофии в нефтегазообразовании [11]. Решительная активизация геоэкологической направленности нефтегазовых исследований позволила сформулировать принципы построения единой теории генезиса нефти и газа. Во-первых, в основу положен экосистемный подход, базирующийся на наших многолетних геоэкологических исследованиях в океане. В нем основное место занимает явление хемолитоавтотрофии. Во-вторых, принят наименее оспариваемый постулат органической теории – представление о сходстве компонентного состава нефти и специфических микроорганизмов, преимущественно на уровне различных соединений углеводородов. В-третьих, акцентировано внимание на новых условиях нахождения углеводородов в литосфере, особенно в геодинамически активных зонах. Следуя этим принципам, удалось создать доказательную базу единой теории, разработать общую концепцию нефтегазообразования [12]. Основные этапы процесса выглядят следующим образом. При дегаза-

ции Земли выделяются неорганические газовые компоненты, они пронизывают фундамент и попадают в нижние слои осадочной толщи, где при благоприятных условиях на стадиях метагенеза и катагенеза запускают хемолитоавтотрофный цикл. Сообщество глубинных микроорганизмов преимущественно с хемолитоавтотрофным типом обмена веществ уникально по своей адаптации к высоким температурам и может активно развиваться в подводных каналах кристаллического фундамента, в самом месторождении, а также в отложениях на всех этажах осадочной толщи. В результате своей жизнедеятельности хемолитоавтотрофы производят углеводороды (как минимум – метан) и воду, их останки обогащают биополимерами материнскую породу и тут же включаются в процесс нефтегазообразования. В итоге здесь флюидизация начинается одновременно с генерацией УВ, образовавшиеся вода и микронепть в виде УВ-растворов легко включаются в процесс миграции. Хемолитоавтотрофный цикл объединяет геолого-геохимические процессы, которые протекают уже в реальном, а не геологическом времени. В диагенезе явление хемолитоавтотрофии вызывает те же эффекты, включаясь в эволюцию ОБ и существенно влияя на формирование нефтематеринских толщ.

Предложенная концепция хемолитоавтотрофного цикла нефтегазообразования с высокой вероятностью может стать основой для создания общей теории. Она вписывает оба источника ОБ (в результате фото- и хемосинтеза) в единую схему образования нефтяных УВ из активного живого вещества. Детализация общей теории нефтегазообразования будет продолжена, но её главный постулат в принципе сохранится: «нефть из жизни, жизнь на потоках из лито- и фотосферы». Через хемолитоавтотрофный цикл реализуются неисчерпаемые резервы внутренней энергии Земли и восполняются запасы углеводородов. Концепция объясняет многие непонятные прежде стороны процессов нефтегазообразования и накопления углеводородов и этим приближается к статусу теории.

С помощью предложенной иерархической схемы жизнеземлезнания наглядно продемонстрирована принципиальная разница методологии исследования нефтегазообразования и нефтегазонакопления. Более того, объяснен известный парадокс нефтегазовой геологии – отставание теоретической базы от успехов нефтегазовой промышленности [11, 13]. Суть в том, что в геологических науках главенствует геосистемный подход, он по традиции применяется в исследовании процессов как нефтегазонакопления, так и нефтегазообразования. При этом он хорошо решает прикладные задачи, но мало эффективен для теоретических проблем происхождения нефти и газа – от того теория и отстает от практики. Ситуацию надо менять – в комплексном исследовании проблемы нефтегазоносности земных недр в целом или на региональном уровне следует применить оба методологических подхода (геосистемный и экосистемный) одновременно, конкретизируя объект исследования и выбирая предпочтительную методологию.

Достижения в области геоэкологии океана

Методология геоэкологических исследований доказала свою эффективность на практике при изучении разнообразных природных явлений в гид-

росфере. За длительный период проведения морских геоэкологических исследований нами разработана и внедрена комплексная технология получения достоверной газобиогеохимической информации для нужд аквагеоэкологии [1-15, 17-22, 24, 30 и др.]. Аквагеоэкология превратилась в самостоятельное синтезированное направление в области естественных наук. Экспериментально подтверждены теоретические предпосылки аквагеоэкологии, способность ставить и успешно решать собственные задачи в познании неизвестных ранее природных явлений. Одной из масштабных, планетарных, экологически значимых задач является изучение процесса образования органического вещества в океане. Экосистемный подход привел к открытию в 1976 году явления существования жизни в глубинных подводных гидротермах и другого явления – образования органического вещества (активного живого вещества) в глубинных и промежуточных водах Мирового океана [3, 7, 12, 21].

Образование органического вещества в океане. Преобладающая часть органического вещества на Земле продуцируется в океане. Этот факт не подвергается сомнению, но многие подробности процесса образования ОВ лишь постепенно открывались науке, и не всё до конца известно по сей день. Мировой океан относится к одному из немногих уникальных природных образований на планете Земля. Он многолик в восприятии – 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.

Вещественный состав морской воды постоянно занимал внимание ученых, и шаги в его познании, как правило, связаны с появлением новых методов исследования. Химический этап изучения ознаменовался открытием необыкновенного свойства основной массы океанической воды – постоянство солевого состава, который, по мнению многих ученых (А.П. Виноградов, 1967 и др.), практически не менялся последние 250 млн. лет. Хотя такое предположение впервые было высказано в 70-х годах 17 века Р. Бойлем, полномасштабного объяснения этого феномена до сих пор не нашлось.

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 РАН А.С. Монины издана десяти томная монография «Океанология», в которой изложена «накопленная в мире сумма знаний по главным перспективным проблемам океанологии на уровне 1976 г.». На базе широкого использования новых физико-химических методов сформировалось самостоятельное направление – биогеохимия океана, что позволило ученым ИО РАН расширить знания о распределении растворенного и взвешенного органического вещества (ОВ) в водной массе океанов. К наиболее репрезентативным показателям количества органического вещества природных вод отнесен органический углерод ($C_{орг}$).

Многолетние натурные наблюдения дали основание в монографии утвердить общие для океана закономерности. Максимальные количества взвешенного ОВ характерны для слоя фотосинтеза, особенно в прибрежных и высокопродуктивных районах океана ($C_{\text{орг}}$ больше 100 мкг/л). С глубиной его количество падает (ниже 1000 м содержание $C_{\text{орг}}$ меньше 50 мкг/л). В целом между содержанием взвешенного $C_{\text{орг}}$ в глубинных водах того или иного района океана и величиной продукции фитопланктона в поверхностном слое 0–200 м наблюдается прямая корреляция.

В результате сформирована генеральная схема образования и трансформации ОВ в океане. Продуцентом 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 детритоедомы, а те в свою очередь становятся добычей хищников. Соответственно преобразование ОВ в промежуточных и глубинных водах протекает с небольшой скоростью, бактериальная активность очень низка и окисление органического вещества крайне замедлено. Подобная точка зрения утвердилась и за рубежом (Р. Хорн 1972, Н. W. Jannasch et al, 1971, 1973). Отечественные биологи выполнили исследования на сотнях глубоководных станций и установили некоторые закономерности. «Биотоп фиточена населен жизнедеятельными клетками, продуцирующими органическое вещество. Толща вод, лежащая глубже, содержит водоросли, не участвующие в создании первичной продукции» (Океанология, Биология океана, 1977 т. 1, с. 117). *Биотоп фиточена – верхний слой до глубины нижней границы основного пикноклина (около 20–80м).

Однако некоторые исследователи отмечали, что в глубинах океана встречаются слои (облака) сгущения жизни. Ещё в 1967 году Фелл (Fell J., 1967) обнаружил высокую концентрацию дрожжевых организмов в глубинных водах и связывал такой феномен с Сомалийским течением. Распределение содержания АТФ по океаническим профилям изучал Карл (D.M. Karl et al, 1976) и выявил неоднородности, связав их с кислородными минимумами. Наблюдения Ю.И. Сорокина (1971, 1973) показали, что микрофлора в целом и отдельные её группы распределены в толще воды морей и океанов крайне неравномерно. На глубине 450–550 м в Тихом океане у верхней границы промежуточных антарктических вод им отмечен постоянный максимум численности и биомассы бактериопланктона. Предложено объяснение – за счет возрастания градиента плотности происходит аккумуляция, как на жидком дне, оседающих органических частичек взвеси и клеток отмирающего фитопланктона, имеющих плавучесть, близкую к нейтральной, и создаются более благоприятные условия для питания бактериопланктона, чем в выше и ниже лежащих слоях. Известные микробиологи И.Н. Мицкевич и А.Е. Крисс (1975), исследуя водную толщу западной котловины Индийского океана, выделили слои с повышенной плотностью сапрофитной микрофлоры, утилизирующей детрит, в промежуточных водах на глубинах 300–500 м и у верхней границы глубинных вод в слое 1000–1500м. Высказано предположение, что существование таких максимумов и причины их

формирования связаны с различными гидрологическими и гидрохимическими факторами.

Другими словами, разрозненные факты вписывали в существующую генеральную схему и не придавали им самостоятельного значения. Общий процесс по-прежнему воспринимался незыблемым: образование 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 РАН 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 новым технологиям, положившим начало аквагеоэкологии [1, 12 и др.]. К середине 70-х годов стало ясно, что накопленная информация не вполне достаточна для понимания сути океанических процессов – она разрозненна и не всегда достоверна. Поэтому авторы выбрали направление по созданию 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 [17, 21 и др.]. Подготовлена аппаратура для их определения в судовых условиях.

Более 30 лет назад, в 1976 году (марте-июле) состоялся 22-й рейс научно-исследовательского судна «Академик Курчатов» в северо-западную часть Индийского океана, где впервые была применена новая технология комплексных газобиогеохимических исследований. Использовали более 20 современных методов для изучения водной толщи Индийского океана. Прежде всего, ультрасовременный в то время метод определения аденозинтрифосфата (АТФ) – высокоспецифичный и высокочувствительный. Измерена различная ферментная активность: липолитическая, амилолитическая, 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. Условную границу между ними определяют путем фильтрации водной массы через фильтры с порами 0,45 и 1,0 мкм. К растворенному ОВ относят органические соединения в фильтрате, а к взвешенному – взвесь, которая после предварительного отделения крупных частиц (более 200 мкм) задерживается на фильтре. Для более детального изучения растворенного органического вещества (РОВ) нами был разработан специальный метод с применением сефадекса (нейтрального вещества, состоящего из гранул различного размера) для мягкого выделения растворенного органического ве-

щества с сохранением его нативных свойств. Это позволило нам разделить РОВ по молекулярной массе и, что очень важно – определить активность внеклеточных ферментов в каждой фракции [24]. После выхода этой работы в свет запрос на статью был из более 20 стран мира.

Все же основное внимание в экспедиции уделили изучению взвешенного органического вещества (ВОВ). Именно оно давало главную информацию о трансформации ОВ в океане или, выражаясь современным языком, несет главную экологическую функцию в аквагеоэкологии. Океанологи давно стремились определить соотношение живого и неживого органического вещества во взвеси, например, в планктоне (Lohmann A., 1908). 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. В монографии «Океанология» приведены оценки, по которым доля живого во взвеси обычно составляет 1–28% и лишь в период цветения в фотическом слое может достигать 100%.

Новая технология комплексных газобиогеохимических исследований обеспечила разделение живого от неживого во взвеси на количественном уровне. Нами введено понятие «активное живое вещество». Его характеризует количественный показатель – биомасса активных живых микроорганизмов (БАЖМ), измеряемая по 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, определяет количество живых микроорганизмов в воде, а его погрешность не превышает 10%. Другие полученные биохимические показатели дополняют характеристику физиологического состояния живой микробиоты. Наша комплексная методология защищена в рамках Государственной Программы «Экологическая безопасность России» 1993–1995 гг. Министерства природных ресурсов РФ; в результате выпущены методические указания «Оценка экологического состояния водных объектов» [15].

В экспедиции проводили напряженную исследовательскую работу. Зачастую сутками без сна. Приоритетный научный гигантский по объему материал получен в натуральных условиях в северо-западной части Индийского океана. Весь комплекс измерений проведен, как говорят, «одними руками» в водной толще от поверхности до дна практически на всех станциях по маршруту судна. Неожиданные данные получены 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 метров и по широте о. Мадагаскар на горизонте 500 метров. АТФ (БАЖМ) в указанных горизонтах 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 мкгС/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 высокая доля активного живого вещества во взвеси. Повышенная функция микроорганизмов здесь сравнима с таковой в районе Перуанского апвеллинга, одного из самых продуктивных регионов океана [18].

Аналогичную картину наблюдали в распределении белка, содержание которого было измерено в пределах 0,8–3,0 мкг/л, а доля белка от взвешенного $C_{орг}$ также высока – до 20%. В то же время абсолютное содержание и белка, и органического углерода во взвешенном веществе уменьшается, но доля белка в нем возрастает. Эти чрезвычайно важные результаты указывают на процесс образования активного живого вещества, то есть образование взвешенного органического вещества в промежуточных и глубинных водах. Установленные концентрации и соотношения АТФ, белка и взвешенного $C_{орг}$ на названных горизонтах в изученных пробах не связаны с первичной продукцией в фотическом слое, они являются индикаторами образования активного живого вещества непосредственно в глубинах океана. Установлено неизвестное ранее явление. Значение такого открытия трудно переоценить.

Не менее важное значение имеют данные по ферментной активности и биохимическому составу взвешенного ОВ. По вертикальным профилям на рассматриваемых 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 выросло 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. Оно составляло 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. Результаты ферментативного анализа продемонстрировали хорошее физиологическое состояние развивающегося здесь сообщества микроорганизмов и подтвердили образование активного живого вещества в промежуточных и глубинных водах океана. Наш комплексный методологический подход позволил учесть в сообществе и некультивируемые виды микроорганизмов, что в принципе изменило представление о происходящих процессах и привело к открытию.

Положение, выдвинутое нами, подтверждено спустя несколько лет работами американских исследователей Карлом и Кнауером [31]. В опытах «in situ» ими также установлено, что на горизонтах 500 и 1100 м наблюдается пятнистость с повышенной функцией микроорганизмов и, таким образом, идет продукция органического углерода в глубинах океана.

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 определено не находится в прямой зависимости от фотосинтеза в поверхностных водах, а обусловлено потоками вещества и энергии при дегазации Земли или на внутренних структурных неоднородностях водных масс. 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. Установлена их связь с глубинными процессами в геодинамически активных зонах [7], в придонной среде разломов срединного океанического хребта Индийского океана в 1976 г. [3, 6, 8, 17–22 и др.].

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 $C_{орг}$ и белка (71,4 мкг/л на глубине 500 м) при аналитическом нуле АТФ. 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. Во всяком случае природные процессы в океане гораздо сложнее схем, пусть даже и генеральных. Открытое нами в 1976 г. явление (Диплом открытия № 92) вносит свой вклад в познание многогранных природных процессов.

Хотя образование собственного ОВ в глубинных и промежуточных водах было обнаружено уже 30 лет тому назад, многие ученые 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» [25] биологи констатировали, что океану отводится лидирующая роль в общем балансе первичной продукции в современной биосфере. Подавляющая часть органического вещества создается автотрофными фотосинтезирующими организмами, причем доля биомассы фитопланктона в океане близка к 40, а фитобентоса – к 60%. Собственному ВОВ глубинных и промежуточных вод в «балансе» не нашлось места. Вместе с тем общепризнано, что в водной массе океана ниже фотического слоя содержится более 80% ВОВ. Тогда с учетом обнаруженных сгустков активного живого вещества (по АТФ) до 80% от общего ВОВ, оцениваем вклад открытого нами явления до 10–15% в суммарную продукцию органического вещества океана, что принципиально меняет картину образования ОВ и формирующих процессов.

В 2008 г. вышла в свет коллективная монография «Проблемы зарождения и эволюции биосферы» под редакцией академика РАН Э.М. Галимова [27]. 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 внедрению в океанологию новых технологий по 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, что важно, – и некультивируемые. Были получены данные, которые сами исследователи назвали «неожиданными», – анализ р-РНК позволил выделить несколько новых групп бактерий, в том числе археобактерии [33, 34]. Археи, кроме гидротерм, найдены и в глубинных водах. Однако у исследователей остались вопросы, и они признаются в этом: «Каково их разнообразие и роль здесь – остается непонятным». 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 наше открытие [31, 33, 34].

Экосистемный подход, базирующийся на разработанной авторами в конце 80-х годов теории биохимического состояния природной среды, помогает ответить на недоуменные вопросы и пролить свет на общие процессы и взаимодействия в аквагеоэкологии [12]. Сделанное открытие с биохимических позиций трудно переоценить. Также необходимо его учитывать при геоэкологических построениях. Действительно Мировой океан можно определить как единую глобальную экосистему. 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, создающих собственную первичную продукцию.

Океан – единый, живой организм. Экосистемный анализ представленных результатов аквагеоэкологических исследований привел к выводу об образовании ОБ в промежуточных и глубинных водах океана. Планетарный характер выявленных процессов дает основание рассматривать океан как единый, живой 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 конкретных границах 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.

Другой важный признак – способность к эффективному преобразованию и использованию энергии. Общеизвестно потребление и преобразование океаном солнечной энергии в зоне фотосинтеза. Можно представить утилизацию океаном и других видов энергии: ветровой, гравитационной, вращательной и внутрипланетарной, космической. Здесь океан выступает в

роли открытой системы, для существования которой необходим постоянный обмен энергией и веществом с окружающей средой.

К критериям живого организма также относится обмен веществ с окружающей средой и саморегуляция химических превращений. Здесь мы возвращаемся к постоянству солевого состава. Если океан соответствует названному критерию, то всё понятно. У океана есть соответствующий механизм саморегуляции потребления поступающих из внешней среды веществ и выведения продуктов биохимических превращений во внешнюю среду. 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 простейший одноклеточный живой организм. Свойства океана могут быть столь необычны и сложны, что ставят его в разряд непознанных живых объектов. Таинственность некоторых связанных с ним событий будоражит общественность и привлекает внимание писателей-фантастов.

Комплексные аквагеоэкологические исследования с использованием теории биохимического состояния природной среды позволяют выявить глобальные функции океана, объяснить и решить его разнообразные геоэкологические проблемы. Одной из главных задач этого направления выдвигается сохранение 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 как определенные растворенные органические соединения, например, внеклеточные ферменты, так и сообщества микроорганизмов в целом.

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. Не раз поднимали вопрос о создании Международного экологического заповедника в центральных глубоководных районах всех океанов с целью сохранения уникального микробимального сообщества как генофонда нашей планеты [30]. 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 [27] 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 [30]. Разработанная нами методология, включающая измерение выделенных главных биохимических показателей (АТФ и активность алкилфосфатазы) для количественной оценки экологического состояния среды – норма, эвтрофирование, токсикация – с дальнейшим прогнозированием процессов в окружающей среде может быть успешно применена при мониторинге заповедников. Методология позволяет отличить антропогенное загрязнение от естественных выбросов, по биохимическому признаку классифицировать загрязняющие вещества (Методические указания) [15].

Выводы

Предложенная систематизация отраслей знаний, синтезированных геологией и экологией, позволяет более точно определить место любого научного направления в системе жизнеземлезнания, найти для него более эффективные методы исследования и повысить достоверность получаемых результатов и выводов. На базе наших данных и экосистемного анализа выдвинута концепция хемолитоавтотрофного цикла углеводов в осадочной толще, что продвинуло представление о процессах нефтегазообразования. Знание о процессах нефтегазообразования выступает на передний план при выработке стратегии добычи углеводородов из месторождений и долгосрочных планах. Главная задача человечества – продолжить комплексное познание океана, чтобы не нанести непоправимый ущерб жизненным функциям океана, возможно, нашего прапрародителя и эволюционного родственника.

1. *Авилов В.И.* Разработка технических средств и методов газово-геохимических исследований в акваториях. М.: ИОАН, 1985. – 87 с.
2. *Авилов В.И., Авилова С.Д.* Газобиогеохимические исследования в западной части Черного моря // *Геохимия*. М., 1987. – № 1. – С. 121-128.
3. *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.
4. *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.
5. *Авилов В.И., Авилова С.Д.* Принципы построения информационной системы для принятия решения в аквагеоэкологии // III Межд. научн.-технич. конференция «Современные методы и средства». М., 1997. – С. 72.
6. *Авилов В.И., Авилова С.Д.* Газобиогеохимические показатели в оценке геоэкологического состояния вод Тихого и Атлантического океанов // Доклады Академии Наук. М., 1999. – Т. 369. – № 6. – С. 802-805.

7. *Авилов В.И., Авилова С.Д.* Жизнь на океанском дне // Наука в России. М., 2001. – № 3. – С. 56-61.
8. *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.
9. *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.
10. *Авилов В.И., Авилова С.Д.* Глобальные аспекты аквагеоэкологии // Южно-Российский вестник геологии, географии и глобальной энергии. Астрахань, 2007. – № 1 (25). – С. 3-11.
11. *Авилов В.И., Авилова С.Д.* Явление хемолитоавтотрофии в нефтегазообразовании // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. Киев, 2008. – № 1. – С. 70-78.
12. *Авилов В.И., Авилова С.Д.* Теоретические основы аквагеоэкологии. М.: «ВИКТАН-полиграф», 2008. – 120 с.
13. *Авилов В.И., Авилова С.Д.* Участие науки в нефтегазовой отрасли / Шестой Всероссийский Энергетический Форум «ТЭК России в XXI веке». Москва. Кремль. 2008. www.iprr.ru.
14. *Авилова С.Д., Авилов В.И.* Биохимическая индикация для нормирования экологического состояния водных объектов. М.: ВАСХНИЛ, 1990. – 31 с.
15. *Авилова С.Д., Авилов В.И.* Оценка экологического состояния водных объектов по биохимическим показателям (методические указания). М.: РЭФИА. 1997. – 35 с.
16. *Ваганов П.А.* Что понимают под термином «Environmental Geology» на Западе? // Школа экологической геологии и рационального недропользования: материалы шестой межвуз. молодеж. науч. конф. СПб.: СГУ, 2005. – С. 96–104.
17. *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.
18. *Геодекян А.А., Авилов В.И., Авилова С.Д.* Геоэкологический мониторинг морской среды // Доклады Академии Наук. М., 1990. – Т. 299. – № 2. – С. 183-188.
19. *Геодекян А.А., Авилов В.И., Авилова С.Д.* Геоэкологические исследования Байкала // Доклады Академии Наук. М., 1990а. – Т. 310. – № 1. – С. 1442-1446.
20. *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.
21. *Геодекян А.А., Авилов В.И., Авилова С.Д.* Океан глазами геоэкологов // Наука в России. М., 1993. – № 1. – С. 30-36.
22. *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.
23. *Емельянов В.А.* Основы морской геоэкологии. Киев: «Наукова думка», 2003. – 238 с.
24. *Миркина (Авилова) С.Д.* Выделение и биохимическая характеристика растворенного органического вещества природных вод // Океанология. М., 1977. – Т. 17. ВЫП. 4. – С. 629-637.
25. Новые идеи в океанологии / Отв. редакторы: *М.Е. Виноградов, С.С. Лаппо*. М.: Наука, 2004. – Т.1. – 351 с.
26. *Одум Ю.* Основы экологии. М.: Мир, 1975. – 740 с.
27. Проблемы зарождения и эволюции биосферы / Под ред. *Э.М. Галимова*. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2008. – 552 с.

28. Снакин В.В., Мельчинко В.Е., Бутовский Р.О. и др. Оценка состояния и устойчивости экосистем. М.: ВНИИприрода, 1992. – 127 с.
29. Трофимов В.Т. Содержание и соотношение экологической геологии и геологии окружающей среды // Геология, география и глобальная энергия. Астрахань, 2008. – № 1 (28). – С. 3-19.
30. 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.
31. Karl D.M., Knauer G.A. Detritic-microbe interactions in the marine pelagic environment: selected results from the Vertex experiment // Bull. Mar. Sci., 1984. – V. 35. N. 3. – P. 550-565.
32. Keller E. A. Environmental geology / 8-th ed. – Santa Barbara: University of California, 2004.
33. 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.
34. Moon-van der Staay S.Y., De Wachter R., Vaultot D. Oceanic 18S rDNA sequences from picoplankton reveal unsuspected diversity // Nature. 2001. Vol. 409. – P. 607-610.

Розглянуто сучасні наукові напрямки, утворені в результаті синтезу геології й екології. Запропоновано ієрархічну схему їх розподілу на методологічній основі. Систематизація є ефективною в пізнанні природних явищ. Своєрідні підходи у вивченні процесів нафтогазоутворення й нафтогазонакопичення вирішують теоретичні проблеми в нафтогазовій геології. Відкрито явище утворення органічної речовини в проміжних і глибинних водах океану.

New scientific branches formed as a result of geology and ecology synthesis are examined. The scheme of their scale of ranks has been constructed on the methodology base. The systematization is effective in natural phenomenon cognition. Special methodological approach to study process of hydrocarbon generation and accumulation develops oil and gas geology progress. The process of organic matter formation is found in deep ocean water.