

2

Геотоксикология как фактор глобальной эволюции

С. П. Якуцени

Практически все известные к настоящему времени глобальные экологические катастрофы Земли – великие вымирания – связаны с изменением геохимического состава биосферы Земли. Выполнена оценка изменения геохимического состава биосферы под влиянием современной жизнедеятельности человечества. Дана оценка возможных сценариев развития биосферы Земли в зависимости от имеющихся и дальнейших изменений в ее геохимическом составе.

Ключевые слова: геотоксикология, глобальная эволюция, геохимия, биосфера, великие вымирания, *Homo sapiens*, биосферная катастрофа, биотический кризис.

Мы с вами находимся в удивительной уверенности, что все вопросы, связанные с развитием гоминид, находятся в цепких лапах вида *Homo sapiens*. То, что любой биологический вид существует в окружающей его среде, нашу «святую уверенность» никак не нарушает. Однако, как ни прискорбно, развитие жизни на Земле определяется не нами, не разумностью либо неразумностью нашего вида, а совершенно иными процессами. Об этом и о нашей роли в данных процессах – предлагаемая статья.

Геологическая наука детально понимает и знает, что такое планетарная экологическая катастрофа. Правильнее сказать – биосферная катастрофа. Мы фиксируем ее «в камне». В косном веществе. Причем – неоднократно. На сегодняшний день считается, что возраст Земли составляет 4,537 млрд лет (Broad... n.d.). Первичная атмосфера Земли была восстановительной, анаэробной. Первые признаки живого вещества на Земле принято связывать с формацией Исua (Isua) в Гренландии, где были обнаружены углеродистые прослои органического (бактериального) происхождения. Возраст первых отложений органического вещества – около 3,7 млрд лет (Ohtomo *et al.* 2014). Этими организмами были фотоавтотрофы. То есть древнейшие организмы из формации Исua, которые использовали в качестве источника энергии солнечный свет, в качестве питательного материала – неорганические вещества, преимущественно углекислый газ и воду, а как отходы выделяли смертельный для них кислород – побочный продукт деятельности фотосинтезирующих организмов. Однако

Эволюция 8 (2016) 44–51

до поры до времени свободный кислород, поступавший в атмосферу, практически полностью связывался в окислительных реакциях. Наиболее явным подтверждением этого всепланетного процесса является образование железных руд, 3,1 млрд лет назад состоявших из гематита (Fe_2O_3) и магнетита (Fe_3O_4). Это прямо указывает на появление на Земле глобального источника молекулярного кислорода – продукта жизнедеятельности фотосинтезирующих организмов. Тем не менее атмосфера на протяжении как минимум полутора миллиардов лет оставалась анаэробной. За исключением небольших «кислородных оазисов» – предвестников будущей геотоксикологической катастрофы. Их границы определяются по осаждению железа в окисной форме.

Таким образом, возник и свыше полутора миллиардов лет существовал удивительный мир прокариотных организмов, грибов, бактерий и цианобактерий. В те времена, то есть в докембрийское время, когда, по блестящему предположению палеонтолога А. Г. Пономаренко (1993), понятия «море» и «суша» были неприменимы к их современному образу, на окраинах континентов существовали обширные мелководные бассейны с постоянно меняющимся уровнем воды и практически без береговой линии. Именно в этом палеоландшафте, не являющемся ни сушей, ни морем в современном смысле, процветали строматолитовые экосистемы и плавали онколиты – особые прокариотные сообщества, имевшие облик плавающих в толще воды шаров.

Строматолиты, онколиты и другие потребляли в качестве питательных веществ цианосоединения. Они также выделяли в качестве отходов токсичные для них кислородсодержащие вещества. И выделили в итоге такое количество кислорода, что уничтожили всю привычную палеобиоте геохимическую обстановку. Это событие принято называть «кислородной катастрофой» или «кислородной революцией», то есть это было глобальное изменение состава атмосферы Земли, произошедшее в самом начале протерозоя, около 2,4 млрд лет назад. Океаны потеряли большую часть растворенного в воде железа, а на планете Земля образовалась насыщенная кислородом атмосфера, которую мы имеем практически в том же составе и на сегодняшний день.

Коренным образом изменился геохимический состав биосферы Земли. Как итог – катастрофа древних экосистем. Это и есть первая геотоксикологическая катастрофа, известная нам в истории Земли. Из былого многообразия форм выжили только единичные островки строматолитов. И как следствие – долгое-долгое возникновение практически новой биосферной среды и новых существ.

Причины массовых вымираний – объект пристального внимания ученого сообщества. Первым ученым, сформулировавшим материалистические представления о массовых вымираниях, был великий натуралист и естествоиспытатель, член Французского географического общества

Жорж Леопольд Кювье, основоположник палеонтологии. В 1812 г. он приступает к изданию своей классической работы «Исследование ископаемых костей четвероногих» (Cuvier 1830–1837). Она является первой научной публикацией теории биосферных катастроф, выполненной исключительно на палеонтологическом материале. Следующие классические работы по этому вопросу принадлежали перу нашего соотечественника, члена и одного из основателей Русского географического общества Карла Максимовича Бэра (1859–1861 гг.) (Бэр 1859; 1863; 1950). Отечественным ученым принадлежит и абсолютный приоритет в разработке тематики биосферных катастроф. В первую очередь это исследования Дмитрия Николаевича Соболева, сформулировавшего в 1924 г. теорию и сценарий биотического кризиса (Соболев 1924), и Бориса Леонидовича Личкова, в 1945 г. вписавшего в русскую научную литературу термин «массовое вымирание» и доказавшего их периодический характер (Личков 1965). Автор доклада благодарен судьбе, что читал на кафедре Бориса Леонидовича, кафедре гидрогеологии Ленинградского, а затем и Санкт-Петербургского государственного университета ряд лекционных курсов.

В целом исследованиям в области массовых вымираний посвящено не менее пяти тысяч научных публикаций, и к настоящему времени мы опираемся на надежный и массовый научный и фактографический фундамент, позволяющий нам анализировать причины глобальных экологических катастроф в истории Земли (А. С. Алексеев). Однако палеонтологические исследования весьма приблизительно и фрагментарно характеризуют органический мир прошлого. Чем старше эта выборка, тем менее представительны ее результаты. Соответственно детальный и количественный, и качественный анализ причин массовых вымираний на основании исключительно палеонтологического материала – недоступная для современной науки роскошь.

Попробуем, оценив качественные геохимические показатели для существования большинства видов, сопоставить их с изменениями геохимического облика планеты и сравнить с периодами известных нам массовых вымираний. Сама природа планеты сужает нам поле исследования. Ни атмосфера, ни гидросфера не способны сохранить и передать знания об изменении их геохимического облика. Магматические, изверженные и сильнометаморфизованные породы несут информацию в существенно искаженном виде. Остаются толщи осадочных пород. Именно они и содержат наиболее полную информацию о геохимической обстановке иных эпох и их смене. И последствиях этой смены для таксонов, царивших на суше и море.

Как показали работы С. Г. Неручева, С. А. Алексеева и ряда других авторов (Неручев 1988: 72–81; Алексеев 2000: 6–14), фоновое вымирание биологических видов происходит более или менее постоянно. Однако время от времени происходят массовые вымирания видов. Процесс этот

хоть и имеет катастрофические последствия для сложившейся биосферы, но растянут на значительное время, как правило, миллионы лет, и в качестве основного признака содержит резкое снижение биологического разнообразия таксонов суши и моря, а также существование значительного количества не заполненных долгое время биологических ниш.

Таким образом, чтобы показать, что геотоксикология является фактором глобальной эволюции, необходимо укрупненно сопоставить состав газов атмосферы в ключевых точках известной нам истории развития Земли:

- **первые отложения органического вещества** (появление жизни на планете) – около 3,7 млрд лет назад;

- **начало рифейской эпохи** – датируется около 1,6 млрд. А рубеж рифея и венда (примерно 0,68 млрд лет назад) отмечается резким обеднением фитопланктона, что было связано с величайшим в истории Земли оледенением (0,7–0,6 млрд л. н.). После оледенения появились разнообразные крупные многоклеточные, которые повсеместно и очень быстро распространились, однако практически полностью вымерли в начале второй половины вендского периода, то есть около 0,675 млрд л. н.);

- **Ордовикско-силурийское вымирание**, начало палеозоя. Вероятно, крупные тектонические потрясения, связанные с движением суперконтинента Гондвана (который сдвинулся близко к Южному полюсу), привели к глобальному похолоданию и, как следствие, падению уровня Мирового океана. В результате вымерло более 60 % видов морских беспозвоночных, то есть основных таксонов, населяющих Землю (около 0,57 млрд л. н.).

- **Девонское вымирание**, средний палеозой. Высокая вулканическая активность Земли привела к изменению уровня мирового океана и его кислородному обеднению. В результате вымерло 50 % всех существовавших родов и почти 20 % всех семейств. Два этапа – 374 и 359 млн л. н.

- **Великое Пермское вымирание**, начало мезозоя. Граница пермского и триасового периодов. Вымирает 96 % морских и более 70 % наземных видов животных. Ни до, ни после на нашей планете не фиксируется столь масштабное опустошение биосферы. Этот период принято называть Великим вымиранием – около 252 млн л. н.

- **Триасовое вымирание**, граница триаса и юрского периодов. Самое скоротечное из известных нам массовых вымираний. За 10 тыс. лет вымерло около 50 % палеонтологически известных видов. Установлено, что это время – начала распада суперконтинента Пангея на отдельные континенты. Около 200 млн л. н.

- **Мел-палеогеновое вымирание**, начало кайнозоя. Граница мелового и палеогенового периодов. Около 65 млн л. н. фиксируется самое обсуждаемое в массмедиа великое вымирание. Вымирают динозавры, морские рептилии, в том числе мозазавры и плезиозавры, летающие ящеры,

многие моллюски, в том числе аммониты и белемниты, и множество мелких водорослей. Вымерло 16 % семейств морских животных (47 % родов морских животных) и 18 % семейств сухопутных позвоночных – около 65 млн л. н.

- **Эоцен-олигоценое вымирание**, конец палеогена – начало неогена. Довольно «мягкое» вымирание. Мы знаем о нем благодаря хорошей сохранности палеонтологического материала. Оно незначительно превосходит фоновые значения смены видов. Процент вымирания видов в несколько раз превысил «фоновый» уровень – более 3 % против 0,7 %, что на порядок слабее мел-палеогенового вымирания. Эоцен-олигоценое вымирание принято связывать как с падением двух крупных астероидов 35 млн лет назад (~5 и ~4 км в диаметре соответственно), так и со значимой глобальной вулканической активностью 35–29 млн л. н. на всех Американских материках, а также в Африке и на Ближнем Востоке. Известно, что значительные площади в Северной Америке покрыты километровыми слоями отложений туфа и пепла эоцен-олигоценого возраста. Около 35–30 млн л. н.

- **Голоценовое вымирание**. 11 000 лет назад биосфера Земли начала переживать очередное «Великое вымирание» в своей истории. Здесь мы можем «гордиться». Масштаб эоценового вымирания преодолен благодаря виду *Homo sapiens*. Видовое разнообразие фауны нашей планеты к концу XXI в., по оценкам ряда ведущих университетов, снизится на 50 %, в том числе для земной флоры – более чем на 80 %. 11 000 л. н. – настоящее время.

В начале 1980-х гг. С. Г. Неручев обратил внимание на то, что повторяющиеся в фанерозое с цикличностью ~30 млн лет биосферные кризисы и эпохи активизации геодинамических процессов сопровождалась заражением вод Мирового океана ураном и другими редкими химическими элементами (Неручев 1982). В результате сформулирован тезис о том, что массовые вымирания биоты и последующие обновления ее видового разнообразия вызваны действием на живые организмы радиоактивных и других мутагенных элементов, которые циклически поступают из недр на поверхность в результате эндогенной активности Земли (Он же 2013). Это классические вопросы геотоксикологии.

Практически все геологические события, связанные с массовыми вымираниями, включая вывод С. Г. Неручева о периодическом заражении бассейнов седиментации и биосферы в целом, можно привести к следующим факторам:

- крупные ударные события внеземных тел;
- крупные вулканические пароксизмы;
- суперплюм, то есть сверхпоток аномально нагретого глубинного вещества, струи которого в виде «мантийных плюмажей» (плюмов) поднимаются от ядра Земли;

- периодическое заражение бассейнов седиментации и биосферы в целом эндогенным ураном и тяжелыми металлами-токсикантами;
- дегазация ядра Земли.

Каждое массовое вымирание было абсолютно индивидуальным по соотношению и эндогенных, и экзогенных, и космогенных факторов. То есть каждое событие уникально, но находится в пределах тех или иных пропорций сформулированных выше причин. В целом мы можем сказать, что при каждом периоде массового вымирания существенно менялась геохимия биосферы, то есть геотоксикологические признаки исчезновения видов на планете Земля очевидны.

Развивая это направление, автор статьи выполнил исследование «Геолого-геохимические закономерности распространения углеводородного сырья с потенциально токсическими свойствами компонентов-примесей» (Якуцени 2005). В основе геологических условий накопления углеводородного сырья с токсическими свойствами лежит весь цикл онтогенеза органического вещества и углеводородов в осадочном чехле, а также рудная специализация осадочных пород, сформировавшаяся до или во время прохождения нефтематеринскими отложениями главной фазы нефтегазообразования. Доказано, что тяжелые элементы-примеси, основная часть которых токсична для биоты, накапливаются в надкларковых количествах в углеводородах только в тех нефтегазоносных бассейнах, в которых процессы активного рудогенеза (эндогенного, экзогенного) опережали во времени главную фазу нефтегенерации или совпадали с ней.

Таким образом, на базе обширного фактического материала, представленного в исследовании, мы можем утверждать наличие генетической связи живого вещества при накоплении им токсичных элементов в ключевых точках известной нам истории развития Земли и последующего вымирания живого вещества в соответствии с геотоксикологическими факторами, как минимум в фанерозое. Это органическое вещество депонировало в себе токсичные компоненты, послужившие причиной геотоксикологических катастроф.

Человечество за геологически ничтожный срок существования технической цивилизации переместило и изменило такое количество планетарного вещества, что пример со строматолитами и прокариотными сообществами является актуальным. Либо мы вырабатываем механизмы самоспасения, либо сформулированный Стругацкими принцип: «Будущее создается тобой, но не для тебя», являющийся в эволюции биосферы фундаментальной закономерностью, проверим на себе уже в XXI в.

Одним из сценариев дальнейшего развития биосферы Земли в зависимости от дальнейших изменений в ее геохимическом составе может быть сценарий ползучего отравления биосферы за счет массового и одномоментного, в рамках геологического времени, освобождения токсических компонентов для существующей биоты при разработке недр. Факти-

чески мы стоим перед возможным очередным существенным изменением геохимического состава биосферы Земли. Как итог – катастрофа комфортной для нас экосистемы.

В настоящее время активное освоение человечеством депонированных в минеральных ресурсах, в том числе и органическом веществе, токсикантов приводит к проявлению негативной биологической активности продуктов рассеяния токсозлементов в окружающей среде при его извлечении из недр. Меняется геохимический облик целых регионов.

При этом встает проблема, какой сценарий развития будет нами сознательно выбран. Необходимо определить приемлемый для человечества баланс между «нишей выживания» и «нишей развития», где «консервация» – это потеря пластичности вида и все риски, связанные с этим, а «неограниченное развитие» – перспектива надрыва, в том числе срабатывание невозобновляемой для человека ресурсной базы.

Заключение

Как мы видим исходя из изложенных позиций, у человечества в целом не так много возможных вариантов развития.

Первый. Найти пространство идеального равновесия между доступными нам биосферными ресурсами планеты Земля и собственным потреблением. То есть, согласно трудам Л. Н. Гумилева, впасть в гомеостаз и превратиться в индейцев Северо-Американского континента, живших в идеальном равновесии с природой до прихода западноевропейских колонизаторов. В нашем случае – неких инопланетных «рапторов» или возвращенных нами самими экстремистских сообществ. Безусловно, этот сценарий неприемлем.

Второй. Глобально пересмотреть методы и способы технического и экономического освоения биосферных ресурсов.

Третий. Направить экспансию человеческого общества на гидросферу – моря и океаны Земли – и в космическое пространство. Освоить новую ресурсную составляющую для нашего вида. Какова будет эволюция *Homo sapiens* в новых условиях – вопрос фантазийный, но тем самым снимаются риски застоя, и человечество как биологический вид получает возможность осваивать новые, поистине космические горизонты собственного развития и потребления.

Отсюда и абсолютно не геотоксикологический, а скорее социальный вывод.

Сегодняшняя геополитическая составляющая – это борьба за лучший гомеостаз усеченной части вида *Homo sapiens* – «золотого миллиарда» современного человечества, прямо на наших глазах потрепаемого новой великой миграцией народов. Это путь в никуда. Путь пустого растрачивания энергии и ресурсов нашего вида на взаимное сдерживание и истребление.

Есть только один путь – сосредоточение общей видовой энергии на освоении новых пространств. Это и есть ключевой вывод. Именно таков наш взгляд из России.

Библиография

- Алексеев А. С. 2000. Типизация фанерозойских событий массового вымирания. *Вестник Московского университета. Серия 4. Геология* 5: 6–14.
- Бэр К. М. 1950. *История развития животных*: в 2 т. Серия «Классики науки». Т. 1, 2. М.: Изд-во АН СССР.
- Бэр К. 1859. *О черепах ретийских романцев*. СПб.
- Бэр К. 1863. *О древнейших обитателях Европы*. СПб.
- Личков Б. Л. 1965. *К основам современной теории Земли*. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та.
- Неручев С. Г. 1982. *Уран и жизнь в истории Земли*. Л.: Недра.
- Неручев С. Г. 1988. Глобальные геохимические аномалии и биосферные кризисы. *Природа* 1: 72–81.
- Неручев С. Г. 2013. Преобразование планеты Земля живым веществом биосферы. *Нефтегазовая геология. Теория и практика* 8(1).
- Соболев Д. Н. 1924. *Начала исторической биогенетики*. Харьков.
- Пономаренко А. Г. 1993. *Основные события в эволюции биосферы. Проблемы доантропогенной эволюции биосферы*. М.: Наука.
- Якуцени С. П. 2005. *Распространенность углеводородного сырья, обогащенного тяжелыми элементами-примесями. Оценка экологических рисков*. СПб.: Недра.
- Broad Bounds on Earth's Accretion and Core Formation Constrained by Geochemical Models. N.d. URL: <http://www.nature.com/ngeo/journal/v3/n6/full/ngeo872.html>.
- Cuvier П. 1830–1837. *Recherches sur les ossements fossiles*. Paris.
- Ohtomo Y., Kakegawa T., Ishida A., Nagase T., Rosling M. T. 2014. Evidence for Biogenic Graphite in Early Archaean Isua Metasedimentary Rocks. *Nature Geoscience* 7: 25–28. URL: <http://www.nature.com/ngeo/journal/v7/n1/full/ngeo2025.html>.