

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего профессионального образования  
Уральский государственный педагогический университет

**Материалы к курсам «Геохимия ландшафта» и  
«Концепции современного естествознания»**

Методическое пособие

Екатеринбург 2008

УДК 911.52:50(075)  
ББК Д821+Б  
М54

**Автор-составитель Ю. Л. Мельчаков**

М54 Материалы к курсам «Геохимия ландшафта» и «Концепции современного естествознания» [Текст] : методическое пособие / Урал. гос. пед. ун-т ; автор-сост. Ю. Л. Мельчаков. – Екатеринбург : [б. и.], 2008. – 13 с.

Методическое пособие составлено с целью систематизации знаний студентов по важнейшему разделу современного естествознания. Приведены самые современные доказательства «давления жизни».

Ориентация на студентов не исключает возможности использования пособия всеми заинтересованными лицами.

УДК 911.52:50(075)  
ББК Д821+Б

© Мельчаков Ю. Л., 2008  
© ФГБОУ ВПО «УрГПУ», 2008

## **Важнейшие понятия геохимии ландшафта и биогеохимии в историческом контексте (биосфера, живое вещество и биогеохимические свойства жизни)**

А. Пуанкаре как-то заметил «в этом мире нет ничего окончательно установленного, неизменного» (Цит. по: Барабанов, 1985, с.405). Сказанное в полной мере относится к поставленной проблеме. Понятие о биосфере введено в биологию в начале XIX в. Ж. Ламарком, в геологию – Э. Зюссом в 1875 г. Первоначально основу понятия составляло лишь указание на совокупность всех живых организмов на Земле. В географических науках термин использовался для обозначения одной из геосфер, входящих в состав географической оболочки, наряду с атмосферой, литосферой, гидросферой, но отличающихся от них насыщенностью живыми организмами и продуктами их жизнедеятельности. В результате работ В. И. Вернадского (1967, 1987), раскрывшего огромную геологическую роль жизни, биосферой стали называть наружную область Земли, в которой не только существует жизнь, но которая в той или иной мере видоизменена или сформирована жизнью. В современном понимании биосфера – это глобальная система, в которой в неразрывной связи существуют, с одной стороны, инертное вещество в твердой, жидкой и газовой фазах, а с другой – разнообразные формы жизни и их метаболиты. Биосфера представляет собой единство живого вещества и пронизанной им наружной части земного шара. Живое вещество так же немислимо без биосферы, как последняя без живого вещества (Добровольский, 1998).

В соответствии с эволюцией понятия «биосфера» закономерно изменялись и категории «живое вещество» и «свойства жизни».

Вопрос о геологической роли организмов не новый в науке. Еще древнегреческие философы ломали головы над загадкой окаменелостей. Они находили окаменевшие морские раковины на суше и догадывались, что когда-то это были живые существа. Значит, предполагали философы, эта территория некогда была покрыта морем (Бейли, Седдон, 1995). В XVIII в. проводились научные исследования роли организмов, и к концу XIX в. вопрос в своей принципиальной части казался окончательно выясненным. Так, уже давно было установлено, что некоторые горные породы, как, например, угли, торф, рифовые известняки и др., в основном состоят из остатков растений и животных. Также было известно, что организмы принимают большое участие в образовании почв. Подобные представления нашли свое отражение в классификации осадочных пород, среди которых выделялась особая группа “органогенных” (угли, некоторые известняки и др.). Этим подчеркивалась, хотя и большая, но все же ограниченная роль организмов в земной коре, так как преобладающая часть осадочных пород не относится к категории органогенных (глины, пески, значительная часть известняков, соли и др.). Большинство геологических процессов, протекавших на поверхности земли, рассматривалось в аспекте чисто механических, химических и физико-химических явлений (отложение, размыв, растворение, осаждение, коагуляция, сорбция и т.д.). Подобные представления являлись общепризнанными до 20-х гг. XX в.

Поэтому подлинной революцией в естественных науках явилось учение о геологической роли организмов, созданное В. И. Вернадским (1863 – 1945). Основные положения этого учения были сформулированы в книгах “Биосфера”(1967) и “Очерки геохимии” (1983). Появление этих работ означало зарождение новой науки – биогеохимии – отрасли геохимии, изучающей геохимические процессы, происходящие в биосфере при участии организмов.

Живые организмы, по Вернадскому, не второстепенные участники геологических процессов, лишь оказывающие влияние на ход неорганических явлений в земной коре, а главный фактор миграции химических элементов. “...все бытие земной коры,

по крайней мере 99 % по весу массы ее вещества, в своих существенных, с геохимической точки зрения, чертах обусловлено жизнью”, – писал он в “Очерках геохимии”.

Геологический эффект жизнедеятельности любого организма бесконечно мал. Однако таких организмов в природе имеется бесконечно большое количество и действуют они практически в течение бесконечно большого промежутка времени. По некоторым оценкам, на Земле обитает около  $3 \cdot 10^{33}$  живых существ. Всего насчитывается от 2 до 30 млн. различных видов растений и животных. При этом ученые ежегодно открывают около 10 тыс. новых видов животных и 5 тыс. новых видов растений. И все же все эти виды живых организмов, ныне существующие на Земле, – лишь крохотная часть тех, что обитали на планете за ее долгую историю. Специалисты называют цифру в 500 млн. видов. Это предположение, но наверняка можно сказать, что большинство растений и животных, ранее населявших Землю, исчезло навсегда (Бейли, Седдон, 1995). В итоге за всю геологическую историю мы получаем грандиозную величину. В отличие от биологии геохимия рассматривает не каждый живой организм в отдельности, а всю их совокупность, которую В. И. Вернадский назвал живым веществом.

Новые представления о геологической роли живого вещества сравнительно медленно проникали в сознание геологов, географов и других специалистов. Эти идеи нередко игнорируются и в настоящее время. Как отмечал Б. Б. Польшов (1877-1952) – основатель геохимии ландшафтов – такое положение в какой-то степени связано с привычкой судить о значении того или иного вещества по его массе. Масса же живого вещества по сравнению с массой земной коры ничтожна. Об этом дает представление сравнение, которое привел в свое время один из основателей геохимии норвежский ученый В. М. Гольдшмидт (1888 – 1947). Он писал: «если представить себе литосферу в виде каменной чаши весом в 10,5 фунта, то вся гидросфера, помещающаяся в этой чаше, весила бы один фунт, вес атмосферы был бы примерно равен весу медной монеты, а вес живого вещества – почтовой марке (Перельман, 1961).

Живое вещество, покрывающее почти сплошным слоем поверхность Земли, представляет длительно (по современным данным - более трех миллиардов лет) постоянно действующий механизм преобразования энергии солнечных лучей в потенциальную, а затем и в кинетическую энергию геохимических процессов.

Эта энергия служит источником для основных геохимических процессов, протекающих на земной поверхности и в толще осадочных пород. Но живые организмы не простые аккумуляторы и передатчики энергии, повышающие энергетическое состояние атомов. Они также являются агентами сортировки и перераспределения атомов, они изменяют химический состав земной коры.

В наибольшей степени геологическая работа организмов сосредоточена в ландшафтах суши и поверхностных слоях океана, там же наиболее интенсивно происходит аккумуляция солнечной энергии и обратное ее выделение в виде энергии геохимических процессов.

Таким образом, необходимо различать три аспекта геологической деятельности организмов (по А. И. Перельману, 1961): 1. Организмы как непосредственные концентраторы элементов. В результате образуются горные породы с органоморфной структурой и текстурой (угли, коралловые известняки и др.). 2. Живое вещество как фактор, определяющий физико-химические условия миграции элементов в данном ландшафте (например, восстановительная среда в местах гниения органических веществ). 3. Суммарный эффект деятельности живого вещества за весь период геологической истории. Организмы выступают в качестве важнейшего фактора миграции элементов в земной коре, определяющего всю ее геохимию. Первый аспект этой проблемы был признан еще античными учеными, роль второго долгое время недооценивалась, а роль третьего аспекта стала понятна благодаря трудам В. И. Вернадского. В современной трактовке

постоянно существующая планетарная совокупность организмов рассматривается как особая форма материи – живое вещество, главное свойство которого – постоянный и непрерывный массообмен химических элементов с окружающей средой. По этой причине живое вещество играет роль ведущего фактора геохимической эволюции наружной части Земли (Добровольский, 1998).

Миграция химических элементов в ландшафте в основном определяется двумя противоположными взаимосвязанными процессами: образованием живого вещества из окружающей среды (главным образом газов воздуха и воды) с использованием солнечной энергии, и разрушением органических веществ, в результате чего элементы переходят из органических соединений в минеральные. Один процесс не может существовать без другого, само существование ландшафта возможно только при условии одновременного протекания двух процессов. Предположим, что при функционировании ландшафта происходила бы только биогенная аккумуляция минеральных соединений их почвы и атмосферы (образование органики). Тогда все химические элементы перешли бы в органические соединения живых и мертвых организмов, соответственно, из атмосферы исчез бы  $\text{CO}_2$ , а из почвы такие элементы, как фосфор, калий, сера, хлор, магний, натрий, железо и др. Как известно, элементы, находящиеся в органических соединениях, недоступны для питания растений. Следовательно, они стали бы голодать и в скором времени погибли бы, что означает конец функционирования ландшафта.

Напротив, если бы в ландшафте протекали только процессы разрушения органического вещества, то в скором времени вся органика разложилась бы до таких простых минеральных соединений, как  $\text{CO}_2$ , солей и воды, что означает также конец жизни (Перельман, 1961).

Таким образом, биогенная аккумуляция и минерализация не могут протекать изолированно, вместе они образуют биологический круговорот элементов в ландшафте.

Рассмотрим это понятие с точки зрения трех критериев: превращения вещества, энергии и накопления информации.

Продолжительность отдельных циклов биологического круговорота атомов очень различна. Всего несколько недель живут растения-эфемеры, образующие весной пышный ковер в пустынях Средней Азии. За это короткое время они успевают накопить органическое вещество, которое в начале лета, после из смерти, в почве быстро разлагается до простых минеральных соединений. Напротив, в лесном ландшафте часть атомов углерода, заключенных в древесине, окислится до  $\text{CO}_2$  только после смерти деревьев, т.е. через десятки, а иногда и сотни лет. И, наконец, если же органическое вещество будет захоронено в осадочных породах и превратится в уголь, окисление которого произойдет только через несколько геологических периодов, круговорот углерода растянется на многие миллионы лет.

Круговороты не замкнуты. Это означает, что каждый новый цикл не является точным повторением предыдущего, природа не остается неизменной. Рассмотрим пример круговоротов в озере, расположенном в таежной зоне и богатом органической жизнью (эвтрофное озеро). После каждого годичного цикла круговорота часть атомов углерода, водорода и других элементов, заключенных в органических веществах, не переходит в минеральные соединения, а захороняется на дне озера в форме органического ила – сапропеля (дословно в переводе с греческого – гнилостного ила). Происходит это из-за недостатка кислорода. Постепенно озеро мелеет и в конце концов его котловина полностью заполняется органическими остатками. Таким образом, озеро последовательно, через ряд стадий, превращается в болото. Такова эволюция озера, которая представляет собой начальный этап эволюции болота. Следовательно, поступательное развитие в биосфере осуществляется через систему круговоротов.

В процессе минерализации органических веществ освобождается энергия, которая была поглощена при фотосинтезе. Она освобождается в виде тепла, что наглядно проявляется в сырой или недостаточно просушенной растительной массе: происходит значительное повышение температуры этой массы вплоть до самовозгорания. Однако главным образом энергия освобождается в виде химической энергии, носителями которой являются природные воды. Обогащаясь такими продуктами минерализации, как  $\text{CO}_2$ , гумусовые кислоты,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , воды становятся химически высокоактивными, они разрушают горные породы. Таким образом, с энергетической точки зрения биологический круговорот атомов переводит энергию солнечных лучей в другие виды энергии, за счет которых в ландшафтах выполняется большая работа.

В ходе биологического круговорота атомов происходит также передача информации, создание новой информации, ее переработка и захоронение. Чем энергичнее протекает биологический круговорот атомов, тем большее количество информации при этом перерабатывается.

Таким образом, положение о круговороте атомов является одним из основных законов биогеохимии и геохимии ландшафта. Закон биологического круговорота атомов формулируется следующим образом. В биосфере атомы химических элементов участвуют в биологических круговоротах, в ходе которых они поглощаются живым веществом и заряжаются энергией, затем покидают живое вещество, отдавая накопленную энергию в окружающую среду. За счет этой биогенной энергии осуществляются многие химические реакции. Главными носителями энергии являются природные воды. В результате биологического круговорота атомов происходит изменение химического состава биосферы, само поступательное развитие биосферы осуществляется через систему круговоротов (Перельман, 1973).

В. И. Вернадский определил важнейшие биогеохимические свойства жизни: «всюдность», «растекание» и «давление».

Имея в виду «всюдность», мы пытаемся определить границы жизни. Известно, что микроорганизмы живут на поверхности снега в высочайших горах и в то же время могут существовать под палящими лучами солнца в пустынях, где температура поверхности может превышать  $90^\circ\text{C}$ . Микробы обнаружены в океанических желобах на глубинах 10 – 11 км (Барабанов, 1985), там же еще в 1960 г. обнаружены ранее неизвестные науке рыбы и креветки. В гидротермах дна океана («черных курильщиках») на глубинах в 3 км и давлении около 300 атмосфер были обнаружены организмы, живущие при  $250^\circ\text{C}$ . Вода при такой температуре не кипит из-за высокого давления. Перегретая жидкая вода обнаружена в литосфере до глубины 10,5 км, так что теоретически там могут существовать и организмы. Глубже 25 км, по оценкам, должна существовать критическая температура в  $460^\circ\text{C}$ , при которой при любом давлении вода превращается в пар, и жизнь невозможна (Реймерс, 1994). В стратосфере на высотах 48 – 85 км известны несколько видов грибов (Барабанов, 1985). Захват жизнью биосферы не закончился (Горелов, 1998).

«Растекание» жизни выражается в том, что из весьма ограниченного числа простейших организмов за более чем трехмиллиардный период эволюции жизни сформировались и обособились многие тысячи видов: 500 тыс. видов растений и 1,5 млн. видов животных, в том числе позвоночных – 70 тыс., птиц – 16 тыс., млекопитающих – 12540 видов. Сам Вернадский считал, что нет убедительных научных данных о том, что живое когда-либо не существовало на нашей планете, т.е. жизнь зародилась вместе с формированием Земли (Горелов, 1998).

«Всюдность» и «растекание» жизни имеют своим следствием непрерывно растущее «давление» жизни как на среду обитания, так и на природу в целом.

Мы считаем, что современная наука только приближается к пониманию всей глубины «давления» жизни. С одной стороны, имеется четкое теоретическое обоснование рассматриваемого свойства. Рассмотрим его подробнее.

В подавляющем большинстве ландшафтов живые организмы оказывают огромное влияние на процессы миграции химических элементов. Для ландшафта характерна наибольшая на земле концентрация жизни, в нем биологические процессы протекают с наибольшей интенсивностью и наибольшим разнообразием. Важное значение имеют процессы прямой биогенной миграции, в ходе которой элементы поглощаются организмами. Эти процессы подчиняются биологическим закономерностям. Но в миграции элементов большую роль играют и такие чисто химические явления, как растворение, осаждение, гидролиз, окисление, восстановление и другие, которые могут протекать и без прямого участия организмов. Но и эти явления в ландшафте контролируются организмами. Именно они в основном создают физико-химические условия, которые определяют направление реакций. Таковы, в частности, окислительно-восстановительные и щелочно-кислотные условия, связанные обычно с содержанием в среде кислорода, углекислого газа, сероводорода, органических кислот и других продуктов минерализации органических веществ. Таким образом, химические реакции в большинстве ландшафтов протекают или при непосредственном участии организмов, т.е. носят биохимический характер, или протекают в среде, физико-химические особенности которой в основном обусловлены деятельностью организмов. Это позволяет говорить о законе геохимической роли живого вещества (законе В. И. Вернадского): основные геохимические особенности большинства ландшафтов определяются деятельностью живого вещества – совокупности живых организмов.

Сказанное относится не ко всем ландшафтам Земли, а только к тем, которые содержат живые организмы – биогенным ландшафтам. Однако именно к ним относится подавляющее большинство ландшафтов – это такие зональные ландшафты, как тундровые, таежные, широколиственных лесов, степные, постоянно влажные тропические леса, переменные влажные леса тропиков и субтропиков, а также такие распространенные азональные ландшафты, как болота. Биогенным, следовательно, называется такой ландшафт, в котором живое вещество, поглощая и трансформируя солнечную энергию, обуславливает важнейшие черты миграции химических элементов, определяет характер связи между атмосферой, гидросферой и литосферой. Чем больше живого вещества в ландшафте, тем сильнее его влияние на миграцию атомов. В ландшафтах, бедных живым веществом (пустынях, сухих степях), некоторые процессы не зависят от живого вещества. Кроме того, на Земле есть такие ландшафты, которые совсем не содержат живого вещества и в которых миграция химических элементов протекает в результате чисто физических и химических процессов без прямого участия жизни. Эти абиогенные ландшафты менее разнообразны, к ним относятся вечные снега и ледники Арктики и Антарктики, ландшафты высокогорий и некоторые другие. Хотя их площадь меньше, чем биогенных ландшафтов, они имеют большое значение как факторы формирования наиболее распространенных ландшафтов, влияя на климат, питание рек и т.д. (Перельман, 1961).

Однако чисто практическая и отчасти теоретическая стороны проблемы, по нашему мнению, далеки от разрешения. Насколько велико «давление» жизни в конкретных ландшафтах, каков механизм этого воздействия в некоторых системах, каким образом переплетаются биогенные и абиогенные природные компоненты?

Рассмотрим один из аспектов, который нам представляется очень важным. Во второй половине XX в. в целом ряде естественных наук стали накапливаться сведения о роли транспирационных испарений высших растений в формировании химического состава нижних слоев атмосферного воздуха. По схеме П. Г. Гребенюкова и др., 1975,

происходит это следующим образом. Корневой системе принадлежит роль первичного контакта с питательным субстратом почвы, и усвоение веществ из почвенных растворов происходит в основном в ионной форме. Обычно в почве нет достаточного количества всех питательных веществ, поэтому корневая система устроена так, что позволяет пропускать через себя в надземные органы значительно большее количество солей, часто в иных соотношениях ионов, чем это требовалось бы исходя из физиологической потребности питания. Движение растворенных минеральных и органических солей, видимо, происходит в основном по «свободному пространству», которое у большинства растений образует своеобразную сосудистую систему от корней до листьев включительно. Очевидно, транспирационный поток жидкости, циркулирующий по «свободному пространству», растение использует как для питания, так и для выбрасывания отходов продуктов жизнедеятельности. В листьях, как известно, происходит синтез органических веществ, в результате которого образуются питательные вещества на углеводной основе, а неиспользованные в результате этих процессов вещества, в том числе принесенные снизу транспирационным током, при барботаже водяного пара частично уносятся через устьичные щели листьев в атмосферу. Листья, вероятно, не всегда могут справляться с функцией органов выделения, и поэтому остатки продуктов жизнедеятельности выбрасываются в виде так называемых корневых выделений.

Однако остается не до конца нерешенным вопрос о дальнейшей судьбе фитогенных аэрозолей, в частности, об их возможном влиянии на химизм атмосферных осадков. По нашим сведениям, впервые в такой плоскости взглянули на проблему казахстанские ученые в 70-х гг. XX в. (Ахмедсафин и др., 1978). Они проанализировали все основные источники образования атмосферных ядер конденсации. К ним относятся следующие. 1. Морские соли при молекулярном испарении и сублимации, при их химических превращениях под воздействием ультрафиолетовых лучей или в результате разбрызгивания воды силами ветра с морской поверхности и поднятия капель-брызг вверх воздушным потоком. 2. Континентальные соли в результате дефляции продуктов выветривания горных пород и почв. 3. Газы и пепел при извержении вулканов. 4. Газы и отходы промышленности. Большинство источников ядрообразования, кроме морских, действует эпизодически на ограниченной территории, в определенных условиях, и их обычно относят к разряду местных, но по морской гипотезе остаются труднообъяснимыми следующие две общие закономерности формирования атмосферного аэрозоля: 1) средняя концентрация ядер конденсации нижних слоев тропосферы над островами и континентами сельской местности примерно в 10 раз больше, чем над поверхностью Мирового океана; 2) соотношение ионов в морской и океанической воде показывает преобладание аниона  $Cl$  и незначительное содержание  $Ca$  и  $HCO_3$ . На суше хлориды имеют уже второстепенное значение, а суммарное весовое содержание кальция и гидрокарбонатов увеличивается от 33 до 59% при содержании этих ингредиентов в морской воде, равном 1,4%.

Затем было выполнено сопоставление химического состава атмосферных осадков, выпавших в Южном Прибалхашье, транспирационной влаги, собранной также в Ю. Прибалхашье и окрестностях г. Алма-Аты, и океанической воды. Оно показало, что в первых двух объектах анализа отмечается пониженное содержание хлоридов, высокое содержание гидрокарбонатов и кальция, преобладание содержания кальция над магнием. Даже общее содержание солей в атмосферных осадках и транспирационной воде одного порядка. Исключение составляет их повышенная минерализация в Южном Прибалхашье, объясняемая, видимо, загрязнением атмосферы пыльными бурями. Морская же вода, являющаяся основным источником образования водяных паров в атмосфере, по химическому составу резко отличается от метеорных осадков.



У. М. Ахмедсафин и соавторы делают следующие выводы. 1. Морская гипотеза не может претендовать на универсальность. 2. Химический состав атмосферных осадков над материками, в частности, соотношение ионов, больше соответствует химизму транспирационной, чем морской воды. Это подтверждает обусловленность формирования химического состава атмосферных осадков над материками биогенным аэрозолем, выделяемым растениями.

Подчеркнем, что эти выводы базируются на сопоставлении химизма двух объектов. С одной стороны, за основу взяты среднемесячные содержания макроэлементов, на основании которых рассчитаны среднегодовые величины. Однако, видимо, правильнее было исключить месяцы, когда транспирация подавлена (а это, предположительно, более полугода). Второе. Для получения средней величины использовались все имеющиеся пробы осадков, следовательно, были проанализированы как фронтальные, так и внутримассовые осадки. Циклоны, зародившиеся за сотни километров от Прибалхашья, приносят осадки иной природы, чем местные. Третье. Количество проанализированных ингредиентов равно семи, из них по трем ингредиентам (хлору, сульфат-иону и магнию) обнаружены близкие значения в двух объектах (концентрации гидрокарбонатов, хлора, кальция, натрия+калия существенно отличаются), что, возможно, недостаточно для столь серьезных выводов. И, наконец, имеются сомнения в правильности самой гипотезы: могут ли транспирационные выделения скудной пустынной растительности обуславливать формирование химического состава атмосферных осадков? Согласно фундаментального положения биогеохимии и геохимии ландшафта, чем меньше живого вещества в ландшафте, тем слабее его влияние на миграцию атомов. Возможно, фитогенная атмосферная миграция элементов оказывается решающей в формировании местных осадков, но такой вывод из цитированной статьи сделать нельзя.

Нами была выдвинута гипотеза о взаимосвязи химизма атмосферных осадков местного происхождения в теплое время года и таким аспектом жизнедеятельности растений, как транспирационные выделения.

Для определения вещественного состава транспирационных испарений высших растений был поставлен в 2001 г. следующий эксперимент.

В среднетаежных ландшафтах в пределах супераквального ландшафта выбраны типичные древесные растения, на ветви которых были надеты новые полиэтиленовые пакеты, которые плотно затягивались шпагатом. В пакетах аккумулировались конденсаты, необходимые для анализа. Рядом с обследованными древесными растениями была выбрана поляна с типичными травянистыми растениями, в центре которой была установлена специально сконструированная полиэтиленовая палатка без днища. Палатка выполняла ту же функцию, что и пакеты. Обязательно с большой точностью определялся объем собранной влаги.

Главным фактором, осложняющим выполнение анализа, видимо, является техногенез, поскольку последний во многих случаях будет доминировать и подавлять другие воздействия. Поэтому нами выполнены исследования в заповеднике «Денежкин Камень», расположенном на значительном расстоянии от населенных пунктов. Так, расстояние до ближайшего села с населением несколько сотен жителей составляет 25 км, до ближайшего города Североуральска с населением около 40 тыс. жителей – 40 км, причем в городе развита горно-рудная промышленность (добыча бокситов шахтным способом), что определяет почти полное отсутствие дальнего переноса загрязняющих веществ. Ближайший к заповеднику крупный завод со значительными выбросами в атмосферу находится в г. Краснотурьинске в 85 км, причем роза ветров предполагает преимущественный перенос загрязнителей в противоположную от заповедника сторону.

Для проверки данной гипотезы требуется, по нашему мнению, обобрать пробы отнюдь не любого дождя. Во-первых, осадки должны быть внутримассовыми, а не фронтальными, во-вторых, выпадению дождя должна предшествовать сухая погода и, наконец, желателен затяжной слабоинтенсивный дождь. Наши предположения отчасти базируются на известных закономерностях как глобального, так и регионального ранга (Юнге, Петренчук, 1963, Петренчук, Селезнева, 1962, Черняева и др., 1978). При соблюдении этих требований химизм дождя будет в максимальной степени соответствовать местным условиям и перед исследователем закономерно встанет вопрос о том, какой из местных факторов является наиболее значащим. Исходя из сказанного, можно констатировать, что взятие на анализ пробы соответствующего нашим требованиям дождя в заповеднике, причем в то же время и буквально в том же месте, когда и где собирались конденсаты, произошло отчасти по счастливой случайности.

Анализ конденсатов и других растворов был выполнен в аналитической лаборатории Института химии твердого тела УрО РАН с использованием ICP-MS метода на приборе Spectromass 2000 (Spectro AI, Germany) в режиме RQ (RapiQuant). Метод основан на использовании квадрупольного масс-анализатора низкого разрешения в качестве детектора ионов, образующихся в индуктивно-связанной плазме. Метод ICP-MS в обычном варианте при анализе растворов обеспечивает получение очень низких ПрО (пределов обнаружения) для большинства элементов на уровне  $10^{-3}$ - $10^{-2}$  мкг/л, что на 1–3 порядка меньше, чем в методе ICP-AES (Музгин и др., 1998).

На всех этапах выполнялись самые жесткие требования к чистоте эксперимента, в частности, контейнеры для образцов и реактивы были тщательно протестированы на загрязненность. Эта процедура является совершенно необходимой, особенно в случаях определения ультранизких концентраций следовых элементов (Gasparon, 1998, p. 207-214).

Серьезное затруднение при нахождении корреляций между различными объектами представляет собой ограниченность числа анализируемых химических элементов, поскольку при сравнении всего нескольких параметров возможны случайные совпадения. Поэтому в идеале количество элементов должно составлять 89 (число известных в природе химических элементов) или приближаться к этому числу. Нам удалось проанализировать 72 элемента: 9 главных и 63 рассеянных элементов. Все элементы были разделены на три подгруппы: 1-я подгруппа – элементы, имеющие близкие значения концентраций в дождевой воде и в конденсатах, 2-я подгруппа – элементы, концентрация которых выше в атмосферных осадках, 3-я подгруппа – элементы, концентрация которых выше в конденсатах. Однако, поскольку в конденсатах разных древесных пород содержание некоторых элементов может изменяться в довольно широких пределах (в разы, иногда на порядок), такие элементы были помещены в две группы.

В результате анализа 54 элемента отнесены в первую подгруппу. Из них 8 элементов имели в ряде случаев концентрации, более высокие в осадках по сравнению с конденсатами (галлий, германий, мышьяк, ниобий, теллур, лантан, церий) и 6 элементов с обратным соотношением (серебро, золото, платина, кадмий, олово, цезий). Элементы, входящие в первую подгруппу, часто далеки друг от друга как по свойствам, так и поведению в природе, что естественно с учетом большого числа членов. Так, к рассматриваемой подгруппе относятся 3 главных элемента: кремний, сера, железо, причем два последних – элементы-биофилы, остальные – рассеянные элементы, из которых бор, марганец, селен, молибден, иод, цезий. Тем не менее, четко выделяется большая группа родственных элементов: редкие земли (иттрий и лантаноиды), которые характеризуются низкими концентрациями почти во всех природных объектах (и в том числе сравниваемых). Их количество – 13, т.е. нам удалось определить почти все TR.

Во вторую подгруппу вошли 13 элементов. К ним относятся большая часть главных элементов: биофилы натрия, магний, фосфор, ванадий, а также кальций и алюминий. Остальные 7 элементов – рассеянные, из которых – два биофила (цинк и ванадий), а два элемента имеют ярко выраженные ядовитые свойства (галлий, свинец).

Третью подгруппу составили 5 элементов, из них два биофила (кобальт, медь), два благородных металла (золото, платина) и индий.

Распределение элементов-биофилов по трем подгруппам (8:6:2) по формальному признаку подтверждает выдвинутую гипотезу. Напомним, что среди элементов таблицы Менделеева выделяют 21 биофил, т.е. такие элементы, которые обязательно входят в состав любого живого организма. Без них жизнь невозможна (Бондарев, 1984). Однако особенности физиологии растений таковы, что через них могут проходить транзитом практически все элементы без связи с потребностями питания растений. Следовательно, биофильность элемента в данном случае не играет какой-то существенной роли.

Изложенные выше факты мы объясняем следующим образом. В изученных фоновых ландшафтах главной движущей силой массопереноса являются живые растения. Мельчайшие частицы, «вылетающие» вместе с водяным паром через устьица, постепенно укрупняясь, частично выполняют роль ядер конденсации, частично – захватываются каплями дождя. Соответственно, они просто «обречены» когда-то вернуться к «матери земле», скорее всего несколько задержавшись на листовых пластинках растений, находясь в жидкой фазе. Сам механизм частично изложен Ф. Вентом (Went, 1960.).

Наши наблюдения подтверждают правильность отмеченного механизма миграции. Так, в начале августа 2002 г. на Ю. Урале нам исключительно повезло пронаблюдать смену насыщенной голубой дымки на обычную, молочно-белую. Массы аэрозолей, создавшие голубой цвет дымки, очевидно, не могли бесследно исчезнуть при условии безветренной погоды за несколько часов (примерно 12), они оказались захваченными капельками влаги, которые, очевидно, смачивали растения (вероятно, подпитывая их). Какая-то часть обогащенной фитогенными аэрозолями влаги оказалась сразу на поверхности почвы, какая-то часть испарилась, при этом аэрозоли снова оказались “свободными” и, соответственно, способными вовлекаться в атмосферную миграцию. Однако, возможно и другое развитие событий. В случае дождя капельки, создающие эффект дымки, обязательно бы растворились в дождевой влаге и в значительной мере определили химизм осадков. Видимо, и в условиях нашего эксперимента происходили аналогичные явления.

В наиболее распространенных случаях, при выпадении фронтальных осадков, доминирующими элементами, выполняющими роль ядер конденсации, возможно, будут те, которые принесены воздушной массой из удаленных районов. Соответственно, местные процессы фитогенной миграции элементов будут играть подчиненную роль, по крайней мере в отношении ряда элементов.

Однако и последнее предположение, возможно, будет в скором времени скорректировано. После трагических событий лета 2002г. на Кавказе, по телевидению выступал начальник Центра геофизических исследований Селицкий, который утверждал, что влага, выпавшая в виде осадков (в частности, на Кавказе), имеет местное происхождение, она ниоткуда не приносится, как это всегда традиционно объясняла синоптическая метеорология. Если данное предположение верное, то это означает необходимость переосмысления многих процессов массообмена, что, в свою очередь, поставит новые вопросы и относительно функционирования ландшафтов.

В заключение отметим, что выдвинутая нами гипотеза о взаимосвязи химизма атмосферных осадков в теплое время года и таким аспектом жизнедеятельности растений, как транспирационные выделения, получила подтверждение. Следовательно,

«давление жизни» проявляется и в таком, казалось бы, абиогенном процессе, как осадкообразование.

## Литература

Ахмедсафин, У. М. О влиянии транспирации растений на химический состав атмосферных осадков [Текст] / У. М. Ахмедсафин, П. Г. Гребенюков, В. Н. Иванов // Вестник АН Каз. ССРСР. 1978. № 3. С. 49-53.

Барабанов, В. Ф. Геохимия [Текст] / В. Ф. Барабанов. Л. : Недра, 1985. 423 с.

Бейли, Д. Доисторический Мир [Текст] / Д. Бейли, Т. Седдон. М. : Росмэн, 1995. 160 с.

Бондарев, Л. Г. Микроэлементы – благо и зло [Текст] / Л. Г. Бондарев. М. : Знание, 1984. 144 с.

Гребенюков, П. Г. Роль химического состава транспирационной воды в минеральном питании растений [Текст] / П. Г. Гребенюков, Ж. С. Сыдыков, В. Н. Иванов // Вестник АН Каз. ССРСР. 1975. № 10. С. 49-53.

Добровольский, В. В. Основы биогеохимии [Текст] / В. В. Добровольский. М. : Высшая школа, 1998. 413 с.

Вернадский, В. И. Биосфера [Текст]. Избранные труды по биогеохимии / В. И. Вернадский. М. : Мысль, 1967. 376 с.

Вернадский, В. И. Очерки геохимии [Текст] / В. И. Вернадский. М. : Наука, 1983. 422 с.

Вернадский, В. И. Химическое строение биосферы и ее окружения [Текст] / В. И. Вернадский. М. : Наука, 1987. С. 212-261 (Глава 19. Живое вещество биосферы Земли как планетное явление).

Музгин, В. Н. Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой – новый метод в аналитической химии [Текст] / В. Н. Музгин, Н. Н. Емельянова, А. А. Пупышев // Аналитика и контроль. 1998. № 3-4. С. 3-25.

Перельман, А. И. Геохимия ландшафта [Текст] / А. И. Перельман. М. : Географгиз, 1961. 496 с.

Перельман, А. И. Геохимия биосферы [Текст] / А. И. Перельман. М. : Наука, 1973. 167 с.

Петренчук, О. П. Изменение концентраций основных химических примесей в осадках в зависимости от метеорологических условий [Текст] / О. П. Петренчук, Е. С. Селезнева // Тр. ГГО. 1962. Вып. 134. С. 14-25.

Петренчук, О. П. Изменение состава атмосферных осадков в районе Свердловска в зависимости от метеорологических условий [Текст] / О. П. Петренчук // Тр. ГГО. 1963. Вып. 141. С. 28-35.

Реймерс, Н. Ф. Экология: Теория, законы, правила, принципы и гипотезы [Текст] / Н. Ф. Реймерс. М. : Мысль, 1994.

Черняева, Л. Е. Химический состав атмосферных осадков (Урал и Приуралье) [Текст] / Л. Е. Черняева, А. М. Черняев, А. К. Могиленских. Л. : Гидрометеоздат, 1978. 178 с.

Юнге, Х. Химический состав и радиоактивность атмосферы [Текст] / Х. Юнге. М. : Мир, 1965. 423 с.

Gasparon, M. Trace metals in water samples: minimising contamination during sampling and storage [Text] / M. Gasparon // Environmental Geology. 1998. 36 (3-4), December. P. 207-214.

Went, F. W. Organic mater in the atmosphere, and its possible relation to petroleum formation [Text] / F. W. Went // The Proceedings. 1960. № 46. P. 212-221.

Учебное издание

**Материалы к курсам «Геохимия ландшафта» и  
«Концепции современного естествознания»**

Уральский государственный педагогический университет  
620017, г. Екатеринбург, пр. Космонавтов, 26