
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 VII.65.1. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ И КЛИМАТА СИБИРИ В КАЙНОЗОЕ И ПРОГНОЗ ИХ ВЛИЯНИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ЭКО- И ГЕОСИСТЕМ

Проект VII.65.1.1. РЕКОНСТРУКЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ И КЛИМАТА В БАЙКАЛЬСКОМ РЕГИОНЕ И СЕВЕРНОЙ МОНГОЛИИ В ПОЗДНЕМ КАЙНОЗОЕ: КОМПЛЕКСНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ОТЛОЖЕНИЙ КРУПНЫХ И МАЛЫХ ОЗЕР И ТОРФЯНИКОВ

(Reg. № 01201055605)

(научный руководитель проекта академик РАН М.И. Кузьмин)

- Цель исследования – установление закономерностей и периодичности изменения глобальных и региональных природных процессов в позднем кайнозое Сибири и влияния человека на стабильность эко- и геосистем и их компонентов. Для решения поставленной задачи были выполнены геохимические реконструкции за несколько десятков тысячелетий, позволяющие получить надежные данные о внутривековых и вековых изменениях климата, и определены численные значения геохимических индикаторов изменения состояния экосистем в прошлом.

Детальное исследование донных отложений озера Байкал, включающее определение биогенного кремнезема, химического и минералогического состава, подтвердило возможность высокоточного обнаружения изменений климата и природной среды в регионе по осадочным записям. Определение содержания стабильных изотопов кислорода в створках диатомовых водорослей дает возможность по кислородным изотопным кривым сравнивать океанические и байкальские палеоклиматические записи.

Региональные изменения климата Сибири определены по изменению содержания остатков диатомовых водорослей, палинологическим данным и особенностям состава терригенных минералов [Кузьмин и др. 2007²⁴, 2009²⁵].

²⁴ Кузьмин М.И., Ярмолюк В.В., Безрукова Е.В., Бычинский В.А. Глобальные и региональные природные катастрофы Центральной Азии и их отражение в осадочных записях из оз. Байкал и Хубсугул. В кн.: Изменения окружающей среды. М.: ИГЕМ РАН, 2007, с. 96-103.

Поскольку полный набор данных, достаточных для точного восстановления истории климатических событий, получить не всегда возможно, было проведено исследование математически достоверной взаимосвязи между установленными ледниковыми и межледниковыми стадиями с данными по химическому и минералогическому составу донных осадков. Ранее в рамках международного проекта «Байкал-бурение» было проведено сопоставление палеоклиматических записей из скважин Байкала с данными по реконструкции климатических условий, полученных на основе изучения морфологических типов лавовых толщ Южно-Байкальской вулканической области [Кузьмин, Ярмолюк, 2006²⁶]. Было высказано предположение, что в холодные периоды преобладает физическое выветривание, когда ледники истирают коренные породы. Ледниковый детрит выносится в виде тонкого материала, формируя гляциоозерные толщи, которым свойственно повышенное содержание кварца, полевых шпатов и кислого плагиоклаза. В теплые периоды, когда преобладает химическое выветривание, полевые шпаты разрушаются. Однако, это качественная оценка, численное решение проблемы взаимосвязи химического и минералогического состава получено не было. Требуется на основе ограниченных данных определить минералогический состав донных отложений, согласовать его с данными по биогенному кремнезему и палинологическими записями, а затем сопоставить с результатами определения минерального состава осадков. На первом этапе установлено, что закономерности изменения соотношения глинистых минералов и полевых шпатов можно использовать как независимый палеоклиматический сигнал, позволяющий оценить особенности развития почв и коры выветривания в водосборном бассейне в соответствующие климатические эпизоды. Этот вид исследования – геохимический подход реконструкции изменения климата – является важным дополнением к

²⁵ Кузьмин М.И., Хурсевич Г.К. и др. Центрические диатомовые водоросли позднего кайнозоя озера Байкал: морфология, систематика, стратиграфическое распространение, этапность развития (по материалам глубоководного бурения). – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2009. – 374 с.

²⁶ Кузьмин М.И., Ярмолюк В.В. Горообразующие процессы и вариации климата в истории Земли // Геология и геофизика, 2006, Т. 47, № 1, с. 7-25.

диатомовому и палинологическому анализу.

- *Минералогия и геохимия донных отложений озера Байкал.*

Изучение минеральных ассоциаций и кристаллохимических характеристик отдельных минеральных фаз является мощным инструментом для понимания процессов озерной седиментации. Ведущая роль в идентификации кристаллохимической типизации, изучении особенностей реальной структуры дисперсных слоистых минералов осадка – слюд, хлоритов, смектитов, смешаннослойных и каолиновых минералов – принадлежит порошковой рентгеновской дифрактометрии. Качественно новый уровень исследований обеспечен применением разработанного авторами эффективного метода математического моделирования сложных рентгеновских дифракционных профилей слоистых минералов, [Солотчина и др., 2001-2008²⁷]. Сравнительный анализ минеральной составляющей осадка в датированных разрезах позволяет судить о степени выветривания пород в водосборных бассейнах, изменениях в составе речной взвеси и золотого материала, общей минерализации и колебаниях уровня воды в озерах на протяжении прошлых климатических циклов.

В целом различия глинистых и диатомовых илов по минеральному составу и соотношения глинистых минералов в теплые и ледниковые периоды известно давно. В 1995 году впервые была отмечена корреляция между содержаниями смектита и биогенного кремнезема и высказано предположение об образовании глинистых минералов в почвах в межледниковые периоды [Коллектив..., 1995²⁸]. Однако однозначной зависимости «минеральный состав

²⁷ Солотчина Э.П. и др. Различия ледниковых и межледниковых ассоциаций глинистых минералов осадков озера Байкал в кернах глубокого бурения BDP-93-2 и BDP-96 // Геология и геофизика, 2001, Т. 42, № 1-2, с. 146-156.

Солотчина Э.П. и др. Минералогические и кристаллохимические индикаторы изменений окружающей среды и климата в голоцен-плейстоценовых осадках озера Хубсугул (Монголия) // ДАН, 2003, Т. 391, № 4, с. 527-531.

Солотчина Э.П. и др. Глинистые минералы и палеоклиматические сигналы в голоцен-плейстоценовых осадках озера Байкал. ДАН, 2004, Т. 398, № 3, с. 390-395.

Солотчина Э.П. и др. Минералогия карбонатов в осадках озера Хубсугул: водный баланс и палеоклиматические обстановки. // ДАН, 2008, Т. 419, № 3, с. 387-392.

²⁸ Коллектив исполнителей Байкальского бурового проекта. Результаты бурения первой скважины на озере Байкал в районе Бугульдейской перемычки // Геология и геофизика, 1995, Т. 36, № 2, с.3-32.

глин – климат» не установлено, так как на первом этапе требуется установить закономерности изменения общего химического состава в ледниковые и межледниковые эпохи. Эту задачу можно решить с помощью сопоставления парных корреляций химических элементов в ледниковые и межледниковые климатические эпизоды (Табл. 5, 6).

Таблица 5.
Содержание полевых шпатов и плагиоклаза в кернах BDP-93-2

Глубина, (см)	Содержание полевых шпатов (ИК-спектроскопия), %	Содержание кпш (X-ray анализ), %	Содержание плагиоклаза (X-ray анализ), %	Морская изотопная стадия
3	16.3	5.33	10.97	MIS 1
20	15.6	6.17	9.43	
32	12.4	4.66	7.77	
33	13.8	4.75	9.05	
45	13.9	4.7	9.2	
50	16.2	5.1	11.1	
59	15,3	5.5	9.8	
80	13,1	4.3	8.8	
91	13,9	4.7	9.2	
111	15,9	5.0	10.9	
127	12,1	4.2	7.9	
137	15,4	5.3	10.1	
198	12,3	4.2	8.1	
222	16,3	5	11.3	MIS 2
252	13,8	4.2	9.6	
372	14,8	4.5	10.3	
450	12,3	4.2	8.1	
470	11,3	4.6	6.7	
511	16,3	5.1	11.2	MIS 3
617	17	5.6	11.4	

Зная минеральный состав осадков холодных и теплых периодов, было необходимо использовать химический и редкоэлементный состав осадков из кернов, отобранных в теплые и холодные периоды. В 2010-2011 годах накоплено большое количество анализов, что позволяет начать работу по определению состава элементов в осадках, сформированных в результате температурного периода.

Таблица 6.

Содержание полевых шпатов и плагиоклаза в ядрах BDP-96-2

Глубина, (см)	Содержание полевых шпатов (ИК- спектроскопия),%	Содержание кпш (X-ray анализ), %	Содержание Плагиоклаза (X- ray анализ), %	Морская изотопная стадия
12,5	18,6	5,66	12,9	MIS 1 (GC-1)
20,5	17,6	5,9	11,7	
32,5	22,3	8,0	14,3	MIS 2
50,5	20,0	7,0	13	
60,5	20,0	7,2	12,8	
92,5	16,7	5,6	11,1	MIS 3
117,5	16,9	5,9	11	
146,5	17,9	5,5	12,4	
173,5	19,0	6,4	12,6	
221,5	21,3	7,5	13,8	MIS 4
251,5	21,8	8,1	13,7	MIS 5a
263,5	17,4	5,8	11,6	
271,5	12,8	4,4	8,4	
296,5	19,1	6,6	12,5	
308,5	14,1	4,7	9,4	
318,5	16,8	5,7	11,1	
334,5	18,0	6,1	11,9	
348,5	24,3	8,6	15,5	
360,5	14,9	5,3	9,6	MIS 5b
371,5	20,2	6,8	13,4	
388,5	16,8	5,8	11	MIS 5c
402,5	18,2	7,2	11	
412,5	17,3	6,0	11,3	
418,5	18,2	6,1	12,1	MIS 5d
430,5	28,4	9,8	18,6	
450,5	27,0	10	17	
466,5	21,6	7,8	13,8	
472,5	17,1	6,7	10,4	MIS 5e
479,5	20,9	7,6	13,3	
502,5	18,6	6,6	12,0	
510,5	18,4	6,7	11,7	
526,5	18,8	6,6	12,2	
532,5	18,1	6,4	11,7	
533,5	17,0	5,8	11,2	
540,5	14,9	5,1	9,8	
545,5	19,9	6,5	13,3	
566,5	20,2	7,1	13,1	

Были рассчитаны средние содержания элементов в верхних 200 метрах скв. BDP-98. Для примера приведем данные по редкоэлементному составу (Рис. 27). По петрогенным элементам различия меньше. Таким образом, использование абсолютных содержаний не позволяет использовать их для статистически

обоснованных различий осадков, сформированных в холодные и теплые периоды.

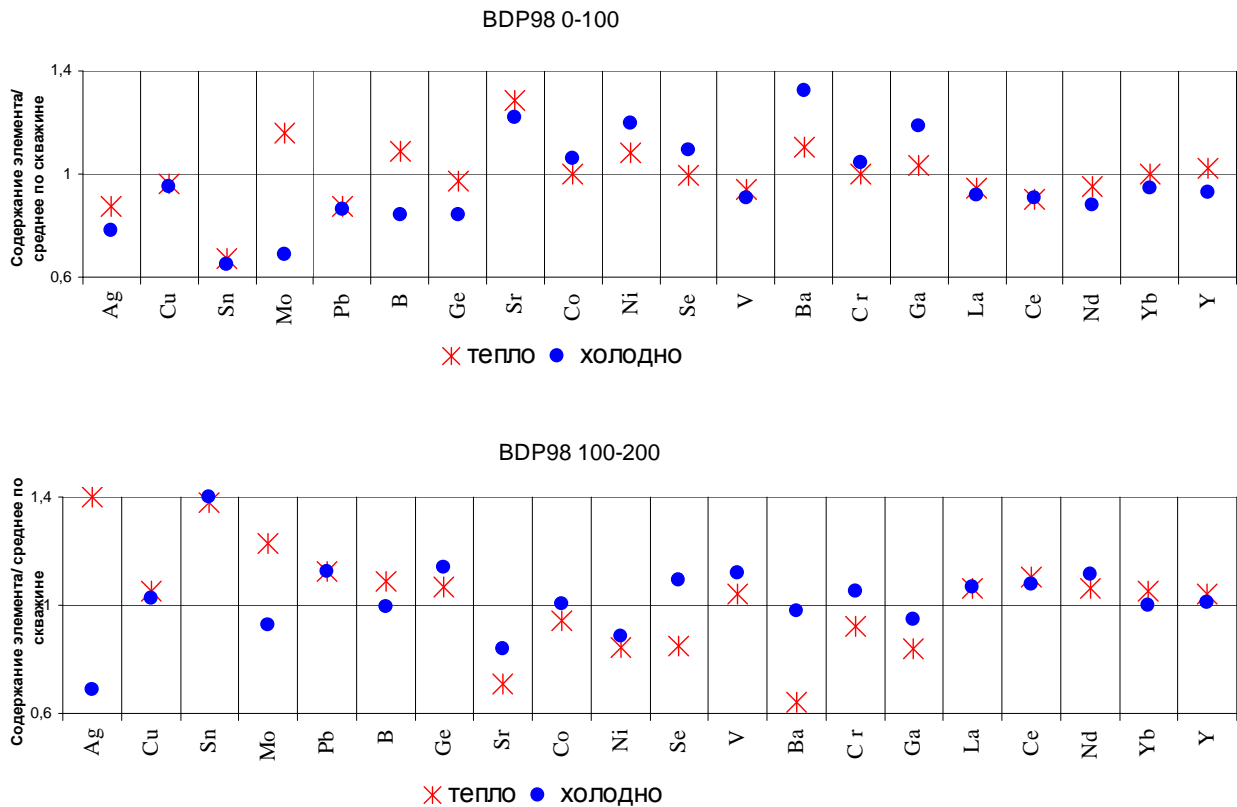


Рис. 27. Среднее содержание элементов в скв. BDP-98.

Были определены величины парных корреляций элементов в исходных породах и выбраны тесно коррелированные группы элементов, которые могут служить индикаторами степени как физического, так и химического разрушения источников осадочного материала. Поскольку материал, поступающий в донных отложениях, является в большей мере продуктами разрушения гранитоидов, базальтоидов, метаморфических пород, общее соотношение величин парных корреляций элементов в донных отложениях, образовавшихся в холодные периоды, соответствует корреляциям, характерным этим породам. К этой группе относятся такие элементы, как Ni, Cu, Cr, V, Co, Sc, Zn, Pb. Степень корреляции этих элементов с главными элементами (SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , Na_2O и др.) точно указывает на тип исходной породы, а присутствующие в осадке минералы на степень химического разрушения породы. Выявлены элементы, относящиеся к терригенной и глинистой части осадка и связанные с образованием органических компонентов осадочного материала (Рис. 28, 29).

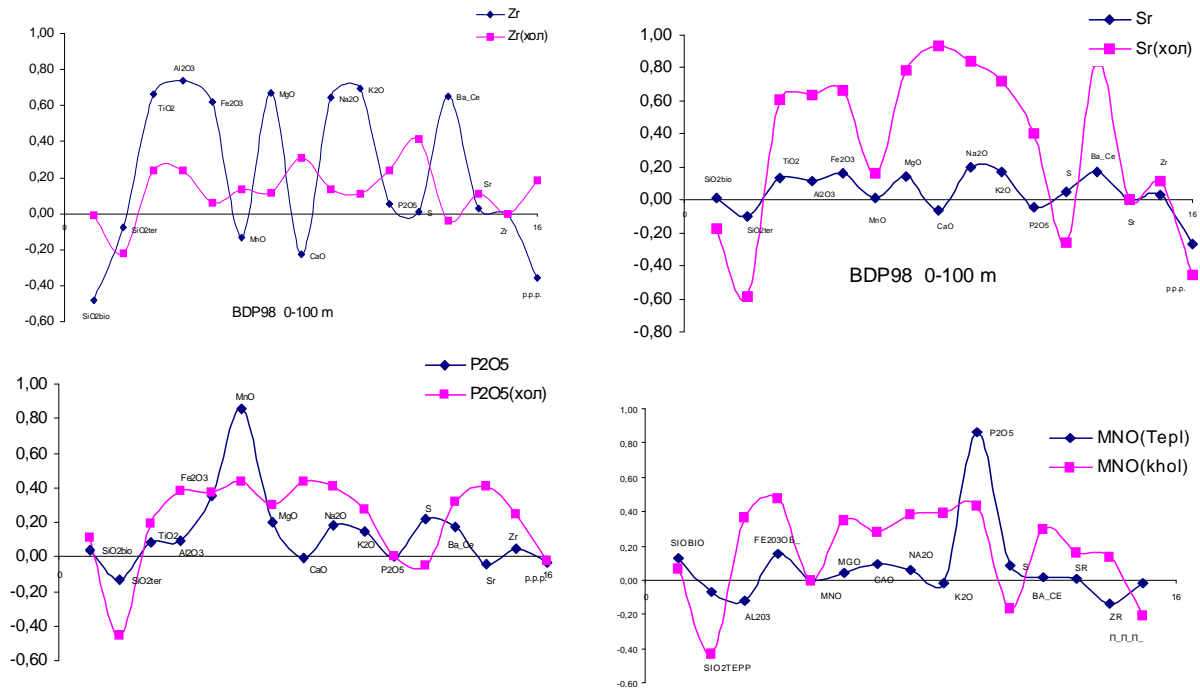


Рис. 28. Сопоставление корреляционных зависимостей содержания элементов в холодные и теплые климатические эпохи (скважина BDP98 0-100 м).

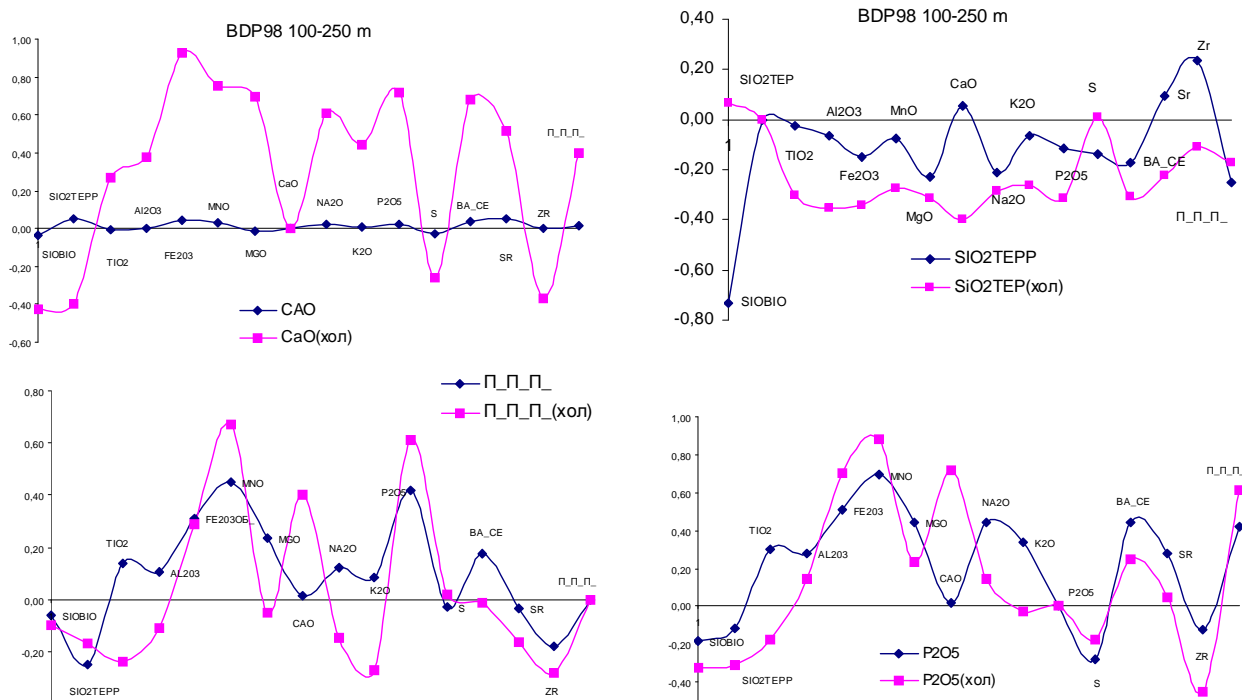


Рис. 29. Сопоставление корреляционных зависимостей содержания элементов в холодные и теплые климатические эпохи (скважина BDP98 100 - 200 м).

Наглядное сравнение коэффициентов корреляции в холодные и теплые периоды можно видеть на Рис. 30. Средняя линия отвечает значению, когда степень корреляции элементов с биогенным кремнеземом существенно не

отличается. Прямоугольники показывают отличия корреляции от среднего для теплых или холодных периодов.

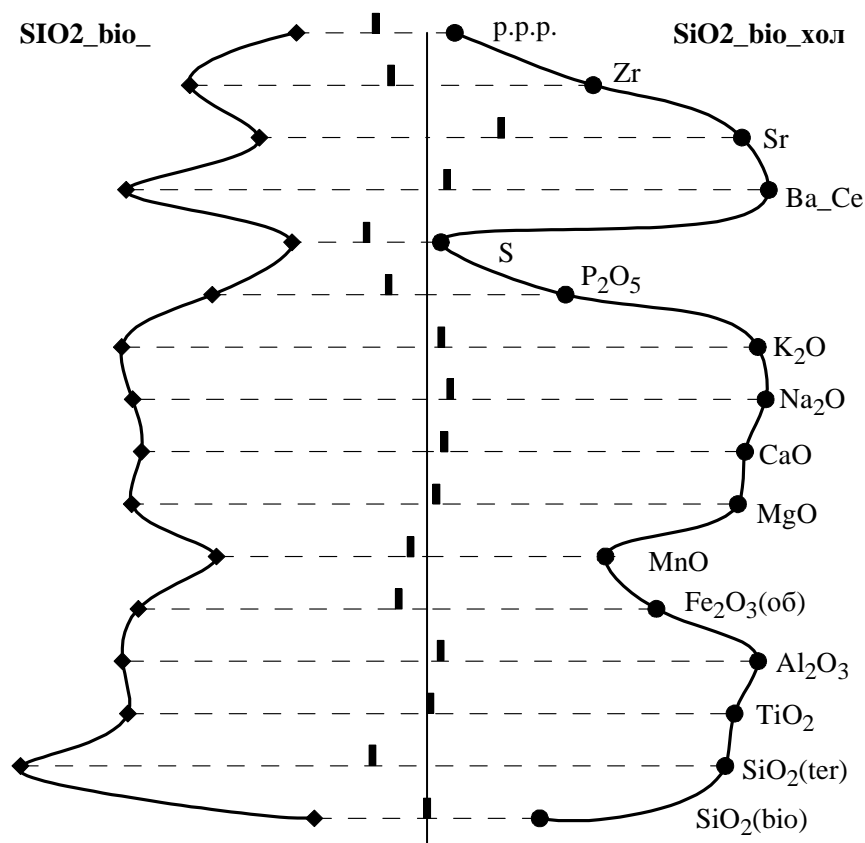


Рис. 30. Сравнение коэффициентов корреляции в исходных породах скв. BDP-98, интервал 0-100 м.

Таким образом, нам удалось выявить элементы, закономерности накопления которых в теплые и холодные периоды существенно различаются. Прежде всего это – Mn, Ca, S, Sr и величина потерь при прокаливании.

Из приведенных данных следует, что основную палеоклиматическую нагрузку несут тонкодисперсные иллит-сметиты (сметитовые слои и порядок их чередования в структуре). Данные о минералогическом составе донных отложений, полученные коллективом исполнителей, свидетельствуют о том, что с точки зрения методической и приборной оснащенности коллектив обладает уникальными возможностями, так как к настоящему времени столь детальные исследования химического редкоэлементного и минералогического состава осадков не выполнялись. Обнаружение признаков химического выветривания в ледниковые периоды имеет ранг небольшого открытия. Принципиальной

новизной предлагаемого исследования, которое будет проведено в ближайшем будущем, является определение возможности протекания процессов химического выветривания в ледниковые периоды методами равновесной термодинамики.

Получены новые, детально датированные, высокоразрешающие пыльцевые записи из торфяников северо-восточной части Лено-Ангарского плато. Выяснено, что возникновение заболоченных экосистем бореальной зоны северо-восточной части Лено-Ангарского плато и динамика их растительности в среднем-позднем голоцене были обусловлены изменениями глобального климата в постоптимальный период голоцена в сторону похолодания. Аккумуляция собственно торфяных отложений около 6000 лет назад началась после завершения влажностного оптимума и началом термального оптимума голоцена на территории Восточной Сибири. Наиболее важным заключением, которое должно быть сделано в результате проведенных исследований, является выявление высокой изменчивости климата региона в среднем-позднем голоцене. Более того, установленные интервалы реорганизации природной среды региона происходили в квази-тысячелетнем масштабе, подчиняясь перестройке глобального климата. И последнее, не все исследованные районы отвечали синхронно и аналогично на глобальные изменения природной среды, что подчеркивает сложность климата голоцена и реакции региональных экосистем на глобальные изменения, делая необходимым получение палеогеографических данных из как можно более широкого в географическом плане набора природных обстановок.

- Большое внимание уделяется изучению осадочных разрезов из озер Котокель. Именно по керну получены важнейшие результаты по изменению климата за 50 тысяч лет. Установлено, что на климат Байкальского региона влияют как вариации климата в Атлантике, так и сезоны муссонных дождей в Тихом океане (Рис. 31).

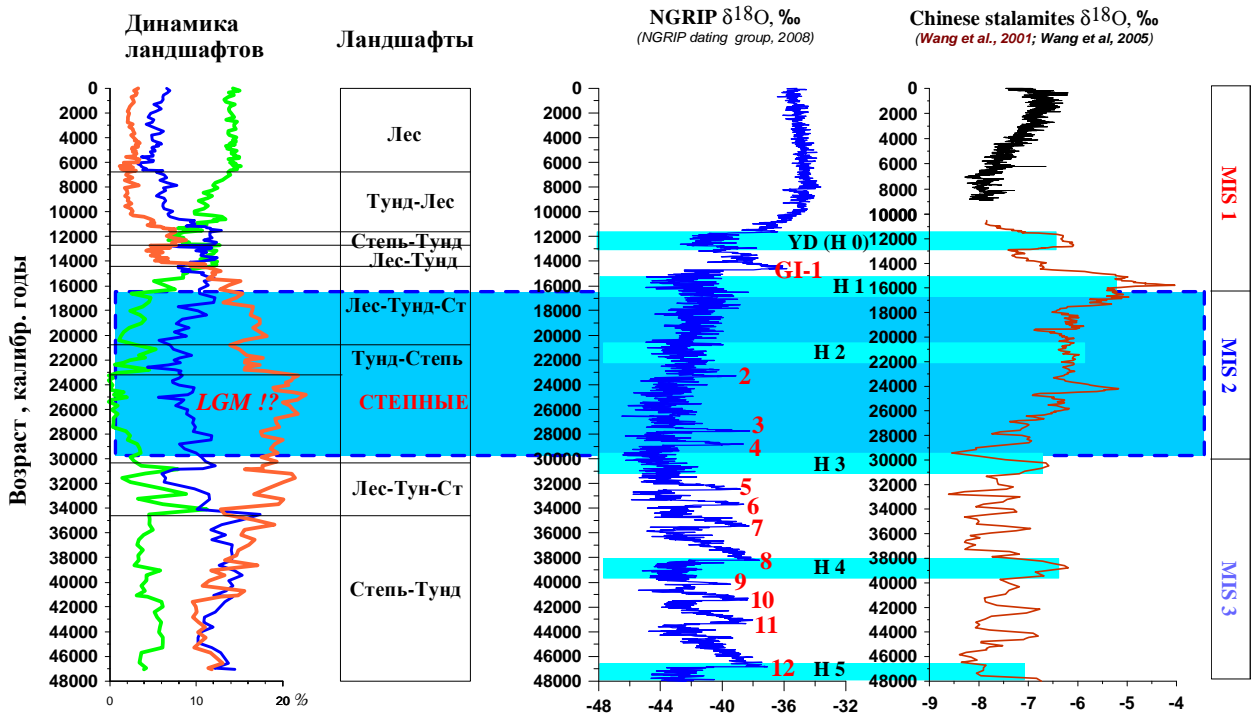


Рис. 31. Сравнение вариаций климата в Байкальском регионе с изменениями климата в Атлантике (по ледовым записям Гренландии).

На рисунке показано сравнение количественной реконструкции динамики региональных ландшафтов, проведенной с использованием математических методов лучших современных аналогов, с записью изменения климата $\delta^{18}\text{O}$ из ледовых кернов Гренландии [по Svensson et al., 2008²⁹] – индикатора вариаций температуры Северного полушария, и $\delta^{18}\text{O}$ из сталагмитов пещер Китая [Wang et al., 2001³⁰, 2005³¹] – индикатора интенсивности азиатского летнего муссона. В шкале Динамика ландшафтов зеленая линия – лесные ландшафты, синяя – тундровые, красная – степные. В шкале NGRIP $\delta^{18}\text{O}$ красными цифрами обозначены короткие интерстадиальные потепления (**Гренландские интерстадиалы GI 1-12**) во время оледенения МИС 2, голубыми прямоугольниками с синими цифрами – стадиальные похолодания – события Хайнриха (**Heinrich events**). YD – Молодой Дриас или событие Хайнриха 0.

²⁹ Svensson A., Andersen K.K., Bigler M., Clausen H.B., Dahl-Jensen D., Davies S.M., Johnsen S.J., Muscheler R., Parrenin F., Rasmussen S.O., Rothlisberger R., Seierstad I., Steffensen J.P., Vinther B.M. A 60 000 year Greenland stratigraphic ice core chronology // *Clim. Past.* – 2008, V. 4, P. 47-57.

³⁰ Wang Y.J., Cheng H., Edwards R.L., An Z.S., Wu J.Y., Shen C.-C., Dorale J.A.. A High-Resolution Absolute-Dated Late Pleistocene Monsoon Record from Hulu Cave, China // *Science*, 2001, V. 294, P. 2345-2348.

³¹ Wang Y.J., Cheng H., Edwards R.L., He Y., Kong X., An Z.S., Wu J.Y., Kelly M.J., Dykoski C.A., Li X. The Holocene Asian Monsoon: Links to Solar Changes and North Atlantic Climate // *Science*, 2005, V. 308, P. 854-857.

Горизонтальный синий прямоугольник – последнее оледенение, выразившееся в минимальных температурах в Гренландии и максимально слабом азиатском летнем муссоне. Рисунок демонстрирует отчетливую корреляцию господства степных ландшафтов в Байкальском регионе в максимум оледенения МИС 2, господство тундрово-степных ландшафтов в стадиалы Н5-Н0, расширение лесных - в интерстадиалы GI12-GI-1.

Детальное изучение осадочных разрезов из озера Котокель является приоритетным направлением лаборатории в настоящее время.

В 2011 году изучены вариации $\delta^{18}\text{O}$ ископаемых створок диатомовых водорослей озера Котокель. Створки были выделены из верхней (300 см) части 15-м керна донных отложений, отобранного в 2005 году в южной части озера (52°47' с.ш.; 108°07' в.д., глубина озера 3,5 м, керн КТК-2). Полученный керн имел ненарушенную структуру. Верхние 300 см осадков представлены темной гиттией. Возраст исследуемого участка разреза составляет 6,5 тыс. лет. Изотопный анализ показал, что значения $\delta^{18}\text{O}$ створок изменяются от 20,5 до 29,9‰, что сопоставимо со значениями, полученными для диатомей других озер мира [Morley et al., 2005³²; Leng and Barker, 2006³³; Kalmychkov et al., 2007³⁴; Schiff et al., 2009³⁵; Swann et al., 2010³⁶; Mackay et al., 2008³⁷, 2011³⁸]. Установлено, что изотопный состав кислорода диатомей четко реагирует на изменение климатического и гидрологического режима. Характер распределения значений $\delta^{18}\text{O}$ ископаемых диатомей озера Котокель по разрезу (в исследованном интервале) отличается от

³² Morley D.W., Leng M.J., Mackay A.W., Sloane H.J. Late glacial and Holocene environmental change in the Lake Baikal region documented by oxygen isotopes from diatom silica // *Global and Planetary Change*, 2005, V. 46, P. 221-233.

³³ Leng M.J., Barker P.A. A review of the oxygen isotope composition of lacustrine diatom silica for palaeoclimate reconstruction // *Earth Science Reviews*, 2006, V. 75, P. 5-27.

³⁴ Kalmychkov G.V., Kuz'min M.I., Pokrovskii B.G. Kostrova S.S. Oxygen isotopic composition in diatom algae frustules from Lake Baikal sediments: annual mean temperature variations during the last 40 ka // *Doklady Earth Sciences*, 2007, V. 413, P. 206-209

³⁵ Schiff S.L., Snider D.M., Spoelstra J. 15N/14N and 18O/16O stable isotope ratios of nitrous oxide produced during denitrification in temperate soils // *Geochim. Cosmochim. Acta*, 2009, V. 73, P. 877-888.

³⁶ Swann G.E.A. A comparison of the Si/Al and Si/time wet-alkaline digestion methods for measurement of biogenic silica in lake sediments // *Journal of Paleolimnology*, 2010, V. 44, P. 375-385.

³⁷ Mackay A.W., Karabanov E., Khursevich G.K. Reconstructing hydrological variability in Lake Baikal during MIS 11: an application of oxygen isotope analysis of diatom silica // *Journal of Quaternary Science*, 2008, V. 23, P. 365-374.

³⁸ Mackay A.W., Swann G.E.A., Brewer T.S., et al. A reassessment of late glacial – Holocene diatom oxygen isotope record from Lake Baikal using a geochemical mass-balance approach // *Journal of Quaternary Science*, 2011, V. 26, P. 627-634.

байкальского. Незначительное обогащение створок, а затем область относительно постоянных значений $\delta^{18}\text{O}$ диатомей наблюдается в байкальских осадках, тогда, как диатомовые из озера Котокель показывают постепенное снижение величин в указанный период (Рис. 32).

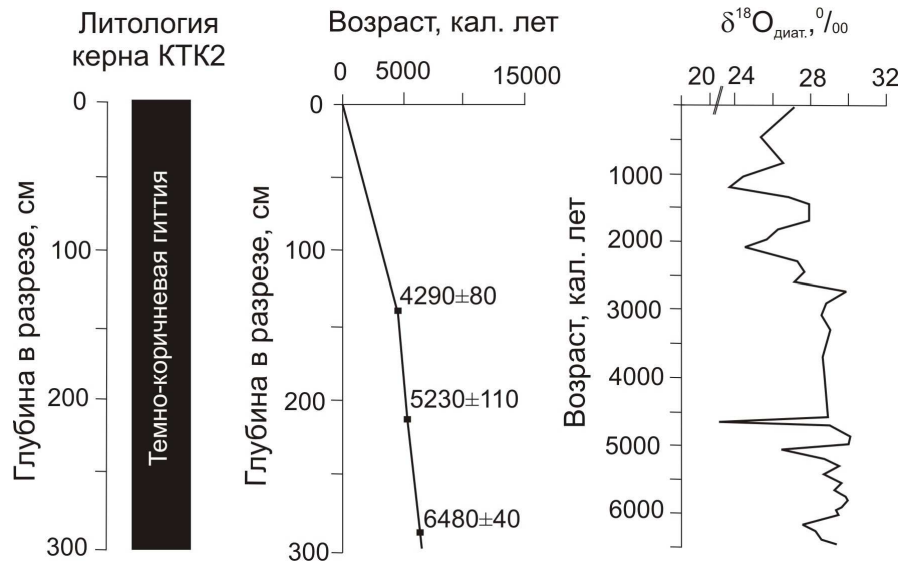


Рис. 32. Изотопный состав кислорода створок диатомовых водорослей из осадков оз. Котокель.

Скорее всего, это связано с существенной разницей гидрологических условий, в которых развивались диатомовые, поскольку в климатические условия и атмосферная циркуляция оставались идентичны. Предполагается, что изменение значений изотопного состава кислорода байкальских диатомей определяется, прежде всего, изотопным составом воды озера [Morley et al., 2005³²; Калмычков и др., 2007³⁴; Mackey et al., 2011³⁸], который в первую очередь зависит от баланса воды, приносимой реками с севера и юга [Morley et al., 2005³²; Mackey et al., 2011³⁸]. Какой же фактор (температура воды или ее изотопный состав) является определяющим для диатомей озера Котокель в данный момент сказать сложно, поскольку требуются детальные исследования температурного режима, изотопного состава воды озера и его притоков.

Для того, чтобы оценить, какой из вышеперечисленных параметров является определяющим для изотопного состава створок диатомовых водорослей оз. Котокель, в 2011 году проведены исследования изотопного состава воды озера, рек впадающих в озеро и вытекающих из него, а также атмосферных осадков, выпадающих в регионе.

Отбор проб воды из озера Котокель и его притоков проводился в мае и июле; атмосферные осадки собраны в г. Иркутске с мая по сентябрь 2011 г (отобрано 60 образцов). Изотопный анализ майских образцов выполнен в Лаборатории стабильных изотопов аналитического центра ДВГИ ДВО РАН, Владивосток (8 образцов). Результаты изотопного анализа представлены на Рис. 33.

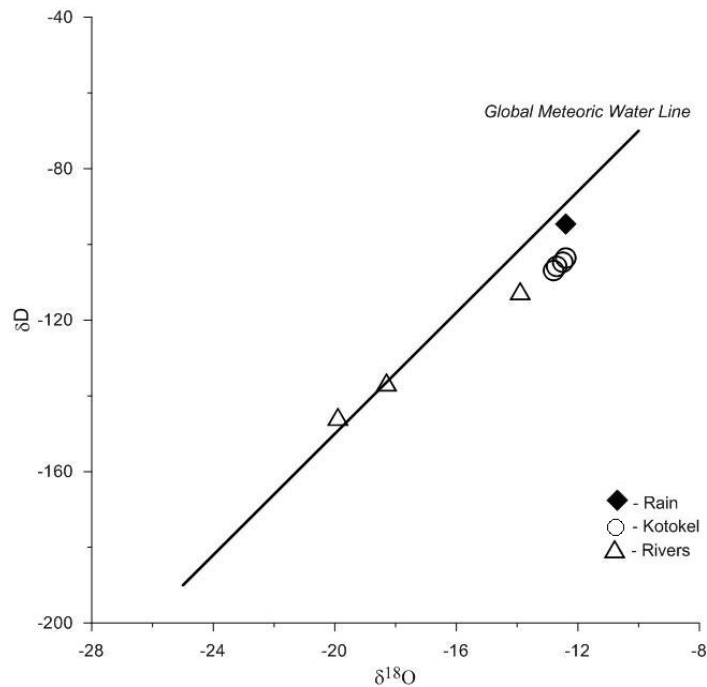


Рис. 33. Состав стабильных изотопов воды озера Котокель и его притоков (май 2011 г.)

Вода озера Котокель в мае 2011 года имела средний изотопный состав кислорода 12.6‰ и средний изотопный состав водорода -105‰. Изотопный состав воды озера значительно отличается от изотопного состава воды, которая поступает в озеро из рек $\delta^{18}\text{O} = -19\text{‰}$, $\delta\text{D} = -141\text{‰}$.

В следующем году изотопный анализ 52 образцов будет выполнен в Изотопной лаборатории Института полярных и морских исследований Альфреда Вегенера, Потсдам, Германия в феврале 2012 года.

В 2011 г. планировалось провести новый этап бурения донных отложений оз. Котокель для получения новых осадочных разрезов с длиной кернов 15-18 м и ожидаемым возрастом отложений свыше 50 тыс. лет.

Из-за длительной процедуры растаможивания ввозимого из Китая оборудования нам не хватило времени для бурения, поскольку у китайских и немецких коллег, которые должны были сами проводить бурение, истекли сроки

виз. Однако, мы провели геофизическое изучение мощности донных осадков оз. Котокель, заложив 7 непрерывных продольных и поперечных профилей и измерили батиметрию озера в 2200 точках. Результаты обрабатываются немецкими и китайскими коллегами. В начале 2012 года будет подготовлена совместная публикация этих результатов.

Бурение в оз. Котокель намечается провести зимой 2012 года. Выбор точки бурения будет проведен согласно результатам непрерывного сейсмопрофилирования, полученным летом 2011 года.

Получен и исследован методами пыльцевого, радиоуглеродного анализов керн торфяных отложений из болотного массива у пос. Черемушки, вблизи южного берега озера Котокель (Рис. 34). Керн получен с южной окраины верхового болота. Возраст отложений составил более 6 тысяч калиброванных лет, среднее временное разрешение полученной палинологической информации оказалось 150 лет.



Рис. 34. Карта с местом географического положения керна «Черемушки», вблизи с. Черемушки на южном побережье оз. Котокель (желтый кружок).

Темнохвойные леса в регионе растут в условиях влажного, умеренно-континентального климата, в то время как светлохвойные – при недостаточно влажном климате с высокой степенью его континентальности (сезонности). Следовательно, вариации отношения этих двух комплексов региональной растительности могут служить полуколичественным показателем изменения континентальности климата, особенно влажности и средних температур воздуха.

Березовые леса не имеют определенного географического распределения и характерны для районов с нарушенной (естественными или антропогенными факторами) коренной растительностью. Осоки индицируют развитие эвтрофно-мезотрофной стадии болота с высоким стоянием уровня воды и грунтовым питанием, а сфагновые мхи – олиготрофные болота с атмосферным питанием.

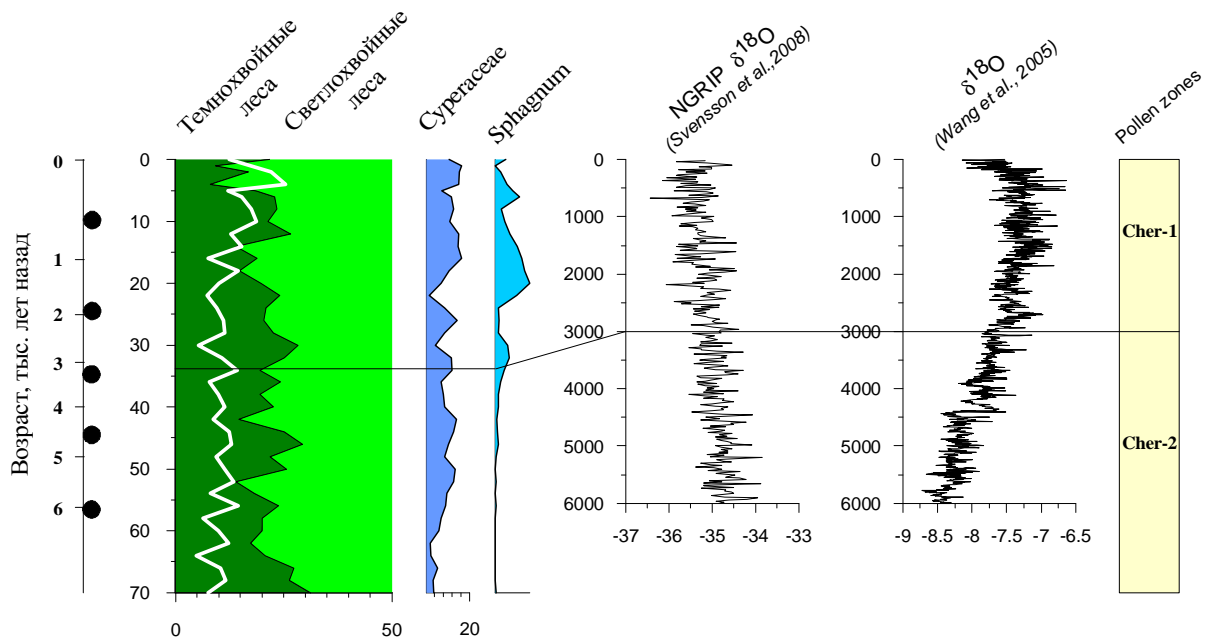


Рис. 35. Динамика региональной темнохвойной (темно-зеленый цвет) и светлохвойной лесной растительности (светло-зеленый цвет) растительности, березовых лесов (непрерывная белая линия на темно-зеленом фоне), локальной болотной растительности – осоковых Сурегасеае и сфагновых мхов – *Sphagnum* в сравнении с трендом изменчивости климата Северного полушария в раннем-позднем голоцене (записью NGRIP $\delta^{18}O$ из ледника Гренландии и $\delta^{18}O$ из сталагмитов южного Китая).

Проведенные исследования показали, что после завершения оптимума голоцена ~ 7-6 тыс. л.н. состояние климатической системы средней части восточного борта Байкальской котловины было неустойчивым. Из Рис. 35 видно, что ранее 6, ~ 5, 3.5, 2.5, 0.7-0.2 тыс. л.н. континентальность климата была пониженной, разница средних температур воздуха в зимние и летние сезоны также была минимальна, а влажность – повышенной. Перечисленные интервалы времени с учетом ошибок метода датирования (50-150 лет) удовлетворительно коррелируют с известными событиями похолоданий в северном полушарии [Bond et al., 2001³⁹]. В интервалы времени между этими кульминационными событиями

³⁹ Bond G., Kromer B., Beer J., Muscheler R., Evans M.N., Showers W., Hoffmann S., Lotti-Bond R., Hajdas I., Bonani G. Persistent solar influence on North Atlantic climate during the Holocene // Science, 2001, V. 294, P. 2130-2136.

климат становился ариднее, с пониженным увлажнением, более холодными зимними и более теплыми летними сезонами. Усиление континентальности климата, таким образом, имело место ~ 5.5, 4.2, 1.0 тыс. л.н. и в последние 150-200 лет. Выявленные изменения региональной климатической системы, вероятно, отражают ее ответ на тысячелетние вариации из-за разного режима солнечной радиации [Bond et al., 2001³⁹]. Записи изменения климата из ключевых глобальных разрезов показывают ясный тренд неогляциального похолодания – понижения температуры воздуха над Гренландским щитом (NGRIP $\delta^{18}\text{O}$) и снижение активности Азиатского муссона ($\delta^{18}\text{O}$ из сталагмитов Китая). Сравнение с ними полученной палинологической записи демонстрирует отчетливую картину следования динамики региональной и локальной растительности глобальной тенденции. Это выразилось в последовательном снижении роли темнохвойных лесов, когда значения каждого более позднего пика ее пыльцы становится ниже предыдущего. Интенсификация глобального похолодания 3-0.2 тыс. л.н. могла вызвать изменения в статусе региональных болотных систем.

В археологическом контексте завершение оптимума голоцена и наступление неогляциала соответствовало смене ранне-неолитической культуры на поздне-неолитическую ~ 6.8 тыс. л.н.. Начало эпохи ранней бронзы ~ 5.2 тыс. л.н. может быть соотнесено со снижением континентальности климата ~ 5.2 тыс. л.н. в записи Черемушка, а начало каменного века 2.2-3 тыс. л.н. соответствует максимальному ухудшению климата ~ 2.8 тыс. л.н. Завершение каменного и начало бронзового века имело место ~ 1.2-1 тыс. л.н., приходясь, в целом, на средневековую климатическую аномалию.

Таким образом, новые детальные датированные палинологические записи среднего – позднего голоцена могут инициировать новый этап геоархеологических исследований в регионе для лучшего понимания взаимосвязи природной среды и социокультурных изменений в регионе.

- В 2011 году проведено изучение пространственного распределения органических элементов (C, N, P) и стойких органических загрязнителей (СОЗ) в почвах юга Сибири и северо-западной Монголии.

Средние величины сумм всех исследованных конгенов полихлорированных бифенилов (ПХБ) в почвах Монголии (7,4 нг/г сухого веса) (Рис. 36) сравнимы со средними значениям для фоновых районов мира 5,41 нг/г [Meijer et al., 2003⁴⁰] и ниже российских ПДК (0,06 мг/кг).

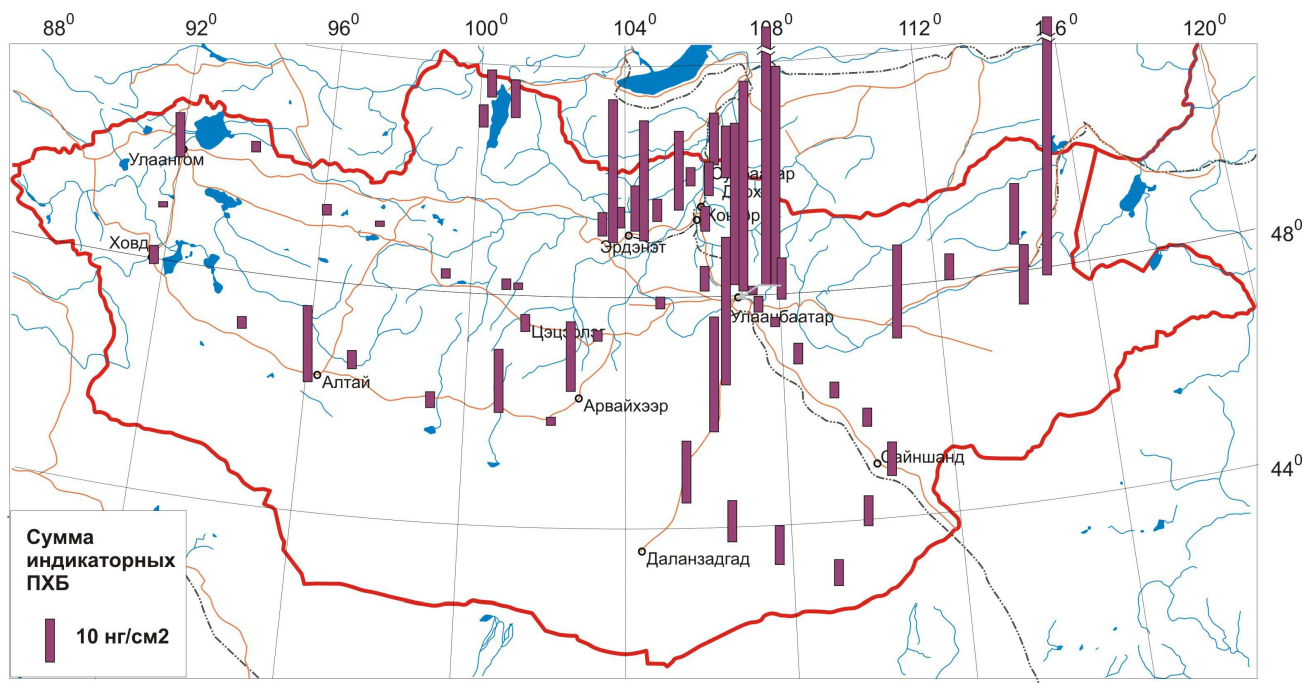


Рис. 36. Распределение суммы 6 индикаторных ПХБ в почвах Монголии.

В большинстве проб почв концентрация ПХБ не превышала 10 нг/г, за исключением почв в промышленных городах и в прилегающих к ним районах – Улан-Батор (2,22-34 нг/г), Эрдэнэт (3,6-30 нг/г), Чойлболсан (115 нг/г). Средний гомологический состав ПХБ в почвах приближается к гомологическому составу ПХБ в Соволе и Арохлоре 1254. Гомологический состав ПХБ также изменяется в зависимости от расстояния до возможного локального источника.

Наибольшие концентрации *p,p'*-ДДТ (*p,p'*-дихлордифенилтрихлорэтан) и его метаболита *p,p'*-ДДЭ (*p,p'*-дихлордифенилдихлорэтилен) обнаружены в пробах почв отобранных в Улан-Баторе (до 50 нг/г - 0,5 ПДК), Арвайхээр, Сайншанд и Дархан (6,9-11 нг/г) (Рис. 37). В остальных пробах концентрации изменялись от 0,014 до 4,34 нг/г сухого веса, составляя в среднем 0,48 нг/г, что ниже российских ПДК для ДДТ в почвах (0,1 мг/кг) и соответствует фоновым районам мира и

⁴⁰ Meijer S.N., Ockenden W.A., Sweetman A., Breivik K., Grimalt J.O., Jones K.C. Global distribution and budget of PCBs and HCBs in background surface soils: implication for sources and environmental processes // Environ. Sci. Technol., 2003, V. 37, P. 667-672.

значительно ниже концентраций в почвах стран, где этот пестицид продолжает применяться (Китай). Например, по долине реки Лены концентрации ДДТ и его метаболитов в среднем составляют 0,25 нг/г [Kuzmin et al., 2009⁴¹], а в окрестностях Пекина - 140 нг/г с максимумом 2178 нг/г [Zhu et al., 2005⁴²]. В большинстве проб почв отношение ДДЕ/ДДЭ меньше 1, что говорит о давнем поступлении ДДТ в окружающую среду. В 8 точках отношение ДДТ/ДДЭ больше 1 и максимальное в г. Улан-Батор (до 16).

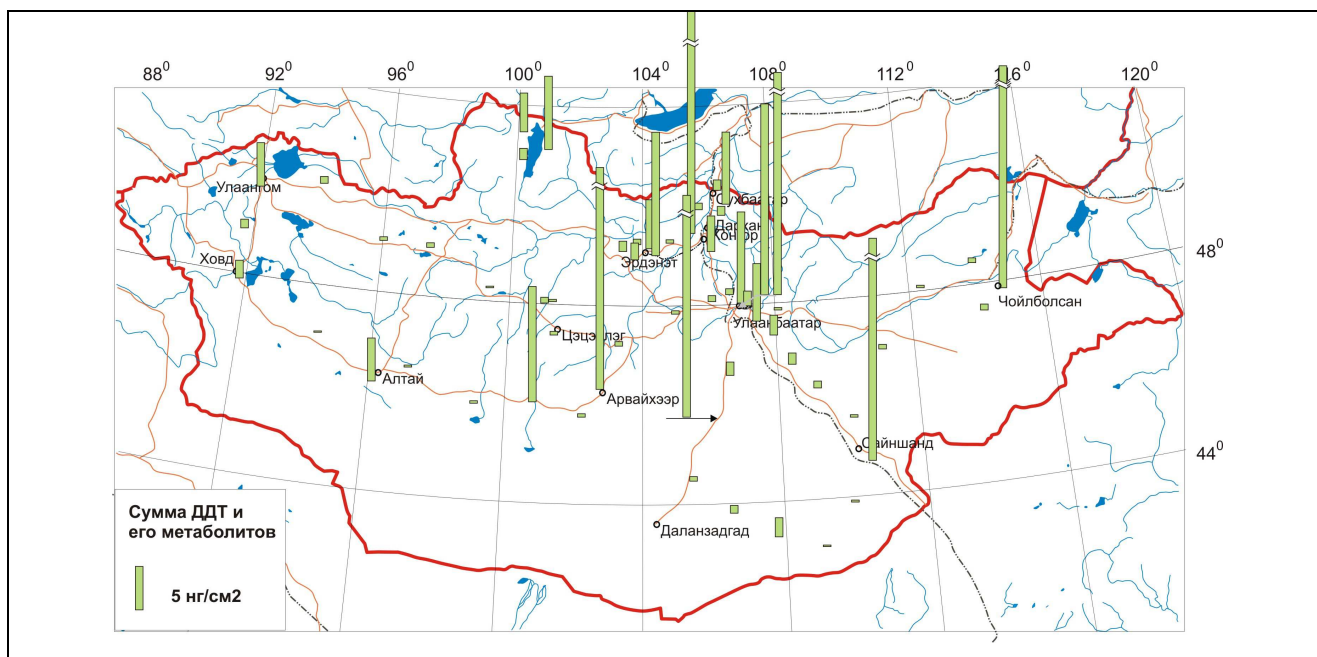


Рис. 37. Распределение суммы ДДТ и его метаболитов в почвах Монголии.

В данных районах вероятно недавнее поступление/использование ДДТ (возможное локальное применение ДДТ для обработки территорий от насекомых-переносчиков возбудителей трансмиссивных заболеваний, в животноводстве или трансграничный перенос с территории Китая).

Содержание α - и γ -изомеров ГХЦГ (гексахлорциклогексан) в исследованных почвах Монголии изменяется от 0,0005 до 1,42 нг/г, что значительно ниже российских ПДК (0,1 мг/кг), сравнимо с фоновыми районами (долина р. Лены [Kuzmin et al., 2009⁴¹]). Отношение α -ГХЦГ / γ -ГХЦГ составляет 0,16 - 4,9, что говорит об использовании как технических смесей ГХЦГ, так и линдана.

⁴¹ Kuzmin M.I., Mamontova E.A., Tarasova E.N., Mamontov A.A., Khomutova M.Yu. PCBs and OCPs in soil sampled along the Lena River valley, Russia // *Organohalogen Compounds*, 2009, V. 71, P. 1729-1734

⁴² Zhu Y., Liu H., Xi Z., Cheng H. and Xu X. Organochlorine pesticides (DDTs and HCHs) in soils from the outskirts of Beijing, China // *Chemosphere*, 2005, V. 60, P. 770-778.

Полибромированные дифениловые эфиры, эндрин, альдрин обнаруживаются в отдельных пробах почв в следовых количествах.

Содержание элементного состава органического вещества (С, N, P) в исследуемых пробах почвы неравномерно (Рис. 38, 39): концентрация $C_{орг.}$ изменяется от 0,37 % (Сайншанд) до 5,12 % (г. Улан-Батор), $N_{орг.}$ – от 0,01 % (г. Баянхонгор) до 0,56 % (перевал Шар Булагийн даваа), $P_{орг.}$ – от 0,0014 % (Каменистая пустыня Гоби) до 0,06 % (г. Сухбаатар и перевал Солонготын даваа). Большая часть проб содержит низкие величины $C_{орг.}$ (1-3 %) – до 32 %, $N_{орг.}$ (0,1-0,2 %) – 32 %, $P_{орг.}$ (0,01 - 0,02 %) – 36 %.

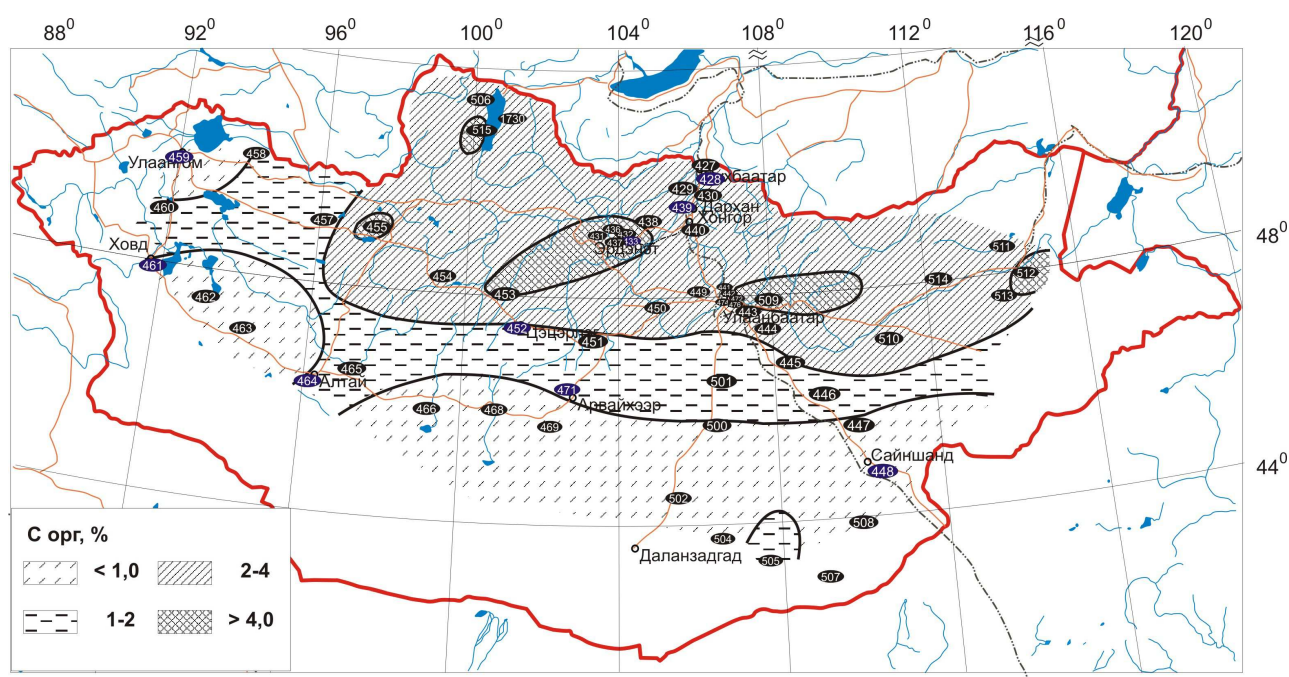


Рис. 38. Распределение $C_{орг}$ в почвах Монголии.

Величины отношений элементного состава органического вещества, по которым можно судить о качественном составе органического вещества и лимитировании того или иного элемента в почве, также неоднородны. 77 % проб почв имеют величины отношений $N:P$ до 14, 68% – $C:N$ свыше 10 и 52% – $C:P$ до 100. Согласно полученным величинам отношений элементного состава органического вещества большая часть исследованных почв лимитирована по азоту [Cleveland, Liptzin, 2007⁴³].

⁴³ Cleveland C.C. and Liptzin D. C:N:P stoichiometry in soil: is there a “Redfield ratio” for the microbial biomass? // Biogeochemistry, 2007, V. 85, № 3, P. 235-252

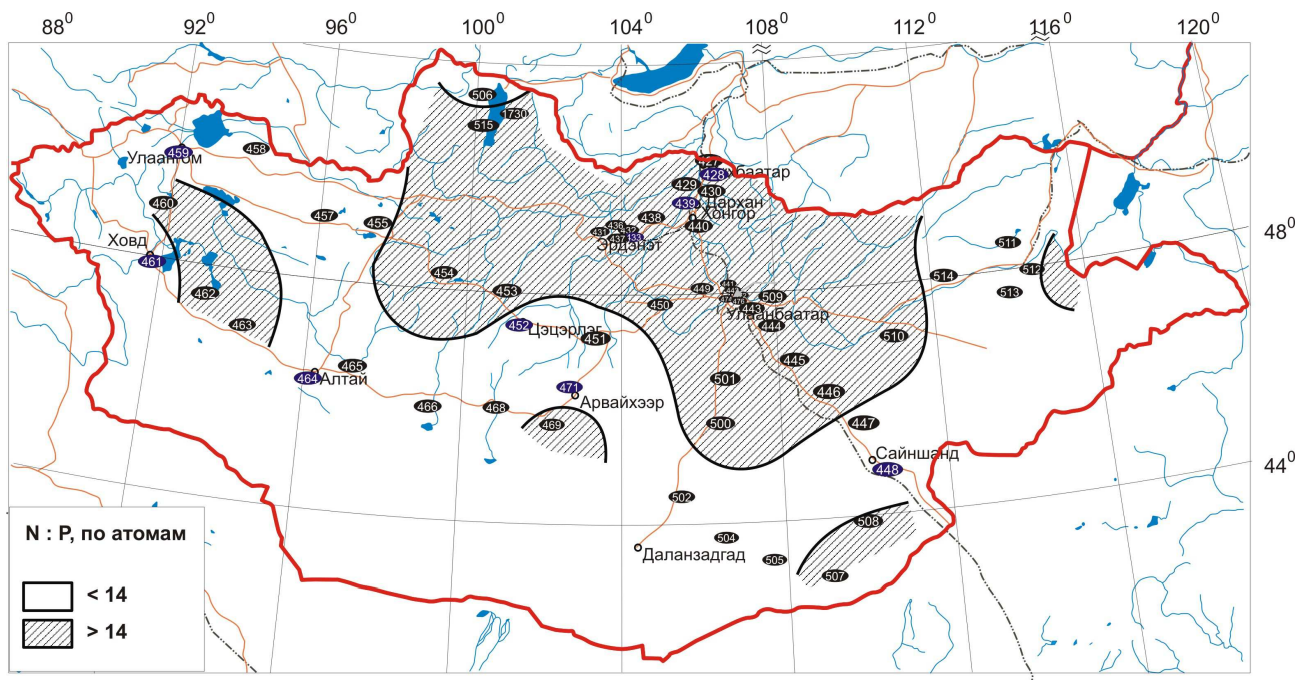


Рис. 39. Отношение N : P в почвах Монголии.

- Проанализированы 6 колонок (Рис. 40): ст. 7 (0-55см), ст. 22 (0-90см), ст. 8 (0-174см), ст. 12 (0-31см), ст. 4 (0-148см) и ст. 2 (0-98см) на углерод, азот, общий фосфор и хлорофилл-а, всего 607 проб и проведено 2428 анализов (пробы колонок ст.7, 4 и 2 предоставлены Ткаченко Л., ст.22, 8 и 12 - Гелетием В.Ф.).

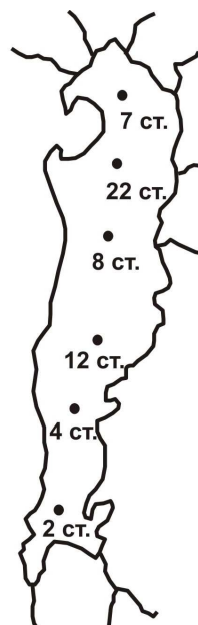


Рис. 40. Схема отбора колонок донных отложений оз. Хубеугул.

Результаты представлены на Рис. 41, 42, 43 и Табл. 7. Видно, что с глубиной содержание углерода, азота, фосфора и хлорофилла понижается.

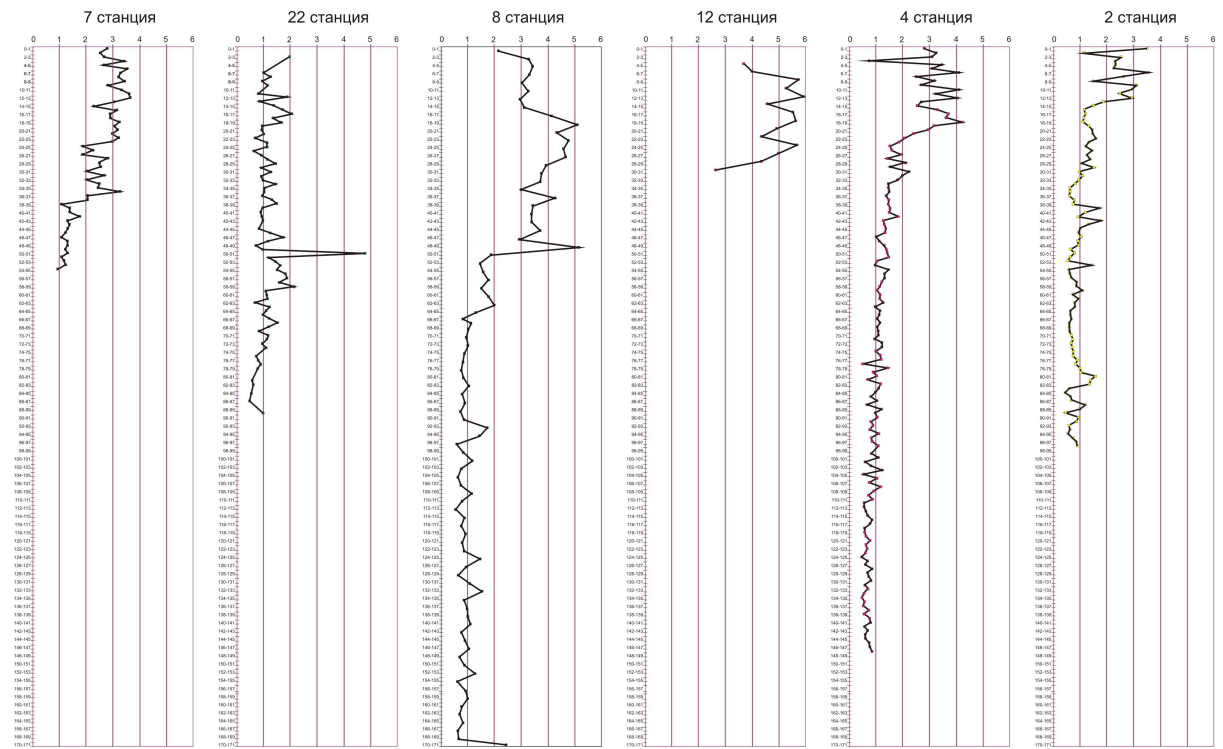


Рис. 41. С орг в донных отложениях оз. Хубсугул.

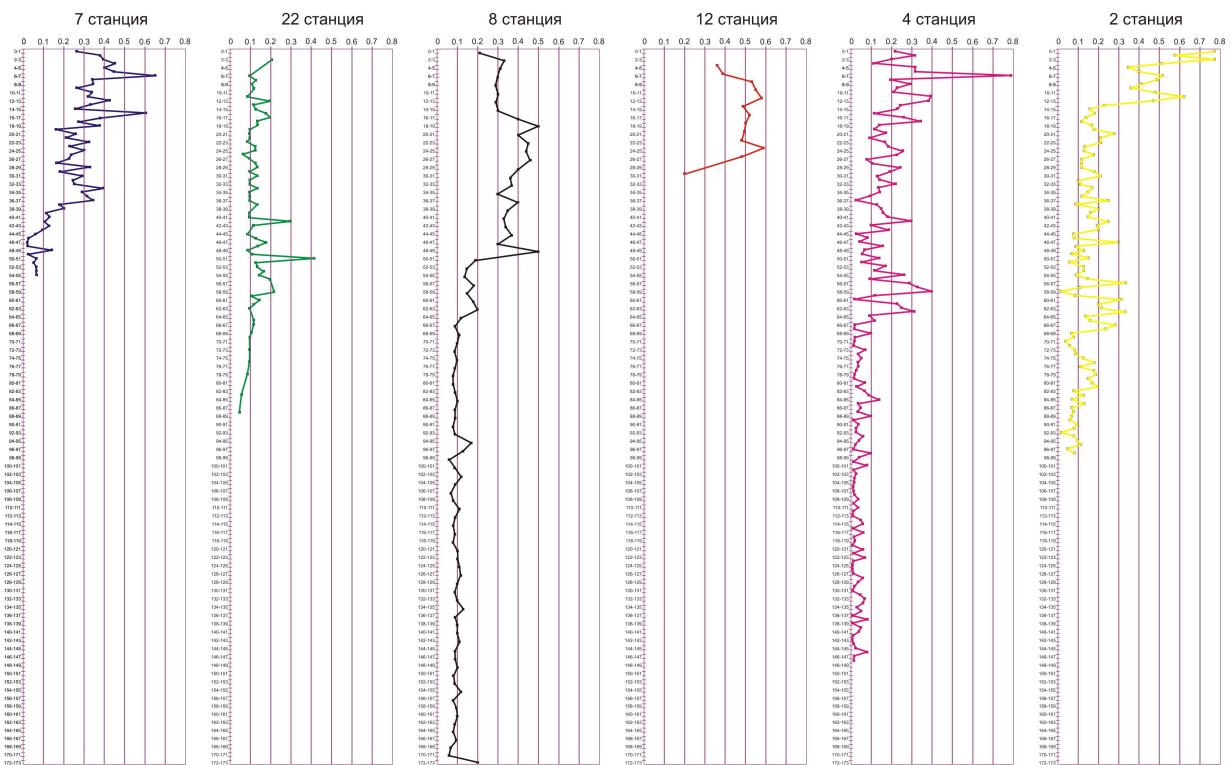


Рис. 42. N общ в донных отложениях оз. Хубсугул.

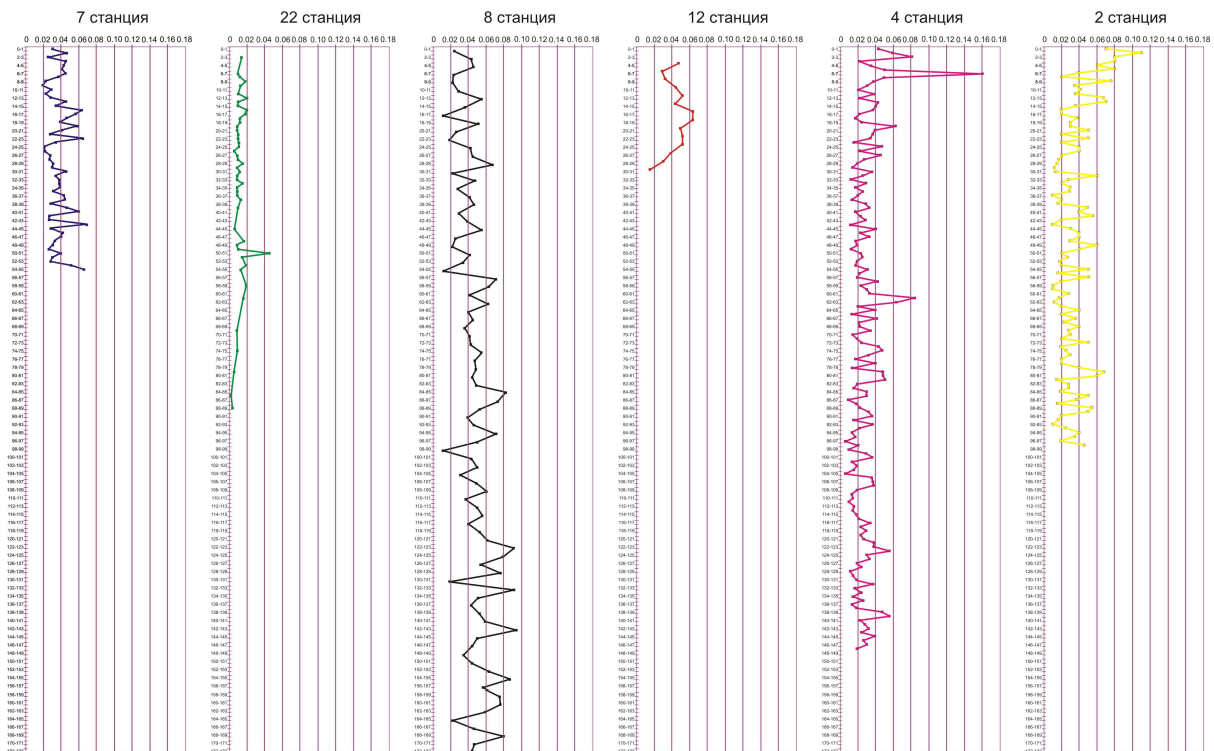


Рис. 43. P общ в донных отложениях оз. Хубсугул.

Таблица 7

Станция	Слой	Собщ вес %	Нобщ вес %	Робщ вес %	Хлоро филл-а	%N в ОВ вес	%P в ОВ вес	C:N atom	C:P atom	N:P atom
ст.7	0-55см	2,32	0,247	0,038	0,585	5,03	0,97	15	175	16
ст.22	0-55см	1,27	0,135	0,013		5,52	0,51	11	263	24
	0-90	1,20	0,130	0,012		5,50	0,51	11	262	24
ст.8	0-55см	3,49	0,339	0,035	0,418	4,86	0,54	12	306	25
	0-174	1,80	0,179	0,048	0,249	5,14	2,15	12	134	11
ст.12	0-31см	4,80	0,474	0,044		4,88	0,45	12	305	25
ст.4	0-55см	2,16	0,190	0,032		4,58	0,79	17	206	16
	0-148	1,30	0,110	0,029		3,64	1,36	30	141	9
ст.2	0-55см	1,45	0,241	0,038	0,335	8,30	1,50	8	122	16
	0-98 см	1,17	0,19	0,034	0,31	8,5	1,7	9,3	108	14,5

Большой размах колебаний содержания углерода и азота наблюдается в слое 0-55 см (Табл. 7) Максимальные средние их величины в слое 0-55 см найдены на ст. 8 (0,49 и 0,339 % по весу) и ст.12 (4,80 и 0,47 %, соответственно), что является следствием более высокой биологической продуктивности в озере по сравнению с другими его районами. Принимая во внимание величины атомных отношений C:N на ст. 8 и 12, равными 11-12, можно сделать вывод, что

органическое вещество в слое 0-55 см на этих станциях, в основном, представлено автохтонным материалом планктонного происхождения.

Повышенные величины отношений C:N на ст. 7 и ст. 4, скорее всего, объясняются влиянием речного стока – источника аллохтонного органического материала. Падение величин отношения C:N на ст. 2 до 8, вероятно, связано со способностью глин сорбировать азот [Вильямс и др., 1993⁴⁴].

Неизменность величин C:N в слое 0-55 см на ст. 22, 8 и 12 можно интерпретировать как состояние равновесия озерной системы между ее собственным органическим веществом и привнесенным извне.

С глубиной величины отношений C:N увеличиваются в результате минерализации органического вещества, более быстрого для азоторганических, нежели углеродсодержащих.

Обращает на себя внимание увеличение содержания фосфора с глубиной на ст. 8. Принимая во внимание, что и углерод, и азот, а также хлорофилла понижается с глубиной, можно сделать вывод, что фосфор представлен в большей степени минеральными формами. Для подтверждения чего будут отобраны и проанализированы русловые отложения в притоках озера, а также будет изучена степень минерализации органического вещества во времени таких пород, как фосфориты и вулканиты.

⁴⁴ Вильямс Д.Ф., Лин Чин, Карабанов Е.Б., Гвоздков А.Н. Геохимические индикаторы продуктивности и источники органического вещества в поверхностных осадках оз. Байкал // Геология и геофизика, 1993, т. 34, № 10-11, с. 136-148.