

1. Название. Представленная программа представляет продолжение аналогичной программы, организованной А.Ю.Розановым и Н.Л.Добрецовым 3 года назад. Особо следует отметить формулировку "гео-биосферная эволюция" с выделением значения наук о Земле. В своем докладе для очень широкой аудитории от молекулярных биологов до медиков мне необходимо дать целостную картину проблемы, потому что изменение привычных масштабов биолога от времени жизни нескольких поколений на 4 миллиарда лет истории и пространства от ландшафта к 500 млн. кв. км поверхности Земли требует психологической перестройки мышления. Координатор программы не только участвует в её составлении, но должен дать обобщение результатов, помимо формального отчета, который готовится технически и публикуется. Я не Александр Гумбольдт, чтобы справиться с такой задачей. Поэтому мне приходится быть очень поверхностным и фрагментарным, но общую картину, которую вы могли бы пересказать своим внукам, я обязан дать. В своем докладе я хотел представить в связанном виде некоторую часть работ по программе, которая дает представление о ранних этапах эволюции, преимущественно протерозойской и избежать отчетного перечисления, которое, по моему опыту, совершенно не усваивается слушателями.
2. Ныне действующая программа 2010 г представляет по своей структуре и составу исполнителей прямое продолжение ранее действовавшей, поскольку из-за сумятицы в январе было признано невозможным реконструировать программу и изменить сложившийся коллектив. Программа в принципе междисциплинарная, а не биологическая, как "Биоразнообразие" и требует кооперации разных Отделений, прежде всего с науками о Земле.
3. Науки о Земле представлены прежде всего Сибирским и Уральским Отделениями, в то время как крайне важные по своей тематике Геологический институт и Институт Океанологии, остались в группе, координируемой Э.М.Галимовым.
4. Сокращение финансирования привело к тому, что работа в 2010 ведется на основе добротных даяний, составляющих несколько менее половины всего финансирование. Это сильно ограничивает возможности целевой организации программы. Палеонтологический институт осуществляет роль организационной инфраструктуры с затратами примерно 1/3 средств центрального региона. Я особо хотел бы отметить роль Сергея Владимировича Рожнова в части эволюция "Эволюция биосферы" и Алексея Владимировича Лопатина в части "Возникновение жизни".
5. Результаты Программы были опубликованы в 2-х книгах, первой, изданной Шпрингером, и второй – Палеонтологическим институтом, и ряде отчетов.
6. Программа естественно распадается на две части: "Происхождение жизни" и "Эволюция гео-биологических систем".
7. В "Происхождении жизни" я хотел бы обратить внимание на две альтернативы. Экспериментальным фактом является *появление* жизни на Земле 3.8. млрд. лет назад. Этот факт подтверждается разнообразными свидетельствами, такими как наличие органического вещества, так и палеонтологическими микрофоссилиями, геологическими структурами строматолитов. Споры вокруг каждого конкретного факта много, но их сумма не оставляет сомнений в правильности общего вывода о времени начала организменной жизни. Появлению жизни должны предшествовать условия для её существования, поскольку *обитаемость предшествует обитанию*. Таким условием является формирование *географической оболочки*. Это принципиальное понятие было введено в 1932. г. акад. А.А. Григорьевым и

- соответствует взаимодействующей системе поверхностных слоев гидросферы, атмосферы, литосферы в зоне гипергенеза, т.е. проникновения вод. Рассматривая эволюцию гео-биологических систем, фактически мы рассматриваем эволюцию географической оболочки. Два варианта появления жизни на Земле включают *возникновение* жизни в результате химической эволюции или основанное на данных астробиологии *внеземное происхождение* жизни.
8. Для возникновения жизни наиболее продвинутой гипотезой является представление о "мире РНК", подробно изложенное А.С.Спириным и Четвериним.
 9. Внеземное происхождение жизни получило свое фактическое основание с открытием микрофоссилий в метеоритах А.Ю.Розановым и его отечественными и зарубежными коллегами. Здесь существенно понять, что в противоположность традиционным взглядам о панспермии с космической пылью высока вероятность переноса относительно крупным космическим телом, получившим название "грязного льда" как кометы. Такое тело способно переносить не отдельную клетку, а *целое сообщество*, существовавшее на родительском теле. Таким образом преодолевается экологическая невозможность первоначальной монофилии, сформулированная Вернадским, поскольку происходит инокуляция целым комплексом организмов. В ископаемых материалах 3.8 млрд. лет наблюдается именно такое разнородное сообщество.
 10. Географическая оболочка представляет открытую систему в отличие от закрытой по материальному балансу системы Земли. На географическую оболочку воздействуют: а) астрономические факторы, которые кроме положения планеты относительно Солнца для времени в 4 миллиарда лет могут включать и положение Солнечной системы в космосе, но и служат непосредственным источником 10^{11} - 10^{12} г/год космической пыли; б) изменение светимости Солнца за 4 млрд. лет его существования как по общей светимости, так и по составу излучения; в) фотохимические реакции в атмосфере неизвестного химического состава, которые имеют в общем окислительный характер из-за диссипации водорода и приведут к окислительной смерти планеты; г) атмосферный гидрологический цикл как основной механизм выветривания с непонятным состоянием облачного покрова как важнейшим климатическим фактором; д) определенная последовательность изменений твердой поверхности, фиксированная в геологической летописи – единственная опорная фактическая последовательность событий; е) эвстатические колебания уровня океана, ведущие к изменению водной поверхности и суши на величину до 100 млн. кв. км.; ж) тектоника, которая помимо изменения материального баланса в географической оболочке, дает изотопную датировку событий.
 11. В географической оболочке все эти компоненты связаны между собой в строгую систему абиотических и биотических событий с важным компонентом биотических циклов, использующих внешнюю солнечную энергию для химических преобразований.
 12. Принципиальным положением, на которое я считаю необходимым обратить особое внимание, является *мозаичность* географической оболочки. Общее состояние планеты, прежде всего её климата, не исключает ни зональности, ни разнообразия региональных и локальных условий. При переходе к значимым для биоты масштабам мы вынуждены оперировать *ландшафтом*. Из-за мозаичности географических условий на Земле могут постоянно сохраняться *рефугиумы* для разных организмов. Оценивая состояние географической оболочки для определенных периодов времени можно говорить об общих тенденциях, осуществляемых мозаичным разнообразием.
 13. Стандартное представление о химических взаимодействиях определяется биогеохимическими циклами с жесткими количественными отношениями и

- ведущей ролью цикла органического углерода. В общем, поток включения CO_2 в цикл органического углерода пропорционален поверхностной плотности хлорофилла и, если считать её примерно постоянной для поверхности Земли, то входящий поток составляет около $n \cdot 10^{17}$ г С/год, с большими колебаниями по п. Это лукавая цифра, поскольку она включает ряд частных циклов с иными временными и пространственными характеристиками. Химически эволюцию биосферы можно количественно описывать в терминах цикла $\text{C}_{\text{орг}}$. Основным выходом из цикла служит кероген.
14. Мертвое органическое вещество представлено в основном керогеном – рассеянным органическим веществом осадочных горных пород. Для эволюции географической оболочки именно кероген имеет количественно определяющее значение. Это конечный пункт иммобилизации $\text{C}_{\text{орг}}$ в земной системе. Существенно, что резервуар керогена стехиометрически сбалансирован с избыточным O_2 , как бросовым продуктом оксигенного фотосинтеза.
 15. История биосферы может быть представлена как *биогеохимическая сукцессия* крупного масштаба. Для общей ориентировки в направлении изменений в течение 4 млрд. лет здесь дается приблизительная картина изменений, в первую очередь в области седиментации. Следует обратить внимание на преобладание доломитов в период внеклеточного отложения карбонатов и отложение карбонатов кальция с появлением механизмов внутриклеточного отложения. Ранние этапы связаны с железной биосферой и сидеритом как типоморфным минералом. Очень настораживает история сульфатов, которые появляются в океане относительно поздно около 2 млрд. лет, одновременно с оксигенированием атмосферы, хотя отложения барита известны для самых древних отложений в 3 млрд.
 16. Критические для географической оболочки события в эволюции биоты связаны с геобиофизическими факторами, которые ускользают из внимания при несистемном подходе и кажутся второстепенными, как например развитие биофильтрации с изменением хода осадконакопления, и эвапотранспирации сосудистых растений, влияющей на атмосферный гидрологический цикл вовлечением подземных вод и, соответственно, ход выветривания.
 17. Аддитивная эволюция дает картину крупномасштабной эволюции биоты, где все новое включается в старую систему, сохранение которой служит условием существования нового. Субституитивная конкурентная эволюция относится к иному масштабу событий. Следует обратить внимание на позднее развитие последующих ступеней эволюции, которые, создают почвенно-растительный покров.
 18. Постоянно действующим фактором эволюции на протяжении 3.8 млрд. лет служит бактериальная биота. Каких представителей её следует считать первичными?
 19. Первичной автономной биотой признается сейчас микробиота гидрогенотрофных хемосинтетиков, возможности для существования которых проходят через всю историю биосферы благодаря эндогенному источнику H_2 , образуемому при реакции воды с перегретыми горными породами. Они представлены глубинной микробиотой и обитателями гидротерм. Для этой функциональной группы организмов проблему представляет акцептор электрона для энергетической реакции.
 20. В Институте микробиологии в лаборатории Е.А.Бонч-Осмоловской было выделено большое число термофильных бактерий и архей, представителей основных физиологических групп по метаболизму, значительная часть которых получила полногеномную характеристику.
 21. Один из примеров организмов из глубоких скважин Сибири приведен на слайде. Карта его метаболизма выявила генетические возможности для реакций, не обнаруженных культуральными методами.

22. Удобные условия для анализа перехода между неоархеем и палеопротерозоем в критический для биосферы период около 2 млрд. лет, когда произошло оксигенирование атмосферы, прослеживается на меридиональном разрезе от Кольского полуострова к Прионежью. Следует учитывать, что окислительные условия в водоемах образовывались ранее, чем в атмосфере, поскольку именно гидросфера служила источником O_2 для атмосферы. В Прионежье получены материалы, показавшие, что коры выветривания архея образовывались при участии микроорганизмов, создававших на них биопленки.
23. Новым в понимании ранних этапов эволюции биосферы является представление о "железном океане", который существовал с начала осадочной летописи до, примерно, 1.8 млрд. лет назад. В этих условиях как окислители железа действовали микроаэрофильные железобактерии, до сих пор трудный объект для микробиологов. Открытые тогда Баргхорном ископаемые железобактерии Eoastrion наблюдались сперва в отложениях Карельских озер Б.В.Перфильевым под названием Metallogenium, потом были получены в культуре, но современная их интерпретация – внеклеточная оксидаза, а не самостоятельный организм. Восстановление железа осуществляют диссимиляторные железоредукторы, которые были открыты в Институте микробиологии несколько ранее американцев, развернувших очень широкие работы по этой проблеме. На схеме показана предполагаемая схема образования поздних железорудных формаций Ганфлинт 1.8 млрд. лет. Возможно, условия образования Курской магнитной аномалии или Костомукши были иными. Внимание привлекло образование магнетита. Существование "железного океана" и его убыль коррелирует с образованием двухслойной мантии с обеднением верхнего слоя железом, которое описывает для этого периода Н.Л.Добрецов.
24. О строматолитах – окаменевших циано-бактериальных матах – мы знаем достаточно много как в полевых исследованиях, так и в лабораторном моделировании. Загадкой остается быстрое образование доломита, сохраняющего текстуру сообщества.
25. Переход к условиям географической оболочки на суше лучше всего иллюстрировать орографическим срезом через кратон, на активном крае которого возникает горный пояс, а пассивный край затапливается эпиконтинентальным морем. Микробные сообщества распределяются по профилю строго закономерно. Не вдаваясь в детали этой важной схемы, следует обратить внимание на две крайние точки.
26. На пассивном крае континента образуются лагуны, в аридном климате гиперсоленые, отделенные от моря барьером, иногда рифовым. В лагунах и зарифовом пространстве происходит испарительная хемогенная садка минералов.
27. При хемогенной садке происходит концентрация питательных веществ и поэтому сообщество лагуны может быть очень продуктивным, тем более, что высокая соленость подавляет деятельность большинства фильтраторов. Крайним примером фотосинтетических продуцентов может служить цианобактерия Halothese – Euhalothese, развивающаяся в маточном рассоле между кристаллами соды в содовых озерах и кристаллами галита – в морских.
28. Прямую противоположность эндоэвапоритовым галофилам составляют омброфилы – обитатели ультрапресной воды с содержанием солей в десятках миллиграмм. Ультрапресные воды возникают из атмосферных осадков. Они начинают наземный цикл воды и почему-то выпали из внимания. Статья о них напечатана в "Природе" в расчете на школьного учителя биологии с соответствующими доступными опытами. Я хочу обратить внимание, что Александр Федорович Андреев добился включения электронной версии "Природы"

- в электронное издание на сайте Президиума РАН и теперь журнал становится доступным на всем русскоязычном пространстве.
29. Омброфилы – важнейшая группа для равнинной России и область их возможного распространения прослеживается на гидрологических картах, составленных в ИАASA под руководством РАН.
 30. Следует обратить внимание на опосредованное влияние микробиоты на седиментологию вследствие образования внеклеточных полисахаридов, образующих склеивающее вещество для тонкодисперсных илистых минералов, прежде всего глинистых. В данном случае склеена монтмориллонитовая глина с примесью калиевых полевых шпатов в ультрапресном микробном сообществе – лабораторной "луже". Обратите внимание на отсутствие трихомов формидиума и бентосной анабены, сформировавших мат. Микробные слизи представляют интересный источник $C_{орг}$ для глинистых сланцев и керогена.
 31. Особый интерес представляют данные сибирских ученых, располагающих лучшими географическими возможностями для исследования сибирских местонахождений.
 32. Прежде всего это относится к протерозою, критическому этапу в формировании биосферы современного типа.
 33. Из множества интересных данных я хотел бы обратить ваше внимание на раннее возникновение грибной микробиоты. В зарубежной, да и в нашей, литературе обычно ссылаются на арбускулярную микоризу риниевых растений. До сих пор считают, что грибы появились одновременно с растениями 400 млн. лет назад как микориза, хотя есть мнение, что проводящая система растений возникла в результате симбиоза с грибами.
 34. Протерозойский этап хорошо представлен в разрезах Сибири и я хочу обратить Ваше внимание на время появления грибов как типично наземной биоты с характерным мицелиальным строением.
 35. Лахандинская свита с возрастом 1 млрд. лет, образованная в опресненных условиях седиментации, содержит ветвящиеся нитевидные организмы *Tarpania*, о которой утверждается, что это мицелиальный организм. Трудности в различии между фикомицетом и нитчатой водорослью очень велики, но в любом случае это многоклеточный растительный организм. Таппаниевая микробиота очень выразительна.
 36. Прямое влияние биоты на геоморфологию проявляется в формировании рифовых систем. На карте видно, что равнины России имеют погребенный рифовый скелет, унаследованный из девона. Рифы не только представляют нерудные ископаемые, но служат фактором образования нефтегазоносных провинций. Меньшее внимание было уделено влиянию погребенных рифов на подземную гидрогеологию.
 37. Они формируют расположение речной сети, которая обнажает их к удовольствию любителей природы.
 38. Переход к тканевым организмам относят к эпохе венда, и на этом этапе я позволю себе остановиться, оставив завершающие 700 млн. лет эволюции для биосферы для иного сообщения.

Происхождение и эволюция гео-биологических систем
Программа Президиума РАН
доклад на ОБН 17.5.10

Программа представляет продолжение Программы, организованной Н.Л.Добрецовым, А.Ю.Розановым, Э.М.Галимовым, М.А.Виноградовым три года назад. Результаты работы опубликованы в трех сборниках, посвященных прежде всего проблеме происхождения жизни. Новую программу было предложено сформировать мне из расчета 50 млн., но вследствие решения Президиума она распалась на две – одну, которую ведет Э.М.Галимов, и вторую, которой руководят Г.А.Заварзин, А.Ю.Розанов, Н.Л.Добрецов, Н.А. Колчанов. Как видно, программа предполагалась как междисциплинарная и межотделенческая, но это удалось лишь отчасти и вследствие разного рода перетурбаций в программе осталось 17 млн. для центра, и некоторые суммы по региональным Отделениям. Базовым институтом является Палеонтологический институт им. Борисяка, который ведет всю организационную работу, обладая для этого полноценными возможностями. Таким образом, программа меньше Программы биоотделения в 28 млн. руб. и ведется в основном на добротные даяния. Неопределенность с финансированием не дала возможности провести полноценный конкурс и в программе остались продолжающиеся проекты. Таким образом, мне приходится представлять собранию некое лоскутное одеяло.

Основная идея состоит в том, чтобы провести анализ, аналогичный международной программе IGBP – International Geospheric Biospheric Programme – в научном совете которой я состоял длительное время, но не ограниченный несколькими сотнями лет, а на протяжении всей истории биосферы. Такой анализ поневоле может быть только очень поверхностным и в принципе междисциплинарным, где биология представляет только одну, но важную часть эволюционных процессов. В биологической аудитории мне придется напомнить некоторые общие положения, ускользающие от внимания специалистов, и прежде всего касающиеся наук о Земле.

Появление живых организмов на Земле датируется ранее 3.8 млрд. лет назад на основании разных фактов, к которым следует отнести наличие органического вещества в древнейших осадочных горных породах, изотопных маркеров, микрофоссилий, строматолитов. Относительно этой даты существует консенсус.

Появлению живых организмов предшествуют два возможных варианта:

1. Химическая эволюция опирается на самосборку предшественников организмов в виде "мира РНК". В этой гипотезе узким местом пока являются (а) концентрация химических предшественников абиогенного происхождения; (б) энергетическая система предорганизменных образований. Условия, в которых могут размножаться подобные системы, очерчены лишь в общих чертах.
2. Астробиологическая гипотеза появления жизни на Земле опирается на находки бактериоморфных структур в определенной группе метеоритов. Возражения против этой гипотезы сводятся к тому, что наблюдаемые структуры представляют минеральные слепки, а не сами организмы. Морфологическая картина находится вне доверия химиков, хотя находясь на такой позиции, пришлось бы вообще отменить палеонтологию.

Обе гипотезы на мой взгляд принципиально неполноценны, поскольку необходимо выяснять не столько первичный организм, сколько первичную экосистему, в которой он может существовать. По моему пониманию *обитаемость предшествует обитанию*. *Habitability precedes habitation* – я придерживаюсь этой формулировки, предложенной мной в 2004 г. Среда, непригодная для обитания, не может содержать обитателей.

Поэтому приходится отвлекаться от привычных для биологов понятий и обратиться к геосфере и поискам пригодных для жизни экосистем. Анализ этой области приводит к двум проблемам, обусловленным прежде всего масштабом. При анализе эволюции геобиосферной системы необходимо описывать состояние земной поверхности в 500 млн. кв. км на протяжении 4 млрд. лет. Эти величины очень плохо представимы и попытки оперировать осредненными понятиями заведомо ведут к грубым заблуждениям. Современная Земля имеет среднюю температуру $+15^{\circ}$, но это не значит, что на ней нет ледяных пустынь и парниковых тропиков. Для живых существ имеет значение ландшафт, относительно небольшой участок земной поверхности. С биологической позиции я полностью поддерживаю геолога Ohama, который настаивает на всегдашней *мозаичности* земной поверхности. Вместо разговора о Земле в целом следует рассматривать состояние её *географической оболочки*, как назвал её в 1932 г. географ акад. Григорьев. Под английским словом Geosphere в международной программе подразумевается именно географическая, или более узко – ландшафтная – оболочка в 500 млн. кв. км. поверхности раздела с атмосферой. Для прошлого необходимо пользоваться фациальным анализом. Такое же положение с временем в сотни миллионов и миллиарды лет. Географическая поверхность сложена океаном как единой сообщающейся водной массой, составляющем сейчас 2/3 земной поверхности, относительно однородной по составу, и сушей, состоящих из различных блоков-кратонов с удельным весом менее 3 г/куб.см, перемещающихся по географической поверхности со скоростью $n \cdot 10^{-5}$ км/год, унося на своей поверхности части осадочной оболочки.

Из всего сказанного следует, что попытка подменить эволюцию биосферы эволюцией биоты представляет очень грубую схематизацию. Каждая часть географической оболочки имеет собственную эволюцию, сопряженную с другими частями, но в основе определяемыми внутренними закономерностями. Например, тектоника определяется тепловой историей Земли, состояние атмосферы – потоком лучистой энергии от Солнца, определяющей климат. Биота взаимодействует с атмосферой, гидросферой, и с осадочной оболочкой, образованной в результате выветривания и седиментации горных пород. Абиотические факторы определяют эволюцию среды обитания. Биотические факторы модифицируют и трансформируют эти термодинамически детерминированные процессы. Они находятся в ведении специалистов наук о Земле и на них приходится опираться в своих реконструкциях.

Эволюция биоты не может быть сведена к эволюции отдельных групп организмов или получена суммированием сведений о них, поскольку биота представляет взаимосвязанную систему, с жесткими связями взаимозависимости, из которых на первое место следует поставить трофические связи. Эволюция отдельных групп организмов часто рассматривается на основе сравнительного анализа вне зависимости от их трофической базы в экосистеме и поэтому для биосферных целей висит в воздухе. Для каждого места обитания необходимо иметь представление об экосистеме и входящей в нее трофической пирамиды. Принято считать, что переход от одного уровня к другому в трофической пирамиде составляет 10% по потоку органического углерода. Отсюда, во-первых, необходимо представлять трофическую базу, представленную первичными продуцентами, а во-вторых, есть возможность построить эволюцию биосферы, основываясь на граммах $C_{орг}$ как единой меры. Надо признать, что такой трофический функциональный подход не пользуется популярностью у палеозоологов. Самое большое, что удастся вытянуть из большинства работ это сравнительно-морфологические аспекты и последовательность возникновения в связи со стратиграфией.

Цикл органического углерода, если исходить из современных величин составляет $n \cdot 10^{17}$ г/год нетто-продукции. Это лукавая оценочная величина, складывающаяся из собственно первичной продукции и деструкции. Для организмов с коротким жизненным циклом скорость оборота может быть иной, причем значение имеет скорость деструкции.

Поэтому отношение продукции к количеству накапливаемого $S_{орг}$ даже при малой продукции может быть значительным, как мы наблюдаем это в торфяниках. Поэтому при обсуждении циклов необходимо иметь в виду геологические ловушки.