

К ЭВОЛЮЦИИ ЗНАНИЙ О ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКЕ ЗЕМЛИ*

Аннотация. Рассмотрен подход к изучению географической оболочки с точки зрения ее функций по поддержанию Жизни. Вводится понятие глобальной экосистемы – экосферы Земли, расширяющей границы географической оболочки. Центральное место в теории географической оболочки – экосферы Земли, должно занять изучение геохор, оказывающих влияние на глобальный энерго- и массообмен.

Ключевые слова: географическая оболочка, биосфера, геохора, геоэкологическая ниша, биогеохимический цикл, экосфера.

L. Chernyago

Moscow State Regional University

TO THE EVOLUTION OF KNOWLEDGE ABOUT THE GEOGRAPHICAL SPAN OF
THE EARTH

Abstract. We show an approach to the geographical envelope study in terms of its maintenance Life functions. Special attention is paid to the definition of “living substance” given by V.I.Vernadsky, which shows interactions of living organisms with environment through biogenetic cycle of atoms, which provides stability of biosphere. The author of this article introduces the concept of the global ecosystem – the Earth’s ecosphere, which enlarges the geographical envelope borders. The mechanism of substance global cycles in ecosphere is examined. The study of geohors influencing the global energy and mass exchanges should take a central place in the Earth’s ecosphere theory.

Key words: geographical envelope, biosphere, geohora, geoeological niche, biogeochemical cycle, ecosphere.

Термин «географическая оболочка» был впервые введен в 1932 г. академиком А.А. Григорьевым, которым он обозначил сферу взаимного проникновения атмосферы, литосферы, гидросферы и биосферы. В географической оболочке происходит преобразование одних видов энергии в другие, активно взаимодействуют природа и общество [21]. Географическая оболочка, по мнению А.А. Григорьева, является первичной по отношению к Жизни, которая возникла позже, при благоприятных для нее гидротермических и геохимических условиях. Географическая оболочка «стала ареной возникновения и развития жизни, обогатилась вошедшими в ее состав растительными и почвенными покровами и животным миром. Позже она явилась областью возникновения и развития человеческого общества» [9, 116].

Его знаменитый учитель, академик В.И. Вернадский, основоположник учения о биосфере, не отделял биосферу от атмосферы, литосферы и гидросферы. Он лишь подчеркивал резкое отличие живых систем «от всех атомных, ионных или молекулярных систем, которые строят материю земной коры вне биосферы» [2, 17]. Живые организмы, хотя и состоят из тех же атомов – универсальных структурных единиц материи – как и неживое (косное) вещество, но в отличие от него, наделены способностью к размножению, т.е. способностью воспроизводить себя в особом термодинамическом поле. «Химическая энергия биосферы – в ее действенной форме – выявляется из лучистой энергии Солнца

* © Черняго Л.С.

совокупностью живых организмов Земли – ее *живым веществом* (курсив В.И. Вернадского)...После умирания организма соединения, устойчивые в термодинамическом поле живого вещества, попадая в термодинамическое поле биосферы, оказываются в нем неустойчивыми и являются в нем источником свободной энергии» [2, 16-17].

Именно синтез и разложение органических соединений в ландшафтах, названный *биогенезом* [3], служит энергетической «динамо-машиной» биосферы: порядок, поддерживающий в термодинамическом поле живого вещества целостность и функционирование всех живых организмов, превращается в хаос, который сопровождает процесс разрушения Жизни. Однако хаос оказывается насыщенным высвобождаемой солнечной энергией с присущим ей «творческим началом», организующим новый порядок.

Верхняя граница биосферы ограничена озоновым экраном, поглощающим жесткий ультрафиолет, губительный для всего живого. Распространение Жизни в атмосфере связано с воздушной миграцией бактерий и спор на частицах пыли, поднятых с земной поверхности, а также с полетами птиц на высотах до десятка километров. Озоновый экран создан кислородом – продуктом Жизни, произведенном в фитосфере, приземном слое мощностью до 100 м, в котором зеленые растения осуществляют фотосинтез. Нижнюю границу биосферы В.И. Вернадский проводил на глубине 2,5-2,7 км на суше и 5-5,5 км в океане, которая лимитирована «геоизотермой в 100⁰С», подчеркивая ее условность [2, 91].

Как показали недавние исследования, в зонах спрединга (рифтовых зонах океана) Жизнь существует и при более высоких температурах. На склонах «черных курильщиков» – конических образований высотой в несколько десятков метров, которые сформировались путем осаждения сульфидов тяжелых металлов (Cu, Fe, Zn, Ni) из гидротерм с температурой 300-400⁰С, обнаружены экстремально термофильные хемосинтезирующие археобактерии, которые живут при $t^0=120^0\text{C}$. В нескольких метрах, у подножия курильщиков, температура резко падает до 40⁰С за счет смешивания с холодной придонной водой, и здесь уже обитают вестиментиферы (*Riftia pachytila*) – гигантские животные, похожие на червей белого цвета длиной до 2,5м, с ярко-алыми щупальцами на концах, которые образуют живописные колонии в виде «зарослей», среди которых прекрасно себя чувствуют осьминоги, экзотические рыбы и двустворчатые моллюски размером 20-30 см [18].

Биосфера как часть географической оболочки

Границы географической оболочки А.А. Григорьева и биосферы В.И. Вернадского практически совпадают, что дает основание предположить их полную идентичность. С.П. Горшков, сославшись В.Б. Кадацкого, отрицает такую ситуацию, при которой одновременно в одном и том же пространстве сосуществовали бы две обособленные материальные системы [7]. Действительно, биосфера – это среда обитания ныне живущих организмов, которые получают вещество и энергию извне, чтобы обеспечить самосохранение и самовоспроизводство, и возвращающих их, преобразованными, обратно. В этом суть глобального биогеогенного круговорота атомов, в котором цикл органического углерода является ведущим [14]. Поэтому в географической оболочке не могут взаимно проникать атмосфера, литосфера, гидросфера и биосфера, поскольку *биосфера есть область распространения Жизни, существующей в названных земных оболочках и поддерживающей себя через биогеогенный круговорот атомов* [курсив мой. – Л.Ч.]. Биосфера – часть географической оболочки. По отношению ко всей атмосфере, простирающейся до магнитопаузы – границы магнитного поля Земли с Космосом, ко всей литосфере – каменной оболочке, включающей земную кору и верхнюю мантию над астеносферой,

«пределы биосферы обусловлены прежде всего полем существования жизни, [которая] может проявляться только в определенной среде, в определенных физических и химических условиях» [Вернадский 1989, 70].

Жизнь упорядочивает хаос через нарастание порядка, ведомого информацией в направлении от газообразного фазового состояния вещества атмосферы к жидкому фазовому состоянию гидросферы, твердому – литосферы и, наконец, к живому веществу, объединившему все три фазовых состояния через «союз воды и нити» в цитозоли – внутренней среде клетки. Живое вещество построено из полимерных нитей, сложенных органическими молекулами, которые во внутриклеточной среде «соединяются и переплетаются во всех направлениях, собираясь в очень густую и объемную сеть. Жидкая вода при этом удивительным образом преобразуется. Застыв в ячейках сети, она теряет присущую ей подвижность, лишается текучести и... переходит в совершенно иное агрегатное состояние – среднее между жидким и твердым» [15, 5].

Верхней границей биосферы, по единодушному мнению ученых, считается слой максимальной концентрации озона на высоте 25-30 км. Нижняя граница биосферы далеко не однозначна. Ее проводят по поверхности Мохоровичича (Д.Л. Арманд, Ф.Н. Мильков, А.М. Рябчиков), подошве коры выветривания (А.Г. Исаченко, С.В. Калесник, А.Е. Кривоуццкий), подошве «морфопетросферы» (Ю.К. Ефремов), нижнему пределу распространения Жизни и воды в жидком состоянии (И.М. Забелин) [22]. Автор разделяет точку зрения И.М. Забелина о нижнем пределе распространения Жизни, который представлен экологической нишей микробных сообществ, живущих на субстрате захороненного органического вещества в виде залежей нефти и каменного угля.

Отметим особое значение, которое придавал академик А.А. Григорьев тепло- и влагообмену в географической оболочке, поскольку основной обмен веществом, энергией и информацией между ее компонентами осуществляется с участием воды, приводимой в движение земной гравитацией и энергией Солнца. Водная миграция химических элементов с поверхностным и подземным стоком осуществляется в ландшафтах гумидного поля Земли, в ландшафтах аридного поля преобладает воздушная миграция, однако она тоже «опосредована» водой, поскольку движение воздушных масс в атмосфере (общая циркуляция атмосферы) тесным образом связана с глобальным гидрологическим циклом. Но главное – на воде «замешана» Жизнь, которая проявляется через живые организмы – открытые, самовоспроизводящиеся системы. Живые организмы на 60-80% и более состоят из воды, недаром французский естествоиспытатель Ж. Дюбуа назвал их «l'eau animée», т.е. водой одушевленной.

Недооценка роли живых организмов в преобразовании облика нашей планеты послужила причиной того, что выдвинутая А.А. Григорьевым идея единого физико-географического процесса в свое время не была поддержана учеными-географами. Взаимное проникновение вещества твердой, жидкой и газообразной геосфер планеты связано не только с физическими и химическими процессами растворения, диффузии и конвекции вещества названных геосфер, как считал А.А. Григорьев, но и с биогеохимическими процессами, которые контролируются живыми организмами.

Являясь открытыми неравновесными системами, живые организмы многократно ускоряют круговорот биогенных элементов в ходе своего метаболизма, создавая при этом особые параметры окружающей среды [1]. Известный российский ученый А.И. Перельман предложил назвать такую геохимическую функцию Жизни *законом Вернадского*, суть которого в следующем: «миграция химических элементов в биосфере осуществляется или при непосредственном участии живого вещества (биогенная миграция), или же она протекает в среде, геохимические особенности которой (O₂, CO₂, H₂S и т.д.) обусловлены живым веществом – как тем, которое в настоящее время населяет данную биокосную

систему, так и тем, которое действовало в биосфере в течение геологической истории» [19, 101]. Если бы академик А.А. Григорьев полностью разделял взгляды своего учителя – академика В.И. Вернадского, то каким бы плодотворным был итог такого сотрудничества, и в научных публикациях термины «географическая оболочка» и «биосфера» обрели бы конкретный, присущий им смысл.

Географическая оболочка – «большая система» Земли

Как отмечает С.П. Горшков, «все известные другие подходы к выделению географической оболочки не основаны на каком-либо одном строгом критерии и, следовательно, ведут к разобщению взглядов» [6, 103]. Чтобы избежать тавтологии в определении географии как науки о географической оболочке, Ю.К. Ефремов предложил называть географическую оболочку *ландшафтной сферой*. Она представляет собой «природно-общественное единство», которое изучает общая география – «ствол», существующий наряду со своими главными ветвями – природной географией и социогеографией» [13, 73]. Близкий по смыслу синоним географической оболочки предложил Г.Н. Голубев [4], определив ее как *экоферу*, однако приоритет в изучении экоферы он отдал не географии, а современной геоэкологии. «Геоэкология имеет дело не с Землей в целом, а лишь... с тонкой... оболочкой, где пересекаются геосферы (атмосфера, гидросфера, литосфера и биосфера), и где живет и действует человек... Экофера представляет собой всемирную область интеграции геосфер и общества» [4, 13]. Не совсем понятно, почему Г.Н. Голубев в приведенном выше определении не отождествляет биосферу и место, «где живет и действует человек». Н.Ф. Реймерс термином «*экофера*» обозначил гораздо более емкую сферу, придав ему общепланетарное значение в ранге Земли – колыбели Жизни. Экоферу Земли, по мнению Н.Ф. Реймерса, должна изучать глобальная экология – «учение об экофере Земли как планеты, взаимодействующей с биосферой...» [20, 10]. Эту точку зрения автор полностью поддерживает и развивает в данной публикации. Географической оболочке необходимо придать статус глобальной экосистемы, поддерживающей Жизнь на нашей планете.

Как отметил академик Г.А. Заварзин, выступая в Лектории МГУ 25 октября 2005 г., «большая система определяет свойства совместимой с ней подсистемы». Геофизические параметры «большой системы» – планеты Земля: ее расстояние от Солнца, наклон оси к плоскости эклиптики, скорость вращения, масса, способная удержать в своем гравитационном поле важные для Жизни газы, наличие воды – все это способствует поддержанию Жизни. В «большой системе» – экофере Земли – идет непрерывная работа «биогеохимической машины» – взаимосвязанных циклов биогенных элементов. По мнению О.П. Добродеева, «функционирование глобальной экосистемы проявляется не только в пределах биосферы. Так, кислород земной атмосферы является продуктом Жизни и экраном, защищающим Жизнь от воздействия Космоса. Атмосфера же служит ресурсом газов, необходимых для Жизни. Поэтому *под экоферой можно понимать пространство (сферу), в котором (ой) действуют обратные связи между живым и косным веществом Земли*» [11, 29].

Определение «живого вещества», данное В.И. Вернадским как совокупности ныне существующих живых организмов, выраженную через элементарный химический состав, массу и энергию, которые обмениваются с окружающей средой биогенным током атомов в процессе питания, дыхания и размножения [1], помогает понять механизм обратных связей в глобальной экосистеме – экофере Земли.

Биогеохимические идеи В.И. Вернадского были плодотворно развиты Б.Б. Полыновым – основателем науки о геохимии ландшафтов, изучающей миграцию атомов в

экосистемах разного ранга, которые можно назвать экокорами (геокорами) – экологическими пространствами, занятыми географическими объектами разной протяженности от элементарного ландшафта до ландшафтной зоны. Ведущими ландшафтно-геохимическими процессами, обеспечивающими обратные связи между живым и косным веществом в экосистемах, служат процессы создания и разложения органического вещества. Интенсивность проявления ландшафтно-геохимических процессов подчиняется географическим закономерностям распределения на континентах тепла и влаги, которые, наряду с неотектоникой, определяют морфологический облик геоко, занимающих соответствующие геоэкологические ниши [3].

Центральное место в теории географической оболочки – экосферы Земли, по мнению О.П. Добродеева (2001), должно занять изучение экологических функций геоко, которые оказывают существенное влияние на глобальный массо- и энергообмен [12].

Занимая геоэкологическую нишу с параметрами высокого влагообеспечения ($K_{\text{увл}} > 1$) и недостатка тепла (радиационный индекс равен 0,5-0,8), геоко тайги длительно удерживает атмосферный углерод в составе стволовой древесины, корней, напочвенной подстилки, торфах и озерных илах. В геоко тайги сосредоточено около 130 млрд.т углерода или 18% от общих запасов в атмосфере. Таким образом, тайга выполняет глобальную функцию экологического буфера, изымая углерод из атмосферы в ходе продуцирования фитомассы и ослабляя, тем самым, парниковый эффект. В то же время низкая скорость разложения опада приводит к пополнению запасов свободного кислорода в атмосфере. Ежегодно геоко тайги поставляет в атмосферу около 1 млрд.т кислорода, поддерживая его баланс в атмосфере [10]. Сведение таежных лесов, с учетом их медленного возобновления, может привести к нарушению глобального биогеохимического цикла кислорода.

Не менее важным следствием вырубки тайги, равно как смешанных лесов умеренного пояса, а также влажных вечнозеленых экваториальных и тропических лесов (ВТЛ), служит резкое снижение интенсивности поступления водяного пара в атмосферу через транспирацию. Только 10-20% выпавших в ВТЛ осадков возвращается в атмосферу через речной сток, остальные 80-90% осадков поступает через транспирацию, обслуживающую фотосинтез, однако в широколиственных лесах умеренного пояса это соотношение уже становится 1:1 [8].

Не исключено, что одна из основных причин глобального потепления связана не с эмиссией антропогенного CO_2 , а с нарушением глобального гидрологического цикла, вызванного интенсивной вырубкой лесов. В настоящее время леса планеты занимают площадь около 3,5 млрд.га [7]. Согласно данным ФАО (Комиссии ООН по продовольствию и сельскому хозяйству), ежегодно их площадь сокращается на 11,3 млн. га.

По нашим ориентировочным подсчетам, в результате рубок всех лесов на планете, дающих, в среднем, около 15 т/га в год первичной продукции и с учетом затрат воды на транспирацию, составляющих 100т H_2O на 1т синтезированного сухого органического вещества, атмосфера ежегодно «недополучает» $15 \text{ т/га} \times 100 \text{ т} \times 11,3 \text{ млн. га} \sim 17 \text{ 000 млн. т}$ воды. Отсюда – нарастающая глобальная аридизация климата и катастрофические наводнения как результат поступления в поверхностный сток «незадействованной» в фотосинтезе воды, особенно в странах Западной Европы, где урбоэкосистемы (мегаполисы) значительно потеснили естественные лесные ландшафты.

«Часовой механизм» географической оболочки - экосферы Земли

Глобальная миграция химических элементов в географической оболочке – экосфере Земли осуществляются через систему верхнего, среднего и нижнего круговоротов, которые работают по принципу часового механизма, где названные круговороты являются своего рода «шестеренками», вовлекающими вещество планеты с поверхности на

большую глубину, вплоть до границы земного ядра [11]. «Мотором», приводящим их в движение, служит энергия Солнца, силы гравитации и живые организмы. Как считает Г.А. Заварзин, «в концептуальном отношении бактерии оказываются основным двигателем биосферной системы биогеохимических циклов, катализируя их ключевые реакции» [14, 8]. Биосферная система биогеохимических циклов «вливается» в эти круговороты вещества в экосфере. Следы былых биосфер в виде керогена – нерастворимого (дебиту-минизированного) органического вещества осадочных пород прослеживаются далеко в глубь нашей планеты.

Верхний (атмосферно-гидросферный) круговорот представлен глобальным гидрологическим циклом, включающим испарение воды над океаном, воздушный перенос ее на сушу и последующее возвращение в океан через речной и подземный сток, а также через «сток» айсбергов и подледниковые потоки талых вод. Верхний круговорот осуществляется благодаря уникальному свойству воды находиться в экосфере в трехфазовом состоянии: газообразная вода входит в состав атмосферы, в жидком состоянии она образует гидросферу, в биосфере она служит «матрицей», на основе которой функционирует живое вещество. Кроме того, вода в твердом состоянии формирует гляциосферу, которая оказывает большое влияние на тепловой баланс Земли. В верхнем круговороте, наряду с водой, участвуют и твердые аэрозоли, вовлекаемые с земной поверхности эоловыми процессами.

Средний (гидросферно-литосферный) круговорот вовлекает вещество осадочного чехла материкового склона в зону погружения тяжелых океанических плит литосферы под более легкие континентальные (зону субдукции). Здесь, на нисходящей ветви среднего круговорота, нагруженный осадками материковый склон переходит в расплавленное состояние за счет энергии, выделяющейся при перекристаллизации глинистых минералов, а также за счет солнечной энергии, заключенной в растворенном и взвешенном органическом веществе, принесенном реками с суши. На границе «река-море» действует система маргинальных фильтров, где принесенные с суши растворенные и взвешенные вещества, в том числе и органические, претерпевают значительные изменения. Они многократно переходят из взвешенной в растворенную форму и обратно в условиях морской воды, являющейся по отношению к речным водам сильным электролитом, а также вовлекаются в биологическую фильтрацию фито- и зоопланктоном. Масштабы биофильтрации таковы, что летом вода всего объема маргинального фильтра отфильтровывается зоопланктоном и принудительно (через пеллеты) выводится в осадки за несколько суток [16]. Легколетучие и легкоплавкие вещества, образующиеся при перекристаллизации осадочного чехла материковых склонов, наращивают корни восходящих блоков континентальной литосферы, внедряются интрузиями и достигают поверхности в виде продуктов андезитового вулканизма активных окраин континентов, замыкая тем самым средний круговорот.

Нижний (литосферно-астеносферный) круговорот связан с погружением тугоплавкого вещества океанической литосферы в астеносферу в зонах субдукции. Погружение сопровождается скучиванием коровых образований, возникновением парных метаморфических поясов и новых сегментов материковой коры. В области срединно-океанических хребтов (зонах спрединга), где глубинное вещество мантии разгружается в виде излияний базальтов, идет прирост океанической коры за счет третьего слоя (серпентиниты, пироксениты и др.) [7]. Биогенные элементы, многократно прошедшие через живые организмы, участвуют во всех трех названных глобальных круговоротах, «тем самым идет информация из биосферы в глубины Земли, что приводит к их отклику, позитивно влияющему на развитие оболочки жизни» [7, 98].

Таким образом, все земные сферы связаны между собой биогенной миграцией атомов. Верхняя граница географической оболочки – экосферы Земли расширяется до

границ магнитосферы (магнитопаузы), удерживающей газы земного происхождения, которые являются продуктом метаболизма живых организмов, а нижняя граница уходит в астеносферу, куда через средний и нижний круговороты вовлекается органическое вещество, поступающее с суши в Мировой океан. Масштаб глобального массопереноса в географической оболочке регулируется геохорами через ведущие ландшафтно-геохимические процессы: синтез и разложение органического вещества. Нарушение глобальных биогеохимических циклов в результате техногенеза неизбежно ведет к дестабилизации географической оболочки – экосферы Земли.

Предметом изучения геоэкологии – науки о законах функционирования геосфер и геохор в условиях нарастающего антропогенного пресса и их глобальных экологических функциях по обеспечению устойчивого воспроизводства Жизни – должна стать географическая оболочка – экосфера Земли в названных границах.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы и ее окружения. – М.: Наука, 1987.
2. Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера. – М.: Наука, 1989.
3. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 1988.
4. Голубев Г.Н. Геоэкология: Учебник для ВУЗов. – М.: ГЕОС, 1999.
5. Горбунова И.А., Черняго Л.С. Геоэкология и Жизнь // Экология и жизнь. – 2004. – № 5 (40). – С. 36-39.
6. Горшков С.П. Динамические аспекты физической географии // География в системе наук. – Л.: Наука, 1987. – С. 102-116.
7. Горшков С.П. Концептуальные основы геоэкологии: Учебное пособие. – Смоленск: Изд-во Смоленского гуманитарного университета, 1998.
8. Горшков С.П. Стихийные бедствия, природа и человек // География и экология в школе 21 века. – 2007. – № 3. – С. 9-22.
9. Григорьев А.А. Закономерности строения и развития географической среды. – М.: Мысль, 1966.
10. Добродеев О.П., Баранова О.Ю., Новиков А.П., Черняго Л.С. Таежный пояс Земли: Текст лекции. – М.: Московский педагогический университет, 1995.
11. Добродеев О.П. Введение в экологию: Учебное пособие. – М.: МПУ, 1996.
12. Добродеев О.П. Геоэкология // Экология Подмосковья. – М.: Современные тетради, 2001. – С. 21-23.
13. Ефремов Ю.К. География: некоторые итоги и перспективы // География в системе наук. – Л.: Наука, 1987. – С. 62-88.
14. Заварзин Г.А. Лекции по природоведческой микробиологии. – М.: Наука, 2004.
15. Кулик А.В. Линия Жизни: о природе живой материи // Экология и жизнь. – 2006. – № 9. – С. 3-10.
16. Лисицын А.П. Потоки осадочного вещества и загрязнений в Мировой океан и методы глобального мониторинга // Стокгольм, Рио, Йоханнесбург: вехи кризиса. – М.: Наука, 2004. – С. 133-193.
17. Лямин В.С. География и общество: Философские и социологические проблемы географии. – М.: Мысль, 1978.
18. Малахов В. Жизнь без солнца // В мире науки. – 2003. – № 4. – С. 84-89.
19. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта: Учебное пособие. – М.: Астрей-2000, 1999.
20. Реймерс Н.Ф. Экология (теория, законы, правила, принципы и гипотезы). – М.: Россия молодая, 1994.
21. Четырехязычный энциклопедический словарь терминов по физической географии. – М.: Изд-во «Советская энциклопедия», 1980.
22. <http://www.refcity.ru/content>