

МИКРОБНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ИЗ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ, НАБЛЮДАЕМОЕ ПРИ РАДИОУГЛЕРОДНОМ ДАТИРОВАНИИ

Л. Д. Сулержицкий

Геологический институт РАН, Москва, 109017, Пыжевский пер., 7, Россия

Традиционно считается, что пробы растительных остатков из постоянно мерзлых отложений свободны от загрязнения — проникновения в них современного углерода. Однако практика датирования показывает, что это не так: образцы органики из заведомо запредельных по возрасту отложений (в которых радиоуглерод должен был распасться) показывают конечный возраст, иногда соответствующий наличию нескольких процентов проникшего в них современного углерода. Видимо, следует предположить, что загрязняющее органическое вещество новообразовано за счет трофического взаимодействия всегда присутствующих в рассматриваемых материалах автотрофных бактерий и диффундирующей в вещество пробы атмосферной углекислоты. Приводится множество примеров, для которых только подобный механизм (работающий как до, так и после отбора проб в поле) может объяснить реально существующие аномалии радиоуглеродного возраста.

Радиоуглеродное датирование, вечная мерзлота, микробы, искажения возраста

MICROB POLLUTION OF ORGANIC MATTER FROM PERMAFROST OBSERVED DURING RADIOCARBON DATING

L.D. Sulerzhitsky

Geological institute of RAS, 109017, Moscow, Pyzhevsky per., 7, Russia

It is considered traditionally that the samples of plant fossils from permafrost deposits are free of contamination by modern carbon. Though the practice of dating shows that the organic samples from ancient deposits (with all the radiocarbon decayed) have the age which corresponds to the presence of several percent of modern carbon. It is possible to presume that the pollutant organic matter is formed as a result of trophic interaction between autotrophic bacteria and atmospheric carbon dioxide which penetrates into the sample. There are many examples for which only this mechanism could explain the anomalies of radiocarbon age.

Radiocarbon dating, permafrost, microbes, age anomalies

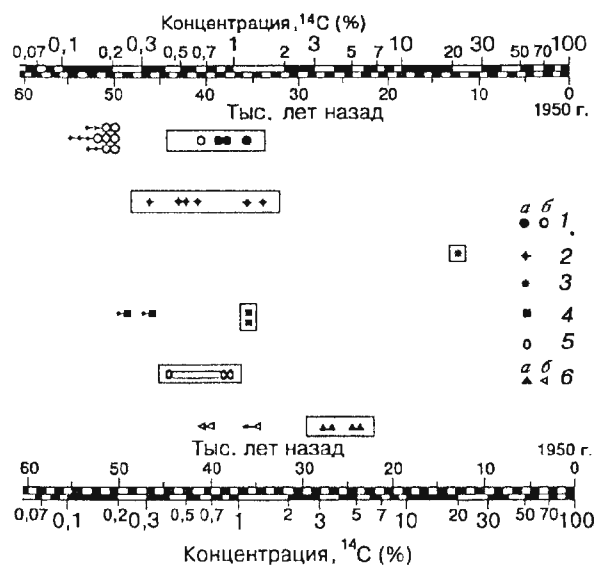
Органическое вещество, прямо или косвенно образованное организмами из атмосферной углекислоты — основного источника радиоуглерода Земли — дает возможность по уменьшению во времени концентрации последнего при радиоактивном распаде, определять момент своего возникновения, то есть радиоуглеродный возраст. Отмершая органика — древесина, торф, кости животных, различные детриты, органическое вещество почв и т.п. — постепенно деградируя и теряя в захоронении углерод, остается пригодной для определения возраста. Однако все они — открытые системы, которые могут быть контаминированы (загрязнены) различными фазами постороннего углерода. Последний, являясь обычно современным, омолаживает даты в соответствии с величиной загрязнения, то есть количества контаминировавшего ^{14}C .

Традиционно основным загрязняющим веществом считаются мигрирующие гуминовые

кислоты. Так же проникают в исследуемое вещество корни растений и различные почвенные организмы, происходят биотурбации. Все это часто затрудняет выделение в чистом виде первоначального углерода для измерения в нем концентрации остаточного ^{14}C , то есть возраста. Представляется, что образцы в постоянно мерзлых грунтах не должны загрязняться. Однако мы имеем множество примеров, когда отобранные из постоянно мерзлых отложений в двойные полиэтиленовые мешки (согласно инструкциям) образцы, будучи заведомо запредельными (в которых изначальный радиоуглерод уже распался), и при условии надежно выверенной чистоты лабораторных процедур, обнаруживают весьма существенные количества — десятые доли процента, а иногда и целые проценты активности современного углерода, очевидно, проникающего из окружающей среды. Это часто затрудняет выделение в чистом виде первоначального углерода для

датирования и, как уже говорилось, искажает (омолаживает) радиоуглеродные даты.

Поскольку восстановленные (углеводородные) фазы углерода образца не подвержены изотопному (на субмолекулярном уровне) обмену, а более мобильные окисные (карбонаты) полностью удаляются из вещества при стандартной очистке, то в этих условиях вероятна только механическая контаминация. Последняя, видимо, должна исключаться упаковкой образцов в полиэтиленовую пленку. Однако и в этом случае заметное загрязнение образцов нередко все же имеет место. Для постижения механизма его возникновения рассмотрим и попытаемся интерпретировать конкретные примеры (п.) проникновения загрязнения предположительно до взятия образцов из захоронения и после него.



Примеры „омоложения“ — микробной контаминации радиоуглеродом древних образцов.

1 — низовье Енисея, п-ов Гыдан. Даты по сборам 1978 г. — а, 1979 г. — б; 2 — низовье Енисея, мыс Каргинский; 3 — р. Ниж. Таймыра, оз. Энгельгардт; 4 — низовье р. Ниж. Таймыра; 5 — оз. Таймыр, северный берег, мыс Дюптомола (две даты — концы одного ствола и дата по другому стволу); 6 — р. Мал. Анной, обн. Молотковский Камень. а — даты по образцам Т.Н. Каплиной, б — А.В. Шера. Значки, обведенные прямоугольниками, — заведомо омоложенные даты, полученные по образцам, контаминированным „современным“ углеродом; значки со стрелочками — „запредельные“ даты (они неопределенно древнее указанных значений, в них количество ^{14}C стало меньше доступной для измерения величины).

Пример 1. На рисунке (1) обозначены даты по ожелезненным образцам плавника* с низовья Енисея и Гыданского п-ова (представлены М.М. Брызгаловой, ВАГТ) из песков 80-метровой поверхности, связанной со стоянием казанцевской морской трансгрессии, шедшей на убыль 75 тыс. лет назад [Сулержицкий и др., 1997]. Для образцов сбора 1978 г. (а) получены конечные даты. Сборы 1979 г. (б) дали идентичный по положению в разрезах, но тщательно отобранный, практически не ожелезненный, более свежий материал. Соответственно, получены преимущественно запредельные даты. Очевидно, омоложение связано с поверхностными процессами, при которых в образец в состав современного углерода вводится ^{14}C . При ожелезнении это наблюдается во множестве других случаев.

Пример 2. Так, в низовьях Енисея на Каргинском мысу (2) из казанцевских морских песков были *in situ* отобраны несколько ожелезненные образцы из комов торфа и древесины, давших ряд дат: 42000 ± 700 (ГИН-264); 42300 ± 800 (ГИН-370); 35300 ± 800 (ГИН-371); 33710 ± 1000 (ГИН-372); 40800 ± 700 (ГИН-373). Выше по разрезу отложения становятся глинистыми и содержат многочисленные парные створки толстенных моллюсков, давших дату 46000 ± 500 (ГИН-387). Подобная дата для раковин редкость, так как карбонат из поверхностных проб обычно склонен к еще большему омоложению, обмениваясь CO_2 с атмосферой. Эта дата с большой вероятностью указывает на запредельный возраст отложений. В любом случае все образцы органики из залегающих ниже слоев без сомнения омоложены.

Работая на Каргинском мысу в 1968 г., мы обратили внимание на то, что наши расчистки 1966 г. хорошо сохранились, несмотря на крутизну склона, что указывает на весьма медленное его отступление, и что соответственно датированные ветки и торф, долгое время находясь в приповерхностных условиях, соприкасались с атмосферой. Гуминовых кислот или каких-либо других подвижных углеводородных загрязняющих агентов на Крайнем Севере практически не наблюдается.

Пример 3. На реке Нижняя Таймыра (3) лежавший на поверхности в основании сползающего склона казанцевских отложений сильно ожелезненный и уже разрушающийся, но еще сохранивший форму плавник лиственницы имеет возраст по ^{14}C 12480 ± 80 (ГИН-1819). Для сей, видимо, экстремально загрязненной древесины,

* Морской плавник, встречающийся в толщах казанцевских отложений и особенно в их верхах, мог быть занесен морем только в течение одного, редко двух лет — пока древесина была на плаву, а утонув, она попадает в осадки. В казанцевских морских отложениях на Восточном Таймыре практически повсеместно имеются находки древесины разного размера — от щепок до многометровых стволов, всегда окатанных. Это все аллохтонный материал, а автохтонная древесина наблюдается только в голоценовых отложениях [Сулержицкий и др., 1997]

величина контаминации современным углеродом превышает 20 %. Примечательно, что загрязняющий углерод очевидно встроен в клетчатку, так как даже усиленная стандартная кислотнo-щелочная обработка не смыла контаминированный углерод.

Пример 4. В низовьях Нижней Таймыры (4) в перекрывающих морские отложения запредельных алевритах (>46 000 лет назад по детриту) *in situ*, выходя только частично на поверхность склона, в разных местах отобраны два окатанных куска лиственницы, несколько ожелезненные. Они дали две даты — 35800 ± 1000 (ГИН-1497) и 35800 ± 500 (ГИН-1498), а совершенно свежий, смолистый кусок комля лиственницы, по сохранности сохтенный за первую здесь находку голоценовой древесины, оказался запредельным — более 48 600 лет (ГИН-1499). В последнем случае, видимо, смола действовала как антибиотик и не дала развиваться загрязняющей биоте.

Пример 5. На северном берегу оз. Таймыр (5) под обнажением, видимо, казанцевских отложений валялся кусок ствола лиственницы, по которому получена дата 38400 ± 600 (ГИН-1765). При зачистке обнажения из отложений показались окатанный обломок такого же ствола, уходящий вглубь отложений. После вытаивания из мерзлоты в течение нескольких дней были взяты его концы. Ближний к поверхности дал дату 38500 ± 700 , а дальний — 44800 ± 1000 (ГИН-1763а и б). Схожесть дат по лежавшей на поверхности и находившейся в приповерхностных условиях древесине, возможно, указывает, что в данном случае приповерхностные условия были наиболее благоприятны для активизации загрязняющей деятельности микроорганизмов, в то время как находившаяся глубже часть ствола еще только начала загрязняться.

Пример 6. Наиболее разительным примером (6) оказался невольный эксперимент с торфом из обнажения Молотовский Камень на реке Малый Аной, отобранным из слоев, названных позже Верхнемолотовскими. Указанное обнажение было опробовано на ^{14}C Т.Н. Каплиной в 1974 г. [Каплина, Гитерман, 1983]. Спустя 7 лет образцы были переданы в две лаборатории и по ним, соответственно, получили [Каплина, Гитерман, 1983] хорошо согласующиеся со стратиграфической последовательностью даты 24550 ± 260 (МАГ-160); 24800 ± 400 (ГИН-2397); 26950 ± 330 (МАГ-153) и 28100 ± 1000 (ГИН-2396). На основании полученных дат межведомственный стратиграфический комитет СССР утвердил решение считать, что „Верхнемолотовские слои залегают в виде линзы на высоте от 17 до 19 м над урезом реки. ...Возраст слоев по ^{14}C определяется в диапазоне 28—24,5 тыс. лет назад [Решения межведомственного..., 1987].

Желая, по-видимому, исследовать феномен торфяников, накопившихся в весьма неблагоприятное время на Севере Сибири, А.В. Шер в 1992 г. провел повторное опробование тех же (на глубине 6 м) прослоев. Достаточно быстро были получены являющиеся, видимо, валидными даты по торфу 40600 ± 1000 (ГИН-7305) и 41000 ± 1000 (ГИН-7306), а также более 35000 (ГИН-7304) по кости. Впечатляет разница с ранее полученными датами — порядка 15 тыс. лет, что соответствует внедрению в образцы до 6 % современного углерода (концентрация ^{14}C увеличилась чуть ли не в 8 раз). Примеров подобных, столь добросовестно исследованных нелепиц, автору не известно. В захоронении и при отборе проб столь значительное засорение молодым материалом произойти не могло, а если при таинственных обстоятельствах один образец и мог засориться, то не все же четыре и при том весьма равномерно. Одинаковую ошибку для стольких образцов в лабораториях Магадана и Москвы, видимо, так же можно исключить. Задревнение — редкий случай для отдельных дат, а для нескольких образцов А.В. Шера — невероятно. Остается только проникновение в образцы основного носителя ^{14}C — атмосферной углекислоты, для которой полиэтиленовая пленка не преграда. Однако, проникая в образец CO_2 должна фиксироваться в нем, и при том — в углеводородной фазе, чтобы попасть в очищенный для измерений ^{14}C углерод. Поскольку, как говорилось, обмен между окисленной и восстановленной фазами углерода не идет, для объяснения феномена опять необходимо привлечь автотрофных микробов, которых, как мы теперь знаем, в постоянно мерзлых грунтах великое множество [Гиличинский и др., 1996].

Парадоксально, но методика отбора и хранения проб на определение радиоуглеродного возраста отработана так, чтобы создать для микробов комфортные условия. Образцы практически стерильно закладываются в полиэтиленовые мешки и сохраненная биота инкубируется при постоянной влажности и температуре, обычно близкой к комнатной (в приведенном примере в течение 7 лет). В природных условиях — в толще постоянно мерзлых грунтов автотрофные микроорганизмы, видимо, зависят от гетеротрофных, продуцирующих углекислоту из древней органики (которая естественно не омолодит образец), но приближаясь к дневной поверхности (в частности при образовании обнажений) начинают постепенно включать в свой рацион и атмосферную углекислоту при ее диффузии в мерзлые и оттаивающие породы (например, 4).

Пример 7. Чтобы определить источник загрязнения, совместно с Т.Н. Каплиной и А.В. Шером автором были датированы образцы сингенетичной рассеянной органики (остатков

трав) из льдистых пород обнажения Дуванный Яр. Органика была отмыта водой из растопленных синхронных ледяных жил и в виде альтернативы — водой из реки. Был получен обратный ожидавшемуся эффект. Даты мало отличаются между собой, но с тенденцией к омоложению образцов, отмытых ледяной водой, видимо, меньше нарушавшей биоту льдистых толщ в отличие от речной, вносившей чуждые элементы, подавлявшие автотрофную активность исконной биоты.

Пример 8. Достойна упоминания методика строптивного, по отношению к общепринятым правилам отбора проб, геолога 3-й экспедиции ВАГТ В.В. Колпакова, считавшего, что нечего квасить образцы в полиэтилене. Он высушивал и хранил отмытые из льдистых толщ пробы рассеянной органики в нейлоновых женских чулках. Подобные пробы, достаточно многочисленные и часто „запредельные“ по геологическим соображениям, не обнаруживают загрязнения молодым углеродом — „омоложения“. Автор также успешно применяет подобную методику, считая, что высушивание практически полностью прекращает деятельность большей части микроорганизмов и, соответственно, исключает загрязнение образцов после отбора.

Мы рассмотрели примеры контаминации ^{14}C древесины, торфа и рассеянного органического вещества из льдистых толщ, величина „омоложения“ которых, в отдельных случаях, весьма значительна. Представляется, что приведенных примеров достаточно, чтобы проследить вероятные пути „загрязняющего“ углерода и оценить его возможные источники и количество. Этот углерод должен быть либо в фазе первоначального резервуара радиоуглерода — атмосферной углекислоты, имеющей самую высокую из всех природных веществ концентрацию ^{14}C , либо ее прошедших фото- или хемосинтез производных. Но, как уже говорилось, обменные процессы с углеводородной фазой отмершего образца не идут, а вероятность механического внедрения в образцы весьма мала, как в виду отсутствия мигрирующих гуминовых веществ, так и достаточной изолированности образцов от живущих на земной поверхности организмов, заползающих в образцы. Проникающие в образец живые организмы должны принести с собой современный углерод, так как живя, размножаясь и питаясь образцом, они не вносят в него нового ^{14}C , а сами будут иметь его возраст по ^{14}C . Таким образом, наблюдаемое количество вносимого в образец радиоуглерода по большей части не имеет объяснения в реальных примерах и визуально наблюдаемых процессов.

Видимо, только приоткрывшийся огромный по биомассе мир автотрофных прокариотных микроорганизмов постоянно мерзлых толщ Севе-

ра [Гиличинский и др., 1996] без натяжек и полностью объясняет наблюдаемые явления, и, в частности, приведенные примеры. Количество этих микробов в мерзлых грунтах часто превышает 10^8 живых единиц на 1 грамм породы. Если принять, что 10^9 автотрофных прокариотных микробов соответствуют 1 мг сухого органического вещества, то можно, видимо, в дальнейшем перейти к количественной оценке новообразующегося вещества по величине загрязнения образцов радиоуглеродом.

Находясь в своих естественных условиях существования — мерзлых толщах при температуре -5 — -7 °C указанные автохтонные микроорганизмы продолжают свою жизнедеятельность на несколько пониженном уровне (устное сообщение Н.Г. Русиновой) при отсутствии конкурентов. Видимо, необходимое для питания и лимитирующее интенсивность жизнедеятельности количество CO_2 они получают за счет подобных себе, но гетеротрофных организмов, разлагающих органическое вещество вмещающих пород, толщи которых уже на сравнительно небольшой глубине практически непроницаемы для привноса CO_2 извне. При приближении местообитаний к поверхности за счет эрозионных процессов биота начинает испытывать сезонные потепления и увеличение количества углекислоты, диффундирующей с поверхности. Тогда и начинается поступление современного углерода в образец, усиливающееся при дальнейшем приближении его к поверхности. Привнос в оттаивающие породы криофобных микробов, обычно гетеротрофных, видимо, может прекращать деятельность автотрофных. Последние распределены в осадках неравномерно, и, очевидно, размножаясь с одинаковой скоростью, по-разному будут заражать ископаемое органическое вещество молодым углеродом — „омолаживать“ радиоуглеродный возраст. Отметим, что увеличение количества микробов на два порядка за счет подтока атмосферной углекислоты в оптимальном случае дает для бедных органикой льдистых толщ, содержащих 2 % органического углерода, „омоложение“ для запредельных образцов до 31,0 тыс. лет назад. Конечно, для этого весь новообразованный углерод должен войти в очищенный образец, что маловероятно. Реально общее загрязнение еще больше. В зоне вне вечной мерзлоты, видимо, не существует столь активных автотрофных биот, и поэтому там эффекты омоложения если и бывают, то имеют преимущественно иную природу.

Таким образом, представляется, что главным фактором „омоложения“ радиоуглеродных дат древних образцов из „вечной“ мерзлоты являются микробы. Но, имея представление о реальных процессах контаминации, критерии валидности материала для датирования стано-

вятся более определенными, и, соответственно, облегчается интерпретация дат.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 96-05-65311.

Литература

Гиличинский Д.А., Воробьева Е.А., Соина В.С. и др. Микробиология вечной мерзлоты // Мат-лы Первой конференции геокриологов России, М., Изд-во МГУ, 1996, с. 174—185.

Каплина Т.Н., Гитерман Р.Е. Молотковский Камень — опорный разрез отложений позднего плейстоцена Колым-

ской низменности // Докл. АН СССР, сер. геол., № 6, 1983, с. 79—83.

Решения межведомственного стратиграфического совещания по четвертичной системе востока СССР. Магадан, 1987, с. 28—53

Сулержицкий Л.Д., Арсланов Х.А., Герасимова С.А. Уровни и возраст Казанцевской морской трансгрессии на Восточном Таймыре (верхний плейстоцен) // Итоги фундаментальных исследований криосферы Земли. Новосибирск, Наука, 1997, с. 39—44.

*Поступила в редакцию
28 января 1998 г.*