

---

Приоритетное направление **7.12. ЭВОЛЮЦИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И КЛИМАТА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ. НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРАДИЦИОННЫХ И НОВЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ.**

---

Программа **7.12.1. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ И КЛИМАТА СИБИРИ В КАЙНОЗОЕ И ПРОГНОЗ ИХ ВЛИЯНИЯ НА СТАБИЛЬНОСТЬ ЭКО- И ГЕОСИСТЕМ**

Проект **7.12.1.1. ИЗУЧЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ КЛИМАТА ПОЗДНЕГО КАЙНОЗОЯ В ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ И СЕВЕРНОЙ МОНГОЛИИ (НА ОСНОВЕ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОЗЕРНЫХ И ПОЧВЕННО-ТОРФЯНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ)** (научный руководитель проекта академик РАН М.И. Кузьмин)

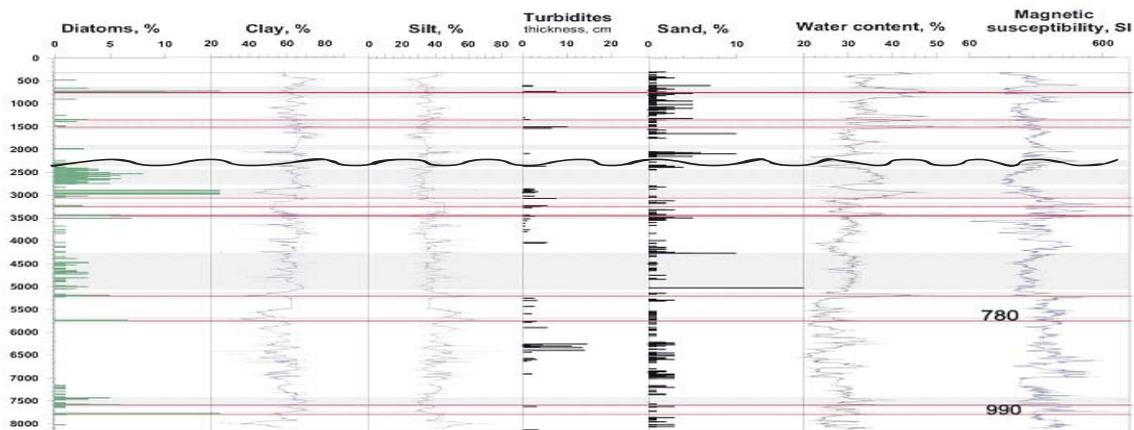
Три основных блока исследований, которые, с одной стороны, продолжали и детализировали исследования предыдущих лет, с другой стороны, служили заделом исследований будущих лет:

1. Изучить распределение петрогенных и редких элементов, а также вариации изотопного состава Sr, Pb, Nd в осадках, вскрытых глубоководными скважинами, для выяснения особенностей сноса и условий выветривания в водосборных бассейнах оз. Байкал и оз. Хубсугул.
2. Изучить минеральный состав осадков, вскрытых глубоководными скважинами, пробуренными на оз. Байкал и оз. Хубсугул для оценки роли климатического фактора в формировании геохимического облика донных отложений континентальных водоемов (совместно с Институтом геологии и минералогии СО РАН).
3. Изучить методом палинологического анализа керны донных отложений из оз. Котокель (Прибайкалье) и залива Борзог (оз. Хубсугул) и получить высокоразрешающие осадочные записи изменения климата и окружающей

Одной из основных задач проекта является описание кернов из озера Хубсугул и бурение в нем скважины до 200 метров. Эти работы являются продолжением работ по программе «Байкал-бурение».

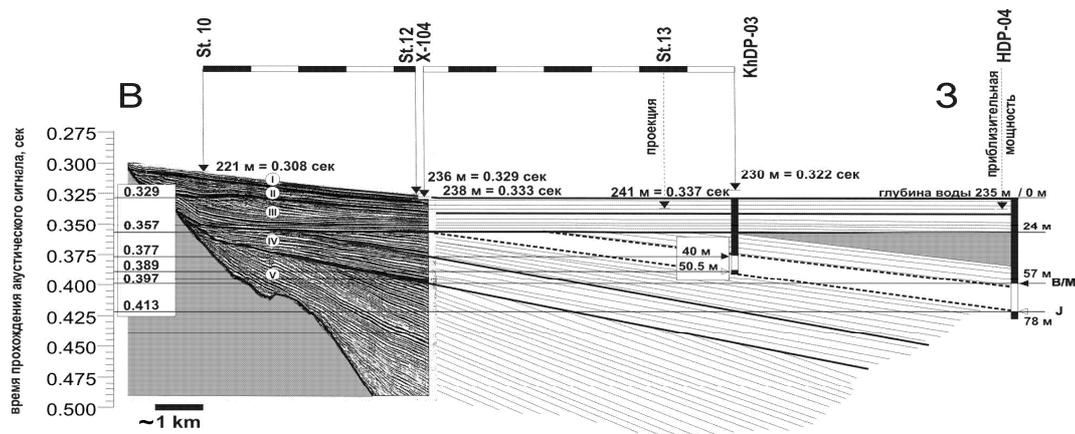
Изучение кернов скв. НДР-04 показало, что осадки разреза представлены тонкими алевритопелитовыми биогенно-терригенными илами. На основании подсчетов по слайдам установлены соотношения в отдельных слоях частиц песчано-алевритовой и пелитовой размерности, а также диатомового материала (**Рис. 27**). В отличие от байкальских разрезов, четко выраженные диатомовые интервалы встречаются в хубсугульском разрезе достаточно редко и по мощности не превышают 30-60 см. Содержание диатомовых не превышает 10-20 %, в то время как содержание глинистого материала колеблется от 7 до 80 %, а количество песчано-алевритового материала составляет от 1-20 до 15-60, реже 70 %.

Важно подчеркнуть, что остатки диатомовых водорослей встречаются по всему разрезу скв. НДР-04. Важным компонентом осадка являются карбонаты, которые характерны всему разрезу скважины за исключением диатомовых интервалов. На некоторых участках встречаются карбонатные стяжения до 0,5 см в диаметре, а на интервале 38-42 м неоднократно встречаются прослойки, сцементированные карбонатами мощностью до 6 см. Осадок в таких прослоях очень плотный и практически полностью растворяется при реакции с кислотой. В верхних 80 метрах хубсугульских осадков выявлены как минимум 9 (возможно 10) переходных слоев от карбонатсодержащих глин к диатомовым илам.



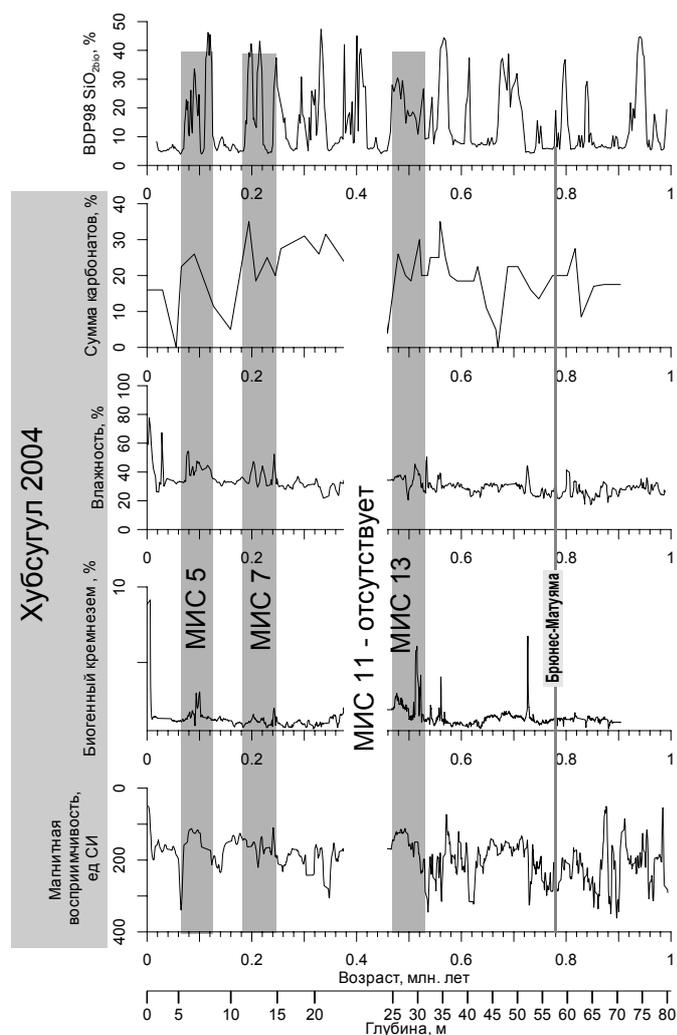
**Рис. 27.** Распределение количества диатомовых, частиц глинистой, алевритовой и песчаной размерности (по подсчетам в смер-слайдах), а также распределение турбидитов, содержание воды (влажности) и магнитной восприимчивости в разрезе скв. HDP-04.

- По результатам сейсмической съемки 2000 г на оз. Хубсугул (Федотов и др., 2002) был составлен разрез осадочной толщи озера. Важной особенностью разреза является наличие несогласия, расположенного на глубине около 24 м. (Рис. 28), которое подтверждается данными бурения и которое необходимо учитывать при любых возрастных моделях.



**Рис. 28.** Сейсмостратиграфический разрез осадочного чехла оз. Хубсугул в районе скв. HDP-04 [Федотов и др., 2002].

- С учетом данных по определению возраста углеродным методом, а также палеомагнитных измерений построена предварительная возрастная модель для Хубсугульского осадочного разреза (Рис. 29). Интервал 370-480 тыс. лет (т.е. 90 тыс. лет) характеризуется отсутствием осадков. Этот факт следует учитывать при любых построениях изменения окружающей среды и климата по Хубсугульским разрезам



**Рис. 29.** Распределение величины магнитной восприимчивости, содержания биогенного кремнезема, карбонатов и величины влажности осадков в разрезе скв. НДР-04. Распределение этих величин совмещено с распределением  $\text{SiO}_{2\text{биог.}}$  в скв. ВДР-98 [Антипин и др., 2000]. Приведенные графики совмещены с возможной возрастной моделью скв. НДР-04.

- В текущем году были продолжены систематические исследования вещественного состава донных отложений оз. Байкал и Хубсугул (МНР), вскрытых по Международным программам глубоководного бурения на этих озерах. Изучено распределение петрогенных, редких и редкоземельных элементов в разрезе скважины НДР-04, пройденной в 2004 году в центральной части оз. Хубсугул. По всему разрезу, сложенному глинистыми и карбонатными прослоями, по сравнению с оз. Байкал отмечаются повышенные содержания  $\text{CaO}$  (до 30), а также  $\text{MgO}$  (до 5.1 мас. %) в Байкальских разрезах содержание этих окислов 2 % и 1 % соответственно. Это связывается с повышенными содержаниями карбонатного материала в донных отложениях озера Хубсугул; по этой же причине содержание  $\text{Sr}$  и  $\text{Ba}$  в карбонатно-глинистых осадках выше, чем в слоях с повышенным содержанием биогенного кремнезема.

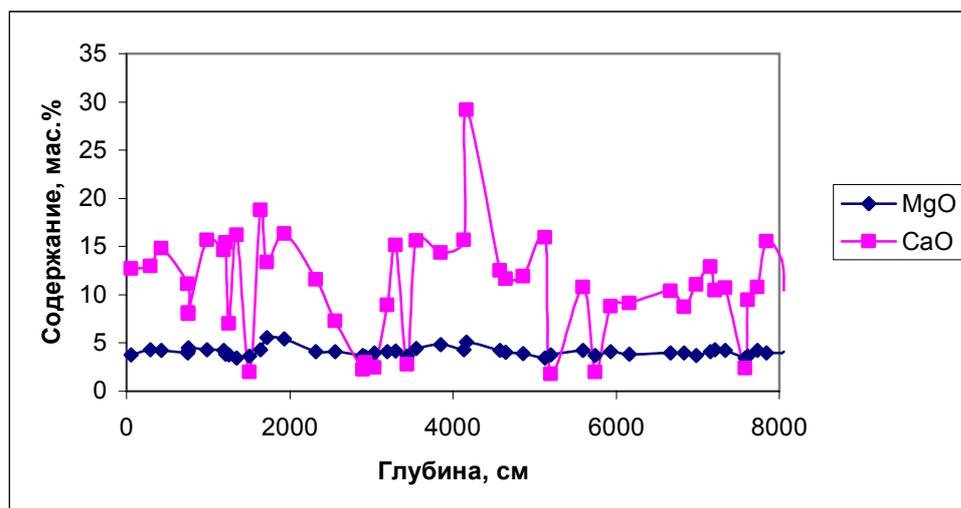
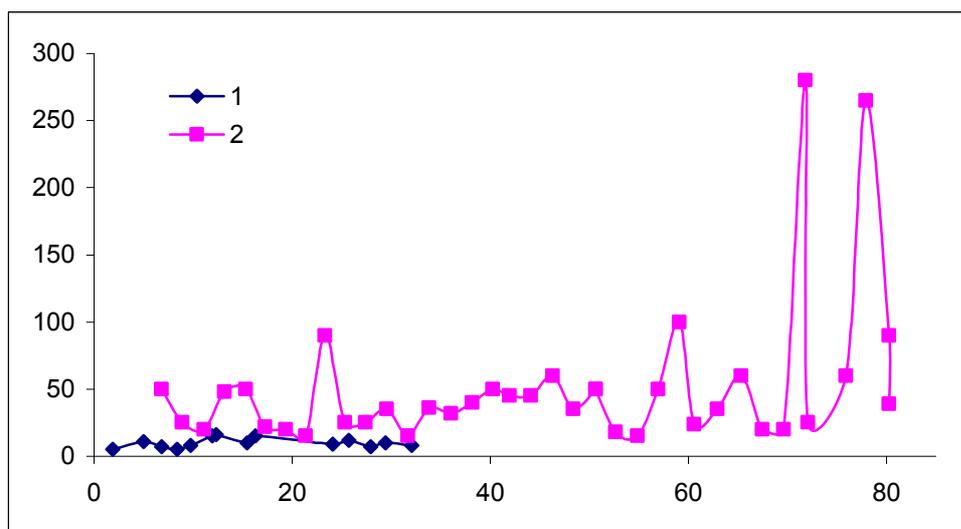


Рис. 30. Распределение CaO и MgO в разрезе скважины HDP-04.

- В целом, на основании определения макро- и микроэлементного состава осадков Хубсугула (весь разрез HDP-04) и Байкала (осадки, залегающие ниже 400 м, скважина BDP-98) может быть проведена определенная аналогия, связанная с тем, что они образовывались в условиях интенсивного поступления берегового материала. Несогласие в залегании осадков в разрезе скважины HDP-04, выявленное на основе литологических данных, не находит своего отражения в изменениях вещественного состава осадков по глубине скважины (рис. 30), что указывает на неизменность состава материала, привносимого из водосборного бассейна озера. В этом также находится аналогия с оз. Байкал, когда, несмотря на перерывы в осадконакоплении на Посольской банке этого озера, расположенной в приустьевой зоне р. Селенга, осадки, формирующиеся до и после перерыва, имеют практически один и тот же минеральный и химический состав.
- Изучение распределения марганца и железа в поверхностных донных осадках оз. Байкал и Хубсугул в совокупности с уже имеющимися данными показало, что изменения Mn/Fe определяется в первую очередь вариациями MnO. Вариабельность Mn/Fe и MnO отражает условия образования современных поверхностных донных осадков Байкала и Хубсугула, в частности глубину их формирования, скорость осадкообразования, литологический состав осадочных образований, Eh-pH и др. Поэтому Mn и Fe являются информативными индикаторами при петрохимических исследованиях современных осадков оз. Байкал и Хубсугул. Закономерности распределения марганца и железа по глубине, установленные для первых нескольких метров разрезов осадков озер, сохраняются и для осадков, вскрытых при глубоководном бурении. Так, на фоне незначительных вариаций изменения содержания марганца и Mn/Fe отмечаются захороненные слои с повышенными содержаниями обоих элементов, причем, как правило, в этих слоях при литологических исследованиях фиксируется присутствие микро- и макроконкреций вивианита, поэтому корреляция между содержаниями в осадках марганца и фосфора, зафиксированная для поверхностных отложений, сохраняется и для палеосадков.
- Было также продолжено изучение распределения ртути в осадках оз. Байкал и получены первые данные по содержанию ртути в донных отложениях Хубсугула. Донные отложения подводного Академического хребта оз. Байкал (скважины BDP-96 и 98) представлены гемипелагическими осадками, сформированными в условиях постоянства осадконакопления, причем их состав определялся поступлением вещества из водной толщи, а не за счет поступления терригенного материала с берегов озера, и поэтому характер осадкообразования здесь будет определяться во многом изменениями природной среды и климата во внешнем окружении озера. Нами было показано, что в таких непрерывных разрезах осадков распределение ртути по глубине отражает вариации климата в регионе, что иллюстрируется в частности данными на рисунке 31 (кривая 2), а отдельные экстремальные значения концентраций Hg в осадках обеспечивались атмосферным привносом этого ме-

талла при вспышках вулканизма в Прибайкалье (рис.5). Осадки центральной части Южной котловины Байкала (BDP-97) формировались за счет русловых и дельтовых отложений притоков озера, содержащих остатки растительности, привносимых водными потоками в места седиментации, что в конечном итоге обусловило высокоскоростное формирование осадков с образованием турбидитных прослоев. Содержание ртути в осадках скважины BDP-97 зависит от содержания металла в органическом веществе и терригенной составляющей осадков, причем в последней содержание Hg определяется ее концентрацией в осадках притоков, равной 21 ppb, и в коренных породах водосборного бассейна Байкала – 5-10 ppb. Что касается концентрации Hg в органическом веществе, представленном остатками растительности, то известно, что при прочих равных условиях, Hg содержится в водной растительности в значительно меньших количествах, чем в планктонном сообществе, что наряду с малыми содержаниями остатков растительности в терригенных осадках обеспечивает незначительную долю ртути в валовом содержании металла в осадке, связанную с его органической составляющей и, следовательно, о незначительном влиянии климата на распределение ртути в разрезе скважины BDP-97 (Рис. 31, линия 1). Это отличает рассматриваемые отложения от гемипелагических осадков озера (BDP-96, 98), содержание ртути в которых задается содержанием в них органического вещества, связанного, прежде всего, с планктоном, количество которого в осадке в конечном итоге зависит от климата (Рис. 31, кривая 2). Содержание ртути в осадках оз. Хубсугул (скв. HDP-04) близко к содержанию металла в скважине BDP-97 (13 и 8 ppb соответственно), что указывает на незначительное содержание автохтонного материала в осадках Хубсугула, которые формировались в основном, за счет привноса терригенного материала из водосборного бассейна.



**Рис. 31.** Распределение Hg по разрезу осадков Байкала. 1 – данные для скважины BDP-97, 2 – скважины BDP-98. Распределение ртути в осадках оз. Хубсугул близко к данным для BDP-97. Экстремально высокие содержания ртути в осадках оз. Байкал 280 и 260 ppb обусловлены поступлением ртути в донные отложения при вспышках вулканизма в Прибайкалье с возрастом 1,75 и 1,92 миллионов лет назад соответственно.

- Изучено распределение стронция и неодима в осадках 600 метровой глубоководной скважины BDP-98 на Академическом хребте озера Байкал. Изотопный состав Nd в терригенных осадках разреза скважины лежит в пределах  $\epsilon Nd(0) = -12,9 - (-9,3)$  при среднем значении  $\epsilon Nd(0) = -10,9$ , а в диатомовых – в пределах  $\epsilon Nd(0) = -13,0 - (-8,9)$  при среднем значении  $\epsilon Nd(0) = -10,2$  (Рис. 32). При этом в обоих типах осадков намечается корреляция между содержанием  $SiO_2(bio)$  и величиной  $\epsilon Nd(0)$ : чем больше содержание биогенного кремнезема, тем менее радиогенным является состав Nd в осадке.

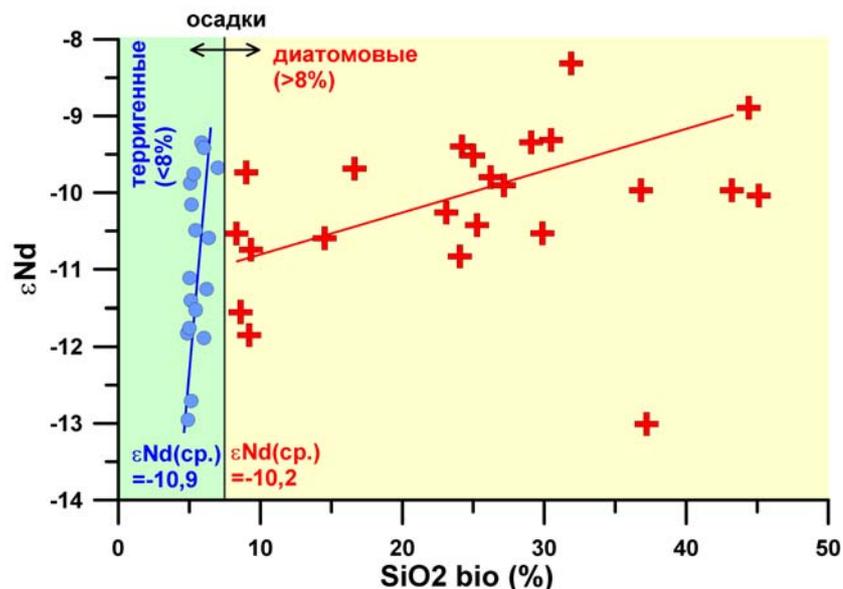


Рис. 32. Зависимость изотопного состава Nd от величины содержания SiO<sub>2</sub> (bio) в осадках 600м скважины BDP-98.

Изотопная Sr-Nd систематика осадков скважины BDP-98 (Рис. 33) позволяет наметить некоторые параметры источников сноса терригенного осадочного материала в бассейн осадконакопления. Очевидно, что область изотопных составов как терригенных, так и диатомовых осадков BDP-98 не принадлежит к линии смешения вещества между мантией и нижней корой, а также заметно отличается от линии смешения мантия – верхняя кора. Тренд изменения изотопного состава Sr и Nd осадков может быть объяснен с позиций смешения вещества мантийного источника и материала верхней континентальной коры, которая может быть сопоставлена со средним составом верхней континентальной коры по изотопному составу Sr ( $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr} = 0,716-0,719$ ), но обладает при этом заметно менее радиогенным составом Nd ( $\epsilon\text{Nd} = -12 - (-14)$ ). Такому источнику вещества могут соответствовать гранитоиды Баргузинского и Чивыркуйского гранитоидных комплексов, слагающие основную площадь водосборного бассейна р. Баргузин, вносящей существенный вклад в сток терригенного материала в районе Академического хребта.

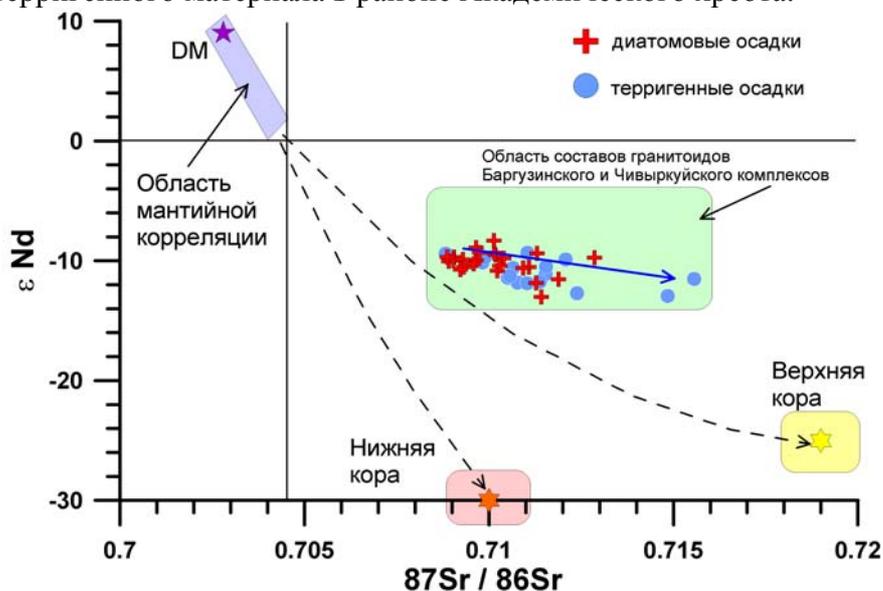


Рис. 33. Sr-Nd изотопная корреляция для терригенных и диатомовых осадков 600м скважины BDP-98.

- В пересчете на минеральную часть осадка среднее содержание кварца в алевритистых глинах составляет около 20 %, а в диатомовых (голоценовых) илах порядка 14 %; плагиоклаза ~16 и ~11 % соответственно. Можно заметить, что, как и в байкальских осадках, содержание кварца и плагиоклаза повышено в осадках последнего ледникового периода.

Обломочный характер имеют также мусковит и хлорит, содержание которых мало меняется по разрезу, но все-таки имеется тенденция некоторого уменьшения количества этих минералов в верхней (теплой) части разреза. Эти данные свидетельствуют о важной роли физического выветривания, поставляющего обломочный материал из водосборного бассейна.

Количество глинистых минералов в осадках голоцена в среднем 50 % минеральной части осадка против 30 %, накопившихся за время последнего оледенения. Осадки межледникового периода характеризуются повышенным уровнем иллита (до 30 %) и высоким содержанием (до 80 %) смектитовых межслоев в структуре иллит – смектиты. Все это указывает на усиление химического выветривания в водосборном бассейне озера при потеплении и увлажнении климата.

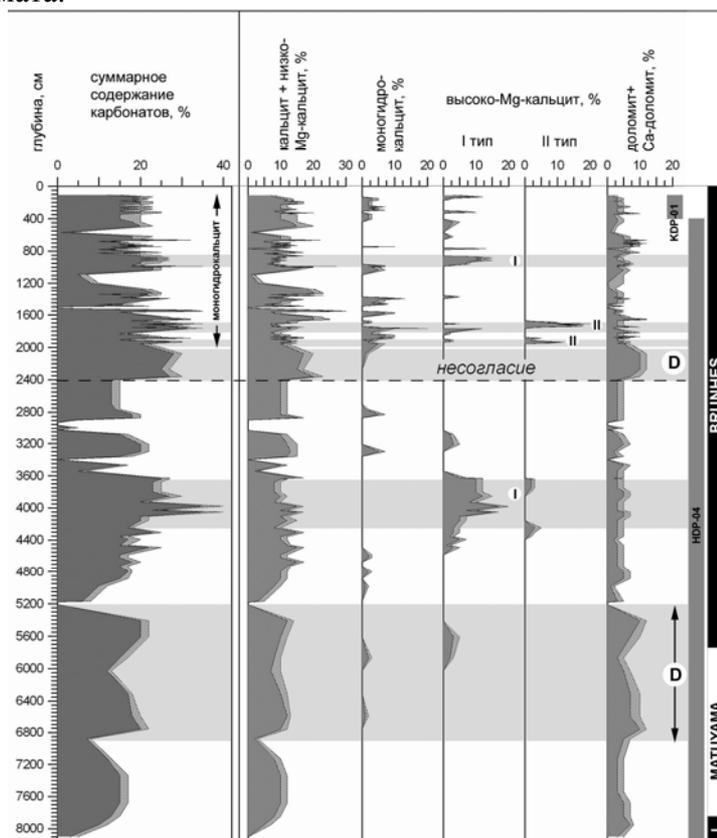
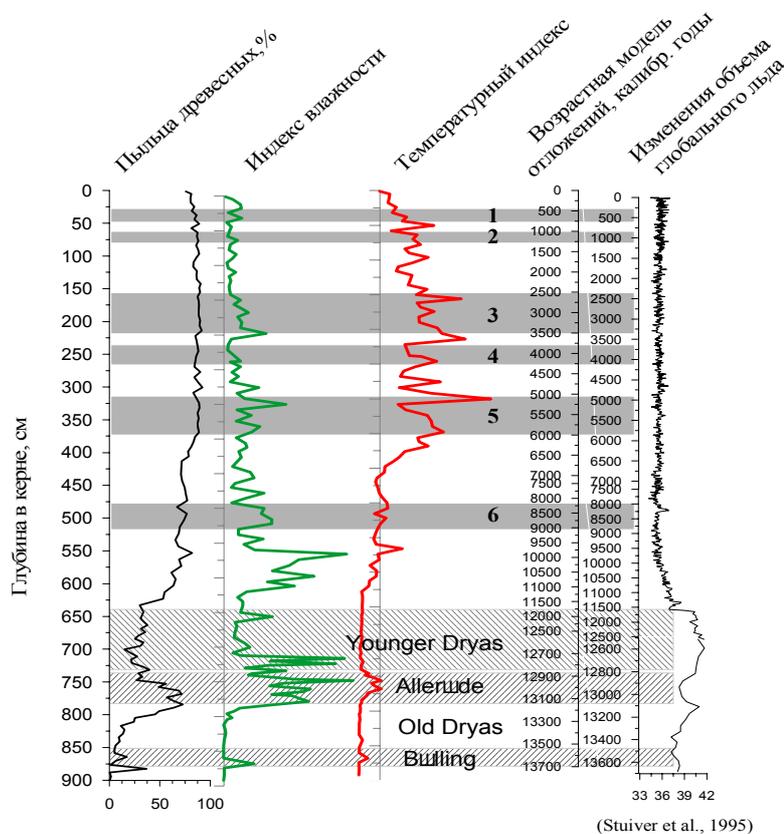


Рис. 34

- Карбонаты в осадках Хубсугула формировались предположительно в периоды низкого стояния озера. Диагностика присутствующих в осадках разновидностей карбонатов выполнена методом рентгенографии с привлечением данных ИК-спектроскопии.
- Карбонаты (рис. 34) в разрезе скважины HDP-04 представлены в основном кальцитом (в среднем ~15-20 %) с примесью доломита (в среднем 5-7 %). Кроме того, довольно часто в осадке обнаруживается магнезиокальцит, в единичных случаях его содержание достигает 5-10 %. Несомненный интерес представляет обнаружение в осадках ядра HDP-04 очень редкого водного карбоната, моногидрокальцита  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . Находки этого минерала в природных условиях единичны, и вопросы его генезиса в осадках озер различных регионов мира являются предметом дискуссий. Моногидрокальцит является метастабильной фазой. Содержание этого минерала меняется в ядре HDP-04 (от 0 до 7-10 %), что указывает на периодичность его отложения. Моногидрокальцит отмечается главным образом в верхней (до 21 м) части разреза скважины, в то время как магнезиокальцит отмечается главным образом в ее нижней части. Поскольку уровень озера Хубсугул в плейстоцене был ниже современного, и в то же время отсутствовал сток, возможно, что повышение минерализации вод являлось одним из важнейших факторов отложения моногидрокальцита, магнезиокальцита и, соответственно, карбонатов. Действительно, в последний лед-

никовый период, когда уровень Хубсугула опускался на 100 м и озеро становилось бессточным, карбонаты откладывались из толщи воды, в то время, как в голоценовых осадках карбонаты отсутствуют, а судя по распределению карбонатов по разрезу скважины NDP-04 отмечаются участки без карбонатов, в них обычно несколько повышенные содержания биогенного кремнезема.



**Рис. 35.** Серия характеристик климата позднего ледникового периода и голоцена бассейна оз. Котокель (западное Забайкалье), полученная на основе пыльцевого и AMS радиоуглеродного анализа скважины КТК-2004. Повышение относительного обилия пыльцы древесных растений соответствует развитию высокопродуктивных лесных ландшафтов интерстадиалов и межледниковий. Индексы влажности и температуры отражают относительные изменения доступных растениям уровней тепла и влаги во времени. Пыльцевые серии климатических характеристик сравниваются с палеоклиматическими событиями, записанными в вариациях объема глобального льда (по Stuiver et al., 1995) и последовательностью палеогеографических событий позднего ледникового европейской климатостратиграфической шкалы – Беллингем (Bolling), Древним Дриасом (Old Dryas), Аллередом (Allerode), Поздним Дриасом (Younger Dryas). Сплошная темно-серая заливка с цифрами 1-6 соответствует глобально зафиксированным временным интервалам резких климатических изменений – наступлению ледников (Denton and Karlen, 1973).

- Методом пыльцевого и AMS  $^{14}\text{C}$  анализа изучен 9-метровый керн донных отложений из оз. Котокель (Западное Забайкалье). Географическое положение котловины озера позволяет рассматривать его как высоко перспективный природный объект для изучения вариаций системы атмосферной циркуляции, обусловленной как орбитальными причинами, так и изменениями модели термогалинной циркуляции в Северной Атлантике. Новая, детальная, датированная пыльцевая запись (Рис. 35) показала, что лесостепная растительность котловины озера оказалась высоко чувствительной частью экосистемы, ответившей на изменение модели увлажнения региона в переходный период от последнего ледникового периода к голоцену и в голоцене. Впервые по данным палинологии для этой территории выявлена полная серия коротковременных колебаний климата в позднем ледниковье. Синхронность коротковременных изменений климата в бассейне озера за последние почти 14 тысяч лет с таковыми в глобальном масштабе подразумевает наличие быстро действующего механизма, вызывавшего эти изменения. Одним из предполагаемых меха-

низмов является перераспределение атмосферной влаги.

• Зимой этого года была проведена экспедиция на оз. Хубсугул с целью изучения газосоставляющей осадков озера. Результаты исследования газа, выделенного из осадков Хубсугула, показали, что примесь тяжелых углеводородных газов ( $C_2 - C_4$ ) в нем невелика ( $C_1/C_{2+} = 40000 \div 120000$ ), а значение  $\delta^{13}C(CH_4)$  варьирует от  $-92,7 \text{ ‰}$  до  $-72,4 \text{ ‰}$ . Этот факт однозначно свидетельствует о том, что  $CH_4$  в верхних слоях донных отложений Хубсугула имеет бактериальное происхождение. Следует отметить, что бактериальный  $CH_4$  является наиболее распространенным генетическим типом метана в любых водоемах, и Хубсугул, в этом плане, не является исключением. В морских условиях, а также в соленых озерах, образование бактериального метана осуществляется в результате бактериального восстановления  $CO_2$ , а для пресноводных условий характерен механизм ферментативного брожения ацетата. Различие в механизмах генерации метана четко маркируется изотопным составом его водорода. Так для метана, который генерируется в морских условиях, значение  $\delta D < -300$ , а для метана пресноводных водоемов  $\delta D > -250$ . Полученные нами результаты ( $\delta D = -269 \text{ ‰} \div -180 \text{ ‰}$ ) свидетельствуют о том, что в осадках Хубсугула образование метана происходит в результате бактериального восстановления  $CO_2$ , (рис. 36).

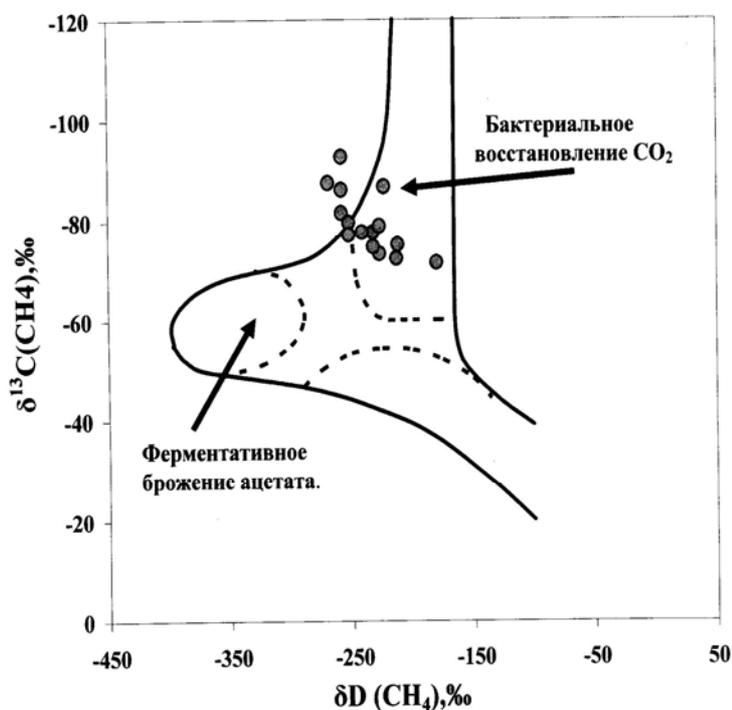


Рис. 36. Диаграмма в координатах  $\delta^{13}C(CH_4)$ -  $\delta^1D(CH_4)$