
**Приоритетное направление VIII.69. ДИНАМИКА И МЕХАНИЗМЫ
ИЗМЕНЕНИЯ ЛАНДШАФТОВ, КЛИМАТА И БИОСФЕРЫ В КАЙНОЗОЕ.
ИСТОРИЯ ЧЕТВЕРТИЧНОГО ПЕРИОДА**

**Программа VIII. 69.1. Факторы определяющие изменение среды и климата
Центральной Азии в кайнозое**

(координаторы академик М.И. Кузьмин, д.г.-м.н. В.С. Зыкин)

*Проект VIII.69.1.1. Динамика природной среды и климата плейстоцена и голоцена
Южной Сибири и Монголии на основе изучения осадочных бассейнов озер и
болотных систем с применением биостратиграфических, геохимических,
радиофизических методов для установления ее хронологии и причин
(научный руководитель академик РАН М.И. Кузьмин)*

• **Выполнен комплексный литолого-биостратиграфический, ^{14}C анализ озерно-болотных отложений с предгорий Баргузинского хребта и Лено-Ангарского плато.**

В составе современной растительности исследованных районов преобладают ландшафты с коренными бореальными лесами в суровых природных условиях с развитой многолетней мерзлотой. Известно, что их растительность очень чувствительна к изменениям природно-климатических условий. Для выявления возможных причин изменения растительности предгорий Баргузинского хребта и Лено-Ангарского плато в контексте изменений глобальной климатической системы в прошлом было выбрано два палинологических показателя – относительное обилие пыльцы древесных растений и пыльцы темнохвойных древесных (Рис. 19). Они рассматриваются как индексы относительных вариаций континентальности климата и наглядно отражают сигнал изменения регионального климата голоцена. Выделенные вариации обоих показателей сравниваются с трендом записей $\delta^{18}\text{O}$ из глобальных стратотипов и со временем проявления известных и глобально проявившихся резких климатических событий голоцена. Изменчивость относительного обилия пыльцы древесных растений позволяет предполагать довольно неустойчивое состояние лесной растительности в пост-оптимальное время голоцена на изученной территории. Так, в районе урочища Хындыркул отмечаются кратковременные эпизоды ее сокращения около 5.3, 4.0, 2.3, 1.0 тыс. л.н., совпадая по времени с проявлением глубоких глобальных похолоданий (Рис. 19). Похолодание Малого ледникового периода в урочище Хындыркул не нашло

отчетливого выражения. В Долине Озер минимумы лесной растительности отмечены около 1.1 тыс. л.н. и в настоящее время, что позволяет соотнести первый минимум с глобальным похолоданием около 1.1-1.3 тыс. л.н. Постоянный тренд сокращения темнохвойных лесов в юго-восточной части Лено-Ангарского плато может быть

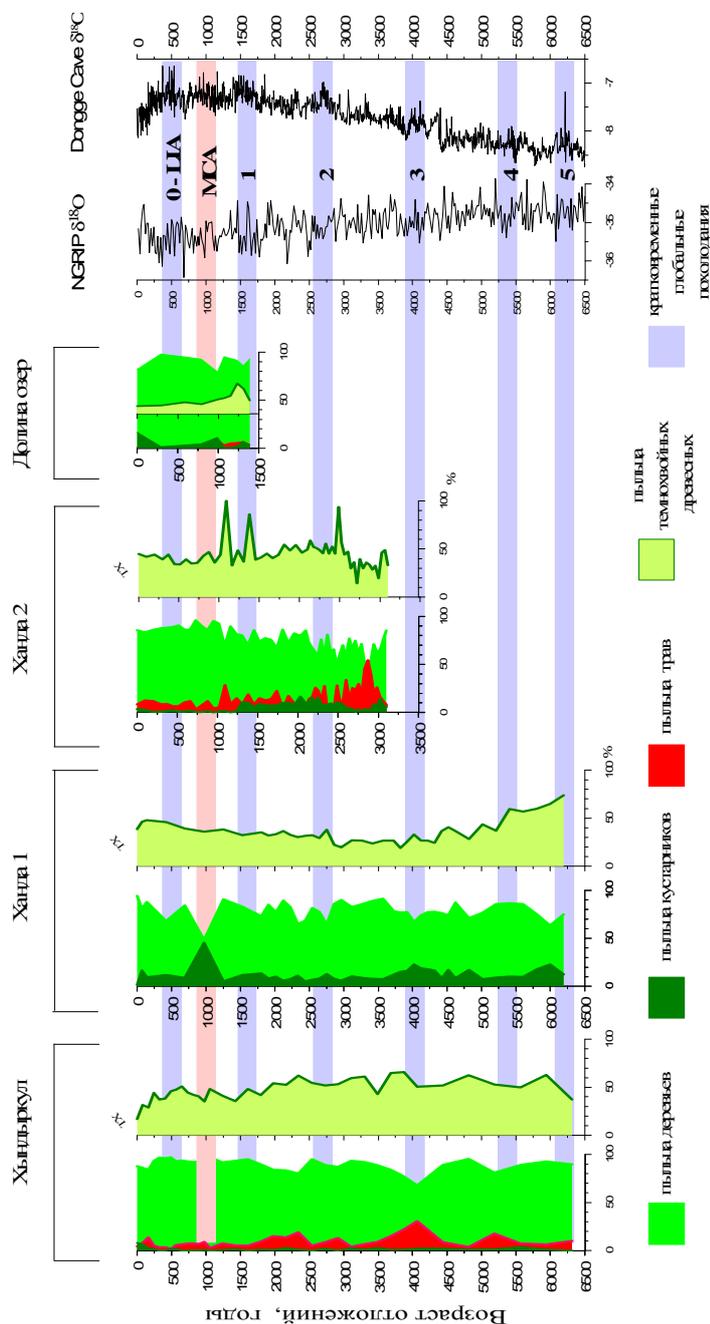


Рис. 19. Обобщенный график изменения пыльцевых индексов, отражающих изменения палеоэкологических условий Лено-Ангарского плато и предгорий Баргузинского хребта в голоцене.

быть следствием комплекса причин. Одна из них – реакция на постепенное похолодание глобального климата, что хорошо видно в обеих глобальных записях $\delta^{18}\text{O}$ примерно с 6.5 тыс.л.н. (Рис. 19). Другой причиной, накладывающейся на

первую, могла стать возрастающая антропогенная нагрузка на ландшафты этой территории.

Пыльцевые записи из Хандинской котловины показывают, что пост-оптимальное ухудшение глобального климата 5.9-5.3 тыс. л.н. могло привести к сокращению темнохвойных лесов. При этом следующее похолодание около 3.2-2.4 тыс. л.н. способствовало началу постепенной тенденции повышения роли темнохвойных лесов. Аналогичная ситуация характерна и для района Ханда-2 (Рис. 19). Глобальные записи палеоклимата показывают, что степень активизации Сибирского антициклона 5.9-5.3 и 3.2-2.4 тыс. л.н. была близка, поэтому причины столь разного ответа региональной растительности северо-восточной части Лено-Ангарского плато на глобальные похолодания остаются не совсем ясными. Причиной этого рассматривается разный уровень поступления солнечной радиации. Ухудшение глобального климата 1.2-1.0 тыс. л.н. во всех изученных районах проявилось короткими эпизодами незначительного снижения роли лесной растительности и расширения площадей ерниковых сообществ (Рис. 19). Малый ледниковый период также мог стать причиной еще одного короткого интервала изменения структуры растительности во всех исследованных районах, кроме урочища Хындыркул.

Последние 150 лет на планете отмечены повышением средней годовой температуры, но заметное усиление позиций лиственницы и ерниковых ассоциаций на Лено-Ангарском плато в это же время, наоборот, свидетельствует об активизации многолетней мерзлоты в этом регионе. Вероятно, замедленная реакция холодных бореальных лесов на многолетней мерзлоте не позволяет им быстро ответить на современное потепление, свидетельствуя об их определенной эволюционной инертности.

Наиболее важным результатом проведенных исследований следует считать выявление интервалов реорганизации природной среды региона в квази-тысячелетнем масштабе из-за перестройки глобального климата. Однако не все исследованные районы отвечали синхронно или аналогично на глобальные изменения природной среды, что подчеркивает сложность региональных проявлений климата голоцена и делает необходимым получение

палеогеографических данных из более широкого в географическом плане набора природных регионов.

• Изучен характер распределения С, N, P, хлорофилла-а, биогенного кремнезема и некоторых стойких органических загрязнителей (СОЗ) в торфяных отложениях из южной части бассейна оз. Байкал.

Для этого были отобраны 312 проб из колонки торфяных болот Выдрино. В них определены влажность, С общее и хлорофилл-а через 1 см. Получено неравномерное распределение $S_{общего}$, $N_{общ.}$ и хлорофилла-а. Размах колебаний $S_{общего}$ составил 5.71-22.56 % сухого веса, $N_{общ.}$ – 0.01-2.43 %, хлорофилла-а – 0.03-1.19 % сухого веса, влажности – 0.12-87.8 %.

Согласно гистограмм (Рис. 20) более 60% $S_{общ.}$ составляют концентрации 10.0 – 15.0 %, $N_{общ.}$ меньше 0.5 % – 99 %, около 50% приходится на концентрацию хлорофилла-а – 0.20-0.60%.

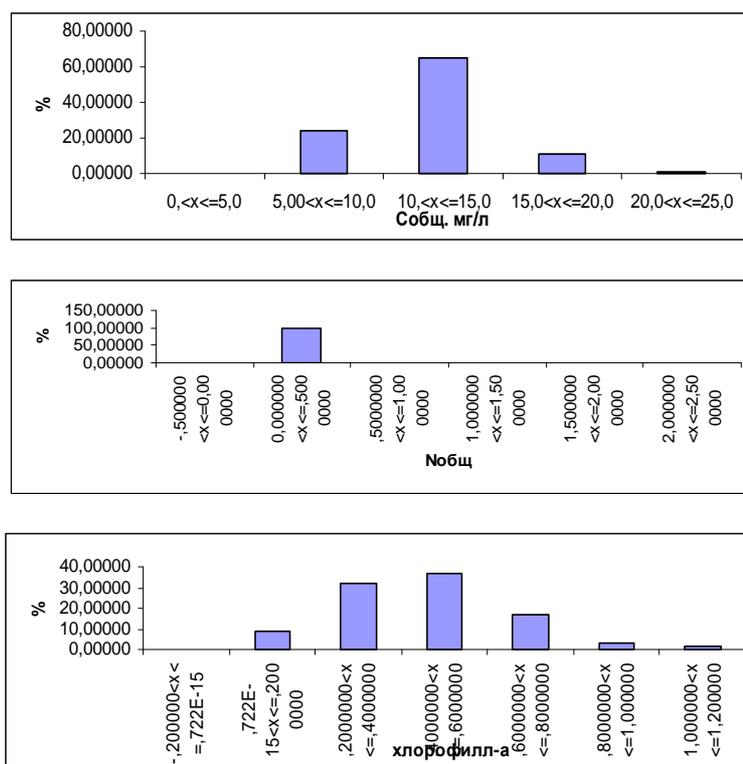


Рис. 20. Гистограммы $S_{общ.}$, $N_{общ.}$ и хлорофилла-а в колонке 0-317см.

Процентное содержание азота и фосфора в органическом веществе может служить качественной характеристикой органического вещества. Известно, что водный гумус планктонного происхождения более богат азотом и фосфором,

согласно литературным данным содержание азота в фульвокислотах, выделенных из различных почв, изменяется в пределах от 1.1 до 5.9 %. Содержание же азота в органическом веществе для разных видов планктонных организмов различно и составляет в диатомовых водорослях 5.9 %, в перидиниевых – 4.9 %, в копеподном зоопланктоне – 22,1 %, в бактериях – 13 %, в бентосе – 13.6 %. Различно и содержание фосфора в диатомовых водорослях – 1.1 %.

Содержание общего азота в органическом веществе колонки 0-317см низкое (Рис. 21): меньше 0.1% составляет 62%, 33% приходится на концентрации от 0.1 до 0.5%, что говорит о терригенном происхождении органического вещества. Следует отметить, что при расчете органического вещества использовался коэффициент 2 [Пономарева, Плотникова, 1967¹].

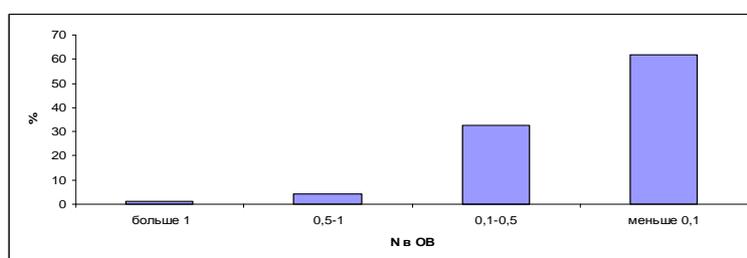


Рис. 21. Гистограмма $N_{\text{общ}}$ в ОВ в слое 0,317см.

Величины отношений C:N и C:P используются и для генетической характеристики органического вещества природных вод. Широкие интервалы величин их отношений характерны для органического вещества терригенного происхождения, узкие – для органического вещества в основном планктонного происхождения. Отношение C:N часто использовалось для определения источника вещества органических осадков (автохтонного и аллохтонного) Отношение в озерном первично автохтонном органическом материале приближается к 8-10 из-за высокого содержания протеина в водорослях, фито- и зоопланктоне. Это отношение очень велико в веществе, имеющем древесное происхождение (78-110 для листьев деревьев) из-за высокого содержания в древесине материала, не содержащего протеин.

В исследуемой колонке величины отношений C:N достаточно высоки (Рис. 22),

¹ Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Некоторые данные о степени внутримолекулярной окисленности гумуса разных типов почв (к вопросу о переводном коэффициенте с углерода на гумус) // Почвоведение, 1967, № 7, С. 85-95.

что подтверждает древесное (97%) происхождение аллохтонного органического вещества в колонке 0-317 см.

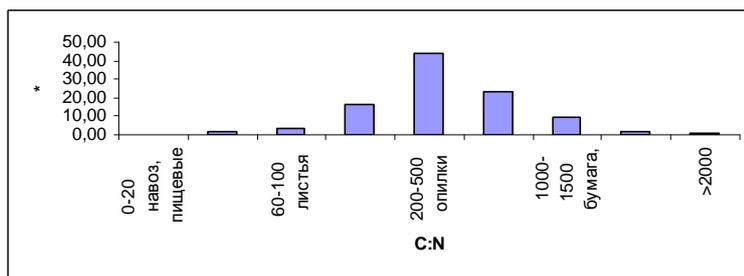


Рис. 22. Гистограмма величин отношений C:N в слое 0-317 см.

По длине колонки наблюдается неравномерное распределение (Рис. 23.)

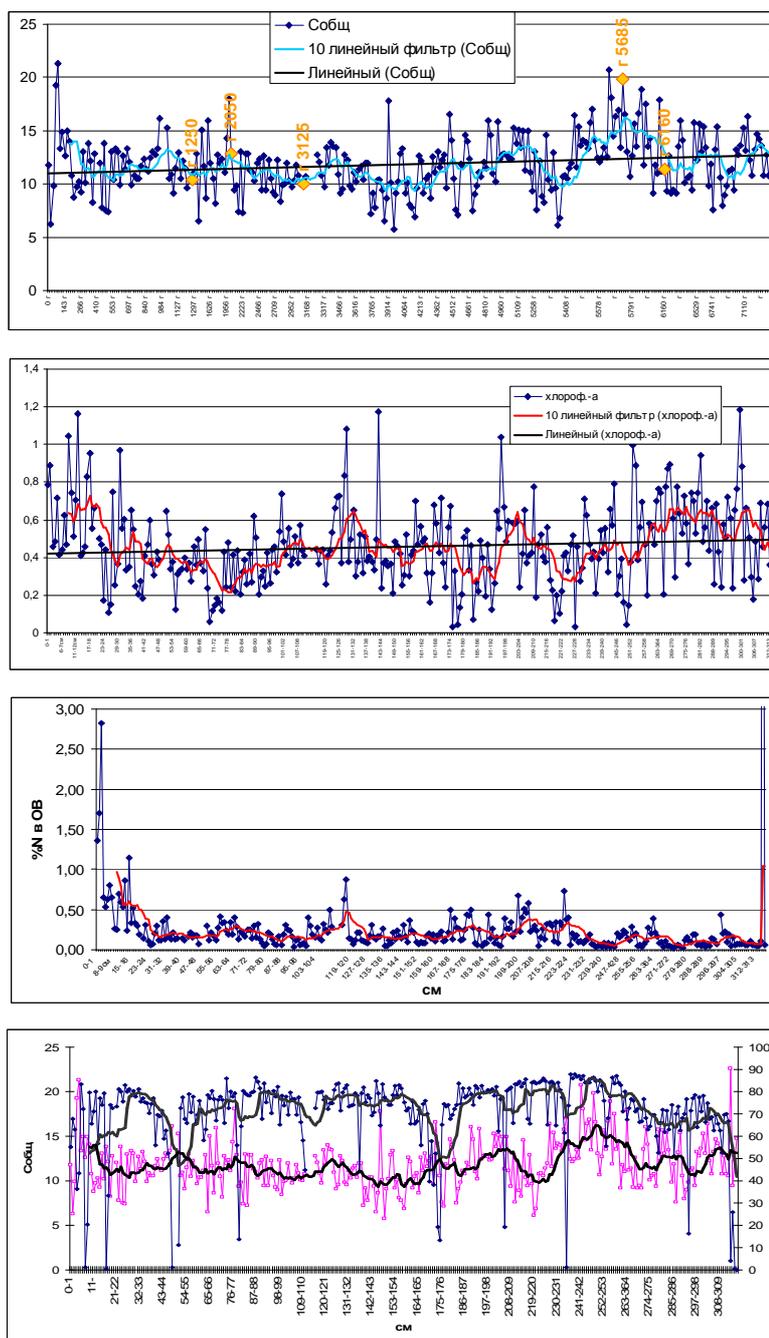


Рис. 23. Распределение C_{общ.}, хлорофилла-а, азота, влажности-C_{общ.}

С глубиной величины атомных отношений C:N увеличиваются, что, несомненно, связано с минерализацией аллохтонного органического вещества древесного происхождения. По пониженным величинам отношений C:N можно судить о поступлении свежего органического вещества, которое затем минерализуется, в результате чего это отношение повышается, такие ситуации по времени согласуются с влажностью. Более минерализованное органическое вещество находится на глубине 240-300 см.

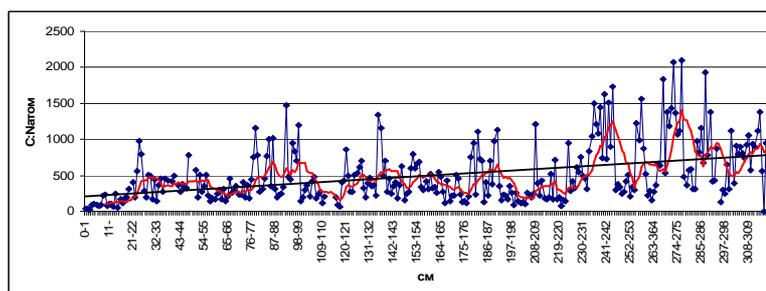


Рис. 24. Распределение величин отношений C:N в слое 0-317 см

Положительная достоверная корреляция обнаружена $S_{\text{общ}}$ с хлорофиллом-а, C:N и возрастом, обратная – с влажностью; с азотом достоверной корреляции не найдено.

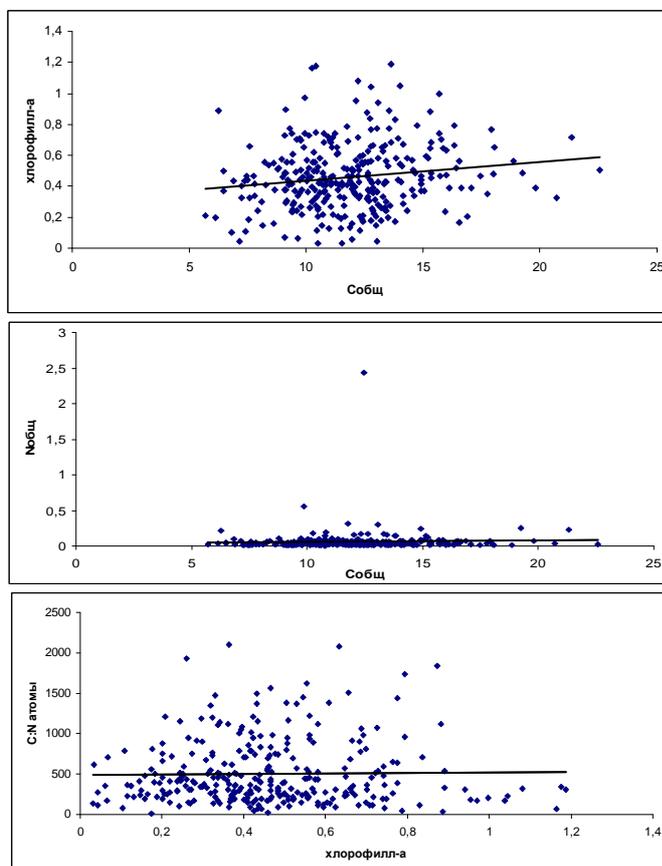


Рис. 25. Зависимость $S_{\text{общ}}$ – хлорофилл-а, $S_{\text{общ}}$ – $N_{\text{общ}}$ и хлорофилла –а - C:N

Таким образом, органическое вещество в слое 0-317см аллохтонное древесного происхождения разной степени трансформированности.

• Изучено распределение редких элементов в плиоцен-голоценовых отложениях оз. Байкал (скв. BDP-98) методом ICP-MS.

Методом ICP-MS детально изучен микроэлементный состав осадков (Рис. 26) в скважине BDP-98, по времени формирования отвечающий интервалу перехода от плиоцена к плейстоцену 2.8-2.5 млн лет. В этот же период зафиксирована смена климатических эпох Северного полушария от этапа потепления к этапам похолодания. В Байкальской осадочной летописи этот интервал отмечен активным орогеническим процессом и изменением условий сноса вещества.

При нормировании микроэлементного состава осадков на средние содержания (кларки) пород обрамления, установлена генетическая близость отложений к средним составам гранитов Шарыжалгайского комплекса, а также к породам Шарыжалгайского метаморфического комплекса (ШЖМК). Эти результаты позволяют утверждать, что значительная часть осадков скважины BDP-98, расположенной в районе Посольской банки, формировалась за счет поступления пород ШЖМК, которые в это время, около 2.8 млн л.н. уже существовали на юго-западном побережье озера. Именно продукты их выветривания активно сносились в воды оз. Байкал. Это в полной мере согласуется и с результатами подводных маршрутных наблюдений из аппаратов «Пайсис» в 1990-1991 гг., фиксирующих в непосредственной близости от подводного Академического хребта – от о. Ольхон до Ушканьих островов и прилегающие участки побережья – древнюю зону взаимодействия фундамента Баргузинского микроконтинента и Сибирской платформы (шарыжалгайский, ольхонский, сарминский метаморфические комплексы, приморские гранитоиды). Таким образом, можно говорить о том, что эти породы на рубеже плиоцена и плейстоцена являлись основным субстратом для осадочной толщи озера в момент тектонических изменений в Байкальской горной области.

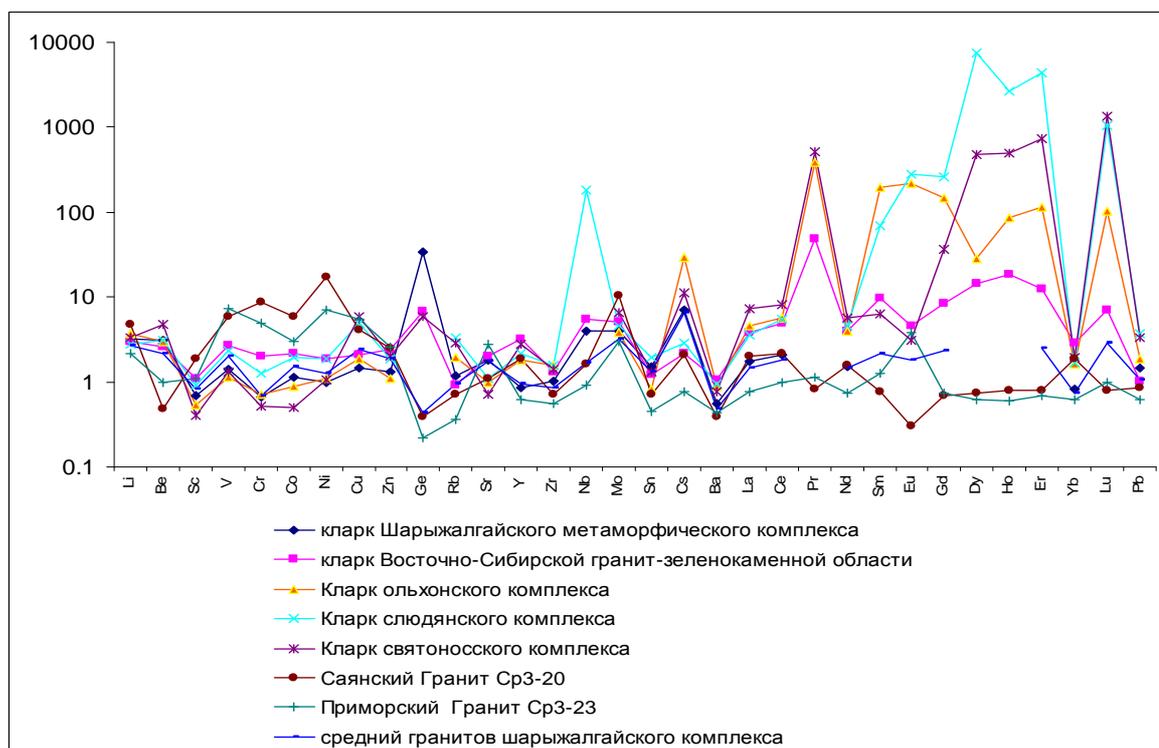


Рис. 26. Вариации нормированных значений микроэлементного состава осадков оз. Байкал (скв. BDP-98), сформированных в переходный период от плиоцена к плейстоцену.



Рис. 27. Изменение содержаний микроэлементов в осадках оз. Байкал (скв. BDP-98), сформированных в переходный период от плиоцена к плейстоцену.

Проведена оценка изменения содержаний микроэлементов при переходе от плиоцена к плейстоцену и в течение активной фазы орогенеза соответственно. Зафиксирован рост концентраций Ni, Cu, Zn, Mo, Sb, U, а также снижение концентраций Rb, Ba, Eu, Tb и Th. Такие тенденции в динамике концентраций некоторых приведенных элементов могут означать изменение физико-химических условий до и после тектонической активности. Например, в этот же период зафиксировано увеличение глинистой составляющей в осадке, что в свою очередь, повышает сорбцию таких элементов, как U, Be. Снижение средней

размерности частиц приводит также к увеличению скорости выщелачивания таких элементов, как Rb, Ba. Однако для более детальных палеотектонических реконструкций здесь необходимо учитывать минералогический состав осадков до и после активной фазы орогенеза, поэтому исследования нами будут продолжены.

• Изучено распределение частиц космогенного железа методами ТМА и МЗА в отложениях оз. Байкал, сформированных в голоцен-позднеплейстоценовый период.

Выполнен термомагнитный (ТМА) и микрозондовый (МЗА) анализ 61 образца донных отложений (Рис. 28), отобранных гравитационной трубкой в точке бурения скважины BDP-99, пробуренной на Посольской банке озера Байкал в ходе реализации проекта «Байкал-бурение», для сравнения с нижней частью разреза скважины BDP-98, изученной ранее. В результате термомагнитного анализа зафиксировано присутствие частиц самородного железа в 15 образцах,

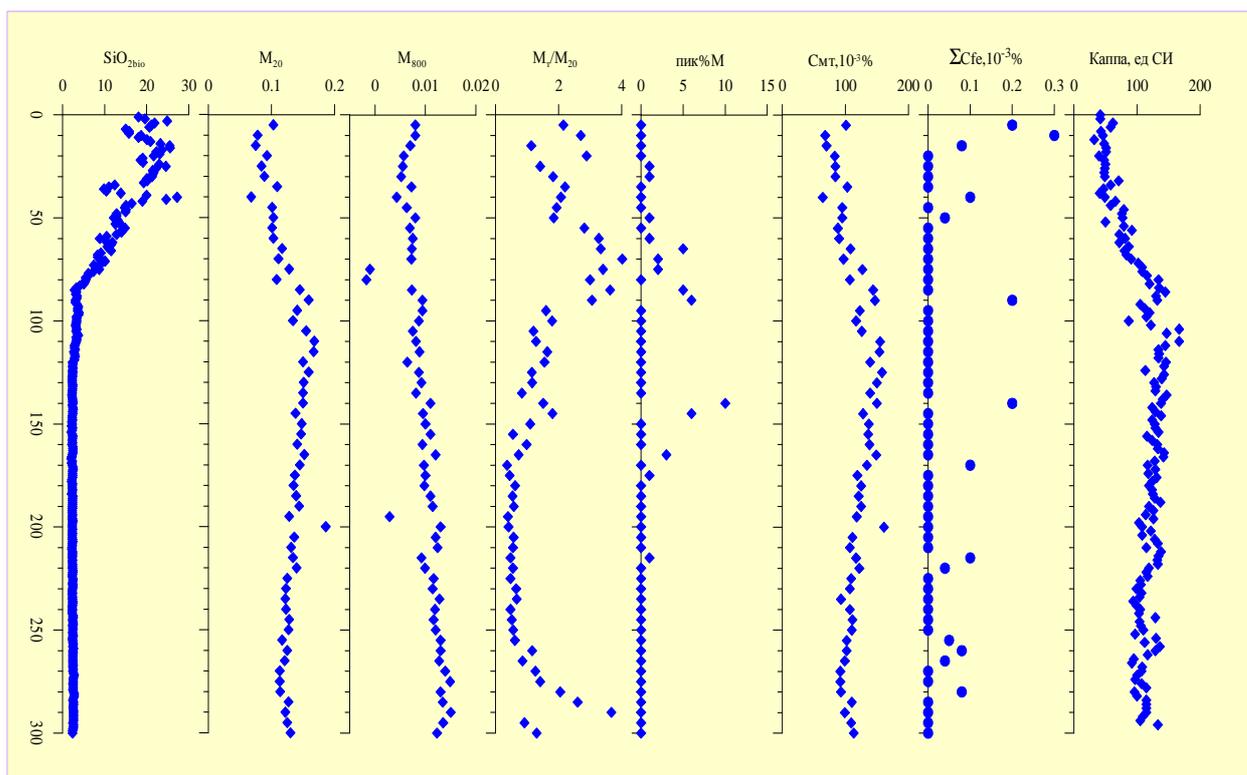


Рис. 28. Распределение различных характеристик по разрезу ядра GC-99 (данные ТМА):

SiO_{2bio} – концентрация биогенного кремнезема в осадочном разрезе; M_{20} – удельная намагниченность образца, измеренная при комнатной температуре в поле 500 мТл до его нагрева; M_{800} – парамагнитная удельная намагниченность образца, измеренная при 800°C; M_{800}/M_{20} - отношение величины M_{20} , измеренной при комнатной температуре до и после нагрева до 800°C; пик%M - «пиритовый» пик - величина роста намагниченности (% M_{20}) выше 500°C; $Спт, 10^{-3}\%$ – концентрация магнетита по данным ТМА. $10^{-3}\%$; $\Sigma CFe, 10^{-3}\%$ – концентрация самородного железа по данным ТМА. $10^{-3}\%$; каппа ед. СИ – магнитная восприимчивость.

что несколько чаще, чем в нижней части разреза BDP-98, и укладывается в глобальную статистическую зависимость от скорости осадконакопления. Концентрация самородного железа варьирует от $\sim 10^{-5}$ до $3 \times 10^{-4}\%$, его распределение бимодальное с ярко выраженной «нулевой» модой.

Во всех изученных образцах присутствуют магнетит-ильменитовые ассоциации, сульфиды железа, CuZn сплава, остатки магнитных бактерий и т.п., и главное – частички самородного железа, преимущественно частицы чистого железа, реже с примесью углерода, кремния, хрома. Термомагнитное изучение распространения самородного железа в осадках Байкала и обобщение подобных данных по многим осадочным объектам во времени и пространстве демонстрирует закономерную обратную зависимость накопления частиц железа от скорости осадконакопления. Наличие такой зависимости однозначно свидетельствует о преобладании среди частиц самородного железа в изученных осадках частиц космического происхождения.

• Проведено детальное исследование изотопного состава воды в озере Котокель и воды рек, соединяющихся с озером.

Интерпретация изотопных записей из озерных отложений требует понимания современной гидрологии озера, а также учета возможных изменений гидрологического режима, которые могли происходить в прошлом. С целью выявления факторов, определяющих величину изотопного сигнала в створках диатомовых водорослей, формирующихся в озере Котокель, и проведено исследование изотопного состава воды в озере и в соединяющихся с ним реках.

Образцы воды были отобраны в мае и июле 2011 г., в марте, сентябре и ноябре 2012 г., в июле и августе 2013 г. Станции опробования показаны на Рис. 29.

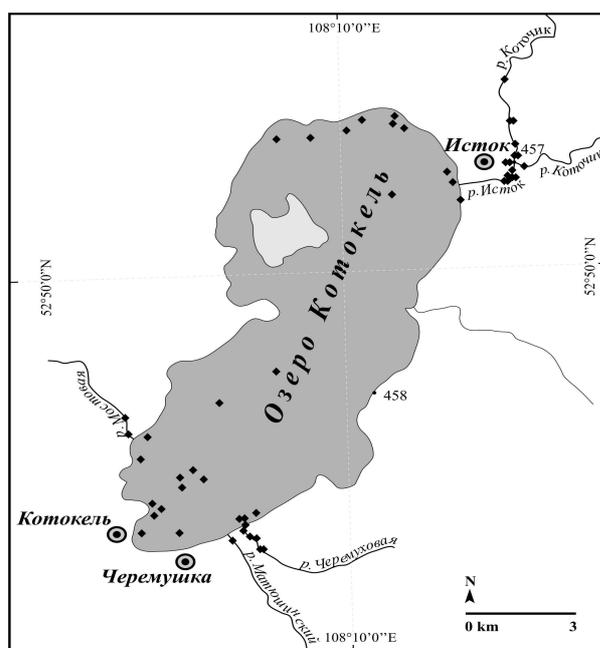


Рис. 29. Схема района исследований (черные ромбы – местоположение точек отбора проб воды).

Образцы атмосферных осадков отбирались с июля 2011 по октябрь 2013 г. в г. Иркутске, расположенном в 270 км западнее оз. Котокель. Изотопный анализ водных образцов выполнен на масс-спектрометре Finnigan MAT Delta-S (АВИ, Потсдам, Германия) в октябре 2013 года. Ошибка определения δD и $\delta^{18}O$ (1σ) составила $\pm 0.8\text{‰}$ и $\pm 0.1\text{‰}$, соответственно. Результаты измерений $\delta^{18}O$ и δD воды даны в отношении к международному стандарту VSMOW и представлены на диаграмме $\delta^{18}O$ – δD (Рис. 30).

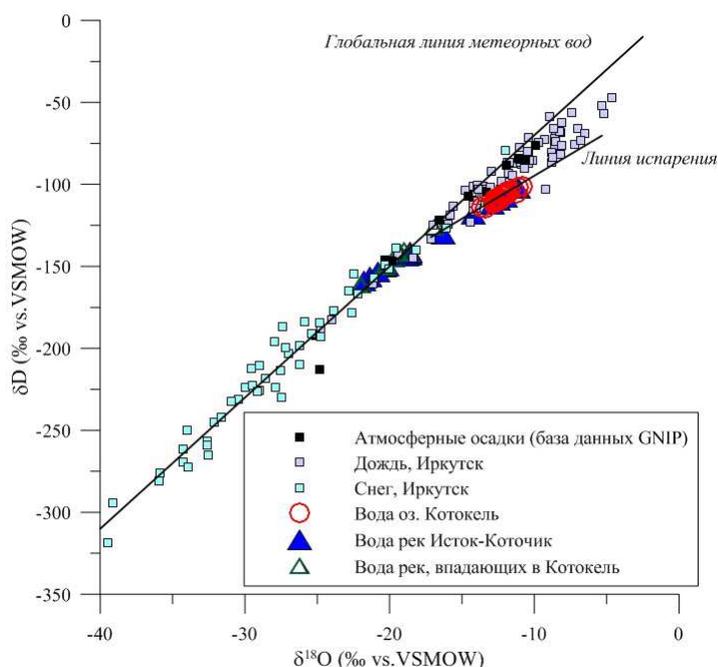


Рис. 30. Изотопный состав воды оз. Котокель, рек, соединяющихся с ним, и атмосферных осадков, выпадающих в Байкальском регионе.

Современный изотопный состав воды в оз. Котокель характеризуется средними значениями: $\delta^{18}\text{O}_в = -12.2\text{‰}$, $\delta\text{D}_в = -107.0\text{‰}$ и низким дейтериевым эксцессом $d = -9.1\text{‰}$. Данные величины выше, чем средние значения, характеризующие изотопный состав атмосферных осадков Байкальского региона: $\delta^{18}\text{O}_{\text{атм}} = -17.9\text{‰}$ и $\delta\text{D}_{\text{атм}} = -139.1\text{‰}$ (собственные данные за 2011-2013) и значительно отличаются от $\delta^{18}\text{O} = -19.7\text{‰}$ и $\delta\text{D} = -144.5\text{‰}$ для изотопного состава поступающей в озеро речной воды, основная доля которой, как свидетельствуют изотопные данные, формируется за счет таяния сезонного льда и снега. Согласно нашим наблюдениям, изотопный состав выпадающего в регионе снега характеризуется средними значениями $\delta^{18}\text{O}_{\text{сн}} = -27.7\text{‰}$ и $\delta\text{D}_{\text{сн}} = -210.5\text{‰}$.

Точки, характеризующие изотопный состав воды оз. Котокель, расположены на диаграмме (Рис. 30) правее глобальной линии метеорных вод. Измеренные значения подчиняются линейной зависимости, описываемой уравнением $\delta\text{D} = 5.0 \cdot \delta^{18}\text{O} - 46.3$ при достоверности аппроксимации $R^2 = 0.92$. Угловой коэффициент данной линии (линия испарения) удовлетворительно соответствует угловому коэффициенту, равному 5, для теоретически полученной линии неравновесного испарения.

Изотопные исследования 2011-2013 года подтвердили наблюдения А.Г. Егорова [Егоров, 1950²], который утверждал, что в зависимости от уровня воды в оз. Котокель и р. Коточик в том месте, где с ним соединяется р. Исток, вода по Истоку может поступать в озеро до тех пор, пока уровни воды в оз. Котокель и р. Коточик не станут одинаковыми. Процесс может продолжаться до конца июня—начала июля, после чего, наоборот, вода из озера по Истоку поступает в р.Коточик. Так, в июле 2011 г. средние значения, характеризующие изотопный состав воды реки Исток составили $\delta^{18}\text{O} = -20.4\text{‰}$ и $\delta\text{D} = -151.0\text{‰}$. Полученные величины близки к значениям $\delta^{18}\text{O} = -22.0\text{‰}$ и $\delta\text{D} = -160.7\text{‰}$ для р. Коточик до впадения в нее р. Исток. В сентябре и ноябре 2012 г., в июле и августе 2013 г. изотопный состав воды р. Исток характеризуется средними

² Егоров А.Г. Озеро Котокель // Известия Биолого-географического научно-исследовательского института при Иркутском государственном ун-те им. А.А. Жданова. Иркутск.: 1950. Т. XI, вып. 1. 40 с.

значениями $\delta^{18}\text{O} = -12.1\text{‰}$ и $\delta\text{D} = -108.0\text{‰}$, которые по величине совпадают со средними значениями для воды оз. Котокель.

Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют об изменении характера водообмена между оз. Котокель и р. Коточик и показывают, что изменение значений $\delta^{18}\text{O}_\text{в}$ оз. Котокель обусловлено вариациями $\delta^{18}\text{O}_\text{атм}$ и речного стока. Вода оз. Котокель подвержена существенному испарению.

• Оработана методика определения содержания биогенного кремнезема ($\text{SiO}_2\text{биог.}$) в отложениях современных торфяников.

В 2013 году в лаборатории начаты первые исследования по определению содержания биогенного кремнезема ($\text{SiO}_2\text{биог.}$ или опала) в торфяных отложениях. Первым разрезом, в котором было изучено изменение концентраций биогенного кремнезема, стал разрез озерно-болотных отложений из болотного массива Черемушка, расположенного на южном берегу оз. Котокель. Разрез был получен в 2010 году. Из его отложений для определения биогенного кремнезема было проанализировано 108 проб. Такое опробование позволило получить детальную запись изменения концентраций биогенного кремнезема со средним временным разрешением, составляющим 75 лет.

Результаты изучения позволяют сделать вывод о достаточно спокойном режиме накопления биогенного кремнезема (Рис. 31, левая панель). Исключение составляют два интервала – от 7750 до 6500 л.н. и от 6500 до 5450 л.н. В первом наблюдаются частые колебания концентраций $\text{SiO}_2\text{биог.}$ от 2.1 до 3%. Во втором интервале содержание опала резко снижается до минимальных значений в разрезе – 1.3 %. При этом скорости накопления торфа резко возрастают (Рис. 31, правая панель). Далее, в интервале от 5450 л.н. до 500 л.н., несмотря на значительные изменения скоростей накопления отложений (от 10 до 35 см/тыс.л.), биогенный кремнезем накапливался в спокойном режиме. Значения его концентрации в этот период изменяются незначительно – от 2.6 до 3.1 %.

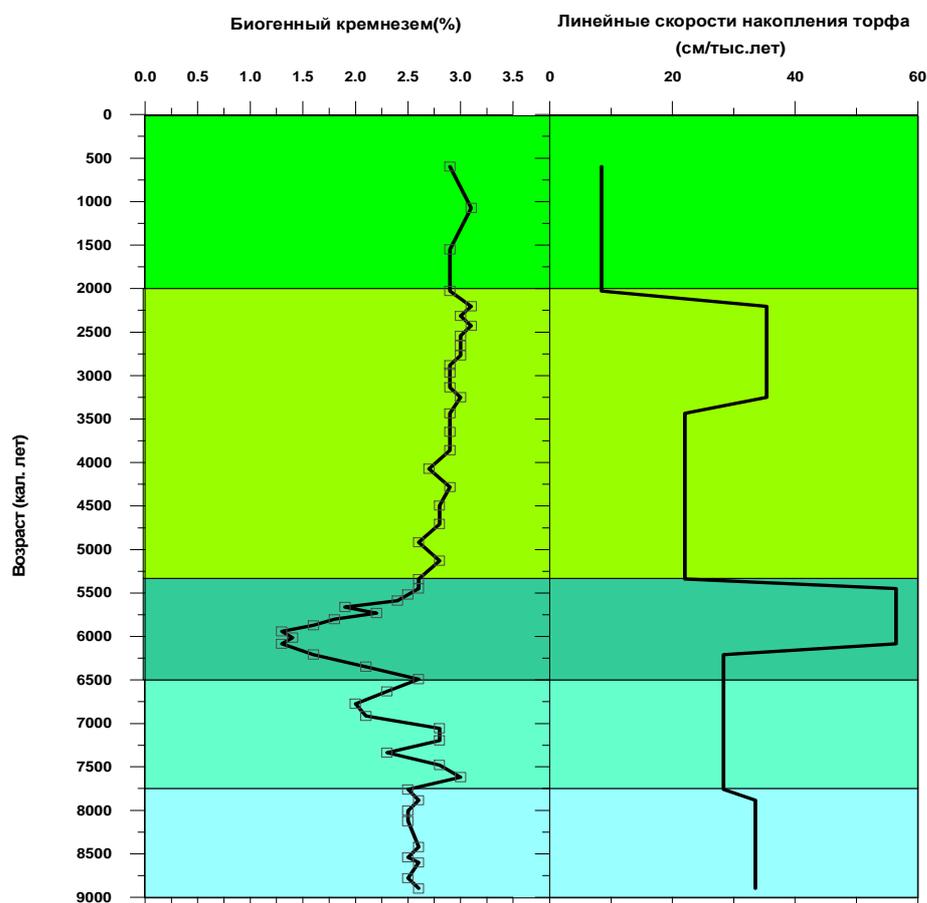


Рис. 31. Содержание биогенного кремнезема в разрезе озерно-болотных отложений массива Чермушка (2010 г.): левая панель – шкала значений концентраций биогенного кремнезема; правая панель – шкала линейных скоростей аккумуляции отложений.

• **Изучение компонентного состава углеводородных газов (УВГ) из осадков Посольской банки (озеро Байкал).**

В 2013 году было продолжено изучение углеводородных газов (УВГ) из осадков Посольской банки (озеро Байкал). Основное внимание было уделено участкам, где происходит разгрузка газа со дна озера. В настоящее время закончены работы по изучению компонентного состава УВГ и проведены изотопные исследования.

Основной компонент газа из осадков Посольской банки – метан. Характерной его особенностью является высокая (0.28 ÷ 9.9 об.% в пересчете на углеводородные газы) примесь этана в газе. Пропан присутствует в следовых количествах, а бутан без предварительного концентрирования ни в одной пробе смешанного газа обнаружить не удалось. Среднее значение $\delta^{13}\text{C}$ метана из осадков Посольской банки составляет -50.77‰ ($\delta^{13}\text{C}_{\text{min.}} = -68.60\text{‰}$; $\delta^{13}\text{C}_{\text{max.}} = -42.60\text{‰}$), а $\delta^{13}\text{C}$ этана =

-25.52‰ ($\delta^{13}\text{C}_{\text{min.}} = -26.70\text{‰}$; $\delta^{13}\text{C}_{\text{max.}} = -20.80\text{‰}$). Полученные данные свидетельствуют о том, что в осадках Посольской банки содержится метан, как смешанного, так и термогенного генезиса (Рис. 32).

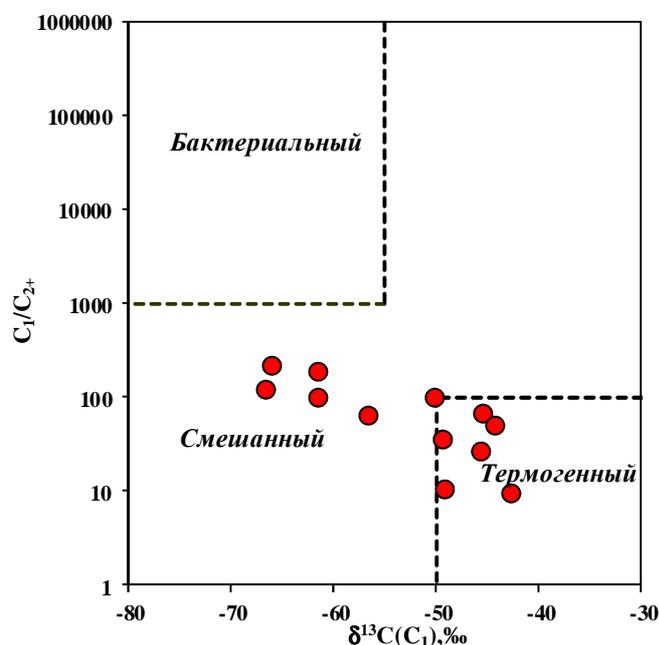


Рис. 32. Диаграмма в координатах $\text{C}_1/\text{C}_{2+} - \delta^{13}\text{C}-\text{C}_1$ (Посольская банка).

Газ смешанного (бактериальный + термогенный) генезиса достаточно широко распространен в Центральной котловине Байкала. Метан из осадков Посольской банки по изотопным характеристикам и компонентному УВГ ($\delta^{13}\text{C} = -68.6\text{‰} \div -52.6\text{‰}$; $\text{C}_1/\text{C}_2 = 20 \div 352$) практически полностью соответствует этой разновидности байкальского метана.

Термогенный газ из осадков Посольской банки по изотопным характеристикам похож на термогенный метан нефтегазопроявления Горовой утес, расположенного в Центральной котловине Байкала (среднее значение $\delta^{13}\text{C}-\text{C}_1 = -46.6\text{‰}$ и -46.07‰ соответственно). Однако по компонентному составу УВГ они резко различаются. Метан газонефтепроявления содержит в качестве примеси полный набор гомологов ($\text{C}_2 \div \text{C}_4$), а, как показано выше, газ Посольской банки состоит практически из метана и этана. На наш взгляд, такой газ не может образоваться в результате только термогенной переработке органического вещества. Скорее всего, он является продуктом неких постгенетических

преобразований (биodeградация гомологов метана, сегрегация при перемещении от источника в верхние горизонты осадка), которые существенным образом меняют компонентный состав УВГ.

Ранее на основании изотопных данных было показано, что основной причиной практически полного отсутствия в байкальском смешанном газе пропана и бутана является процесс их биodeградации. Аналогичная ситуация, скорее всего, наблюдается и на Посольской банке.

• Оценка пригодности методики РФА СИ анализа для изучения элементного состава озерно-болотных отложений.

За отчетный период были выполнены работы на экспериментальной станции «Рентгенофлуоресцентный элементный анализ» в ЦКП «Сибирский центр синхротронного и терагерцового излучения». Проведена оценка пригодности методики измерений для анализа состава озерно-болотных, в том числе и торфяных отложений, основанной на методе рентгенофлуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения и разработанной для анализа горных пород. Для этого использовали три стандартных образца состава элодеи канадской (ЭК-1), травосмеси (Тр-1) и листа березы (ЛБ-1). Для получения информации об элементном составе донных отложений требовался многоэлементный метод анализа, позволяющий работать с малым количеством материала, такой, как рентгенофлуоресцентный анализ с использованием синхротронного излучения (РФА СИ), получивший широкое применение при проведении палеоклиматических исследований. Ранее было установлено, что используемая методика измерений [М №3-06. Методика..., 2006³] на основе РФА СИ дает достоверную информацию о составе донных отложений озер [Маркова и др., 2012⁴]. Однако необходимо было оценить возможность применения данной

³ М №3-06. Методика выполнения измерений при определении элементного состава образцов горных пород методом рентгенофлуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения / отв. исп. А.В. Дарьин. – Новосибирск: ФГУП СНИИМ, 2006. – 16 с.

⁴ Маркова Ю.Н. , Кербер Е.В. , Анчутина Е.А. , Зарубина О.В. и др. Применение стандартных образцов донных отложений для оценки качества результатов методики рентгенофлуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения // Стандартные образцы, 2012, №2, с. 52-58.

методики для анализа состава торфа озерно-болотных отложений, так как они отличаются по составу от донных осадков, имеют повышенное содержание органического вещества, что делает их сходными с растительными материалами. В результате проведенного эксперимента была оценена возможность применения методики измерений. Согласованность результатов в выборке оценивали по хи-квадрат критерию, существование возможных выбросов – вычисляя статистику Граббса, правильность полученных средних результатов – по t-критерию. Методика показывает приемлемую правильность определения калия в диапазоне $0.7-3.2 \text{ млн}^{-1}$, кальция в диапазоне $1.6-2.8 \text{ млн}^{-1}$, железа в диапазоне $0.07-0.26 \text{ млн}^{-1}$, мышьяка в диапазоне $0.2-0.8 \text{ млн}^{-1}$, брома в диапазоне $3-33 \text{ млн}^{-1}$, кобальта в диапазоне $0.2-1.5 \text{ млн}^{-1}$, меди в диапазоне $7-11 \text{ млн}^{-1}$, галлия в диапазоне $0.02-0.08 \text{ млн}^{-1}$, марганца в диапазоне $50-1000 \text{ млн}^{-1}$, рубидия в диапазоне $0,3-0.9 \text{ млн}^{-1}$, стронция в диапазоне $70-180 \text{ млн}^{-1}$, титана в диапазоне $33-77 \text{ млн}^{-1}$, иттрия в диапазоне $0.2-0.7 \text{ млн}^{-1}$ и цинка на уровне 90 млн^{-1} .

Диапазоны сформированы с учетом содержания элементов в примененных для анализа ГСО состава элодеи канадской (ЭК-1), травосмеси (Тр-1) и листа березы (ЛБ-1) и результатов статистической обработки полученных данных.

Применяя методику для определения содержания хрома и ванадия необходимо учитывать, что разброс в результатах определения содержания этих элементов возможен вследствие влияния неоднородности распределения этих элементов при использовании аналитических навесок 30 мг. Данную методику можно рекомендовать для получения аналитических данных при исследованиях озерно-болотных отложений с целью получения геохимической информации и аттестациях стандартных образцов растительного состава, в том числе при оценивании однородности и межлабораторных экспериментах, в частности, когда аттестуемыми характеристиками являются массовые доли таких важных при палеоклиматических реконструкциях и экологическом мониторинге элементов, как бром и мышьяк.

• **Исследование палеонапряжённости идеальной намагниченности осадков скважины BDP-99.**

В 2013 году был завершён промежуточный этап исследования палеонапряжённости осадка скважины BDP-99. Одним из результатов исследования стало определение возраста 1.07 млн лет на глубине 218 метров в колонке BDP-99-2 на основе комплексного анализа магнитного наклонения и створок диатомовых (Рис. 33). Установлено, что запись палеонапряжённости позволяет достовернее датировать спорные экскурсы, что ведёт к построению более качественной временной шкалы необходимой для всех видов исследований, включая палеоклиматические.

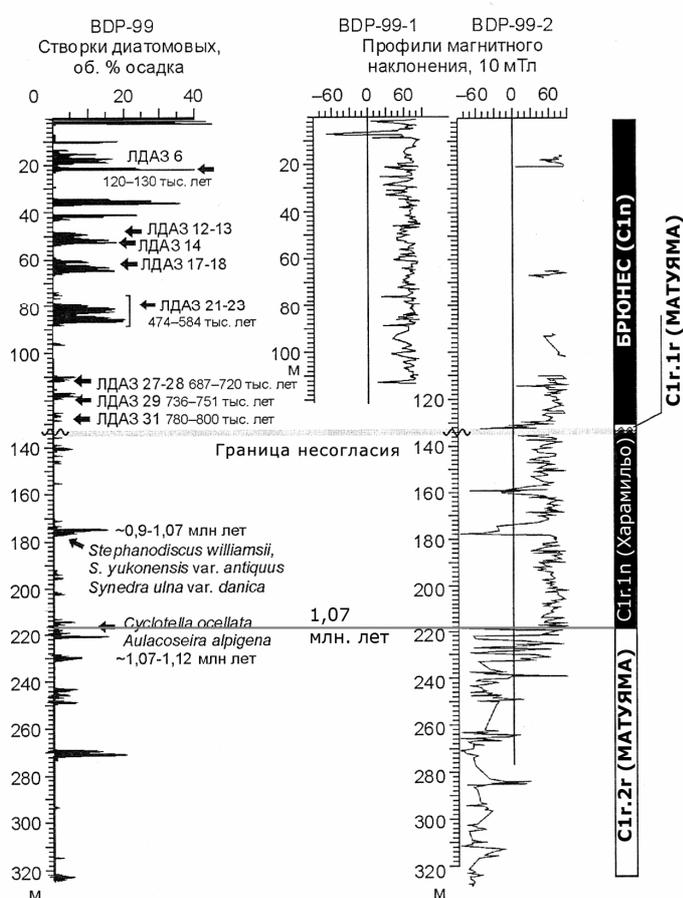


Рис. 33. Изменение палеонапряжённости в отложениях скв. BDP-99-2.

В продолжение изучения магнитных свойств осадка скважины BDP-99 было осуществлено измерение петромагнитной характеристики осадка – идеальной намагниченности, являющейся ещё одним из индикаторов палеоклиматического сигнала помимо известной магнитной восприимчивости. Данный параметр для Байкальских осадков ранее измерялся только в коротких кернах. Впервые проведено изучение свыше 100 метров скважины. Результаты показали, что идеальная

намагниченность сохраняет сведения о цикличности климатических изменений (циклы Миланковича) с большей достоверностью, нежели магнитная восприимчивость. Полагаем, что это связано с тем, что величина идеальной намагниченности непосредственно связана с размером минеральных зёрен, изменяющимся в ледниковый/межледниковый периоды.

• Разработка методики определения химического состава створок диатомовых водорослей из донных отложений озер Байкал и Хубсугул методом электроннозондового рентгеноспектрального микроанализатора с помощью волновых и энергодисперсионного спектрометров.

Разработана методика определения химического состава створок диатомовых водорослей озер Байкал и Хубсугул методом электроннозондового рентгеноспектрального микроанализатора с помощью волновых и энергодисперсионного спектрометров. Полученные результаты свидетельствуют о том, что содержание Al, Fe, Mg, Ca в створках диатомовых водорослей оз. Байкал меняется по разрезу с изменением содержания в осадке биогенного кремнезема. Содержание алюминия в них возрастает с увеличением возраста осадка.

В створках диатомовых водорослей оз. Хубсугул для ряда элементов замечено, что створки, имеющие хорошую сохранность, содержат меньшие концентрации элементов, а в створках с плохой сохранностью содержание элементов повышается. Информацию о содержании элементов в створках диатомовых водорослей, извлеченных из донных отложений, можно использовать для палеоклиматических реконструкций, поскольку особенности элементного состава диатомовых водорослей, как, впрочем, и любых организмов, связаны с состоянием среды их обитания.

Результаты, полученные по створкам *Cyclotella ocellata*, характерным для донных отложений оз. Хубсугул, дают возможность говорить о том, что эти данные можно использовать в качестве индикатора смены ледниковых и межледниковых периодов. Интервалы границ степь/лес совпадают с интервалами, выделенными нами по изменению концентраций некоторых элементов.

Также проведены экспедиционные работы по опробованию донных отложений оз. Хубсугул с помощью гравитационной трубки (ст. Hub-10 и 13).