

М.А. Крайнов^{1,2}, В.А. Кравчинский^{1,2,3}, М.И. Кузьмин²

¹Восточно-Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Иркутск

²Институт геохимии СО РАН, Иркутск

³Laboratoire de Paleomagnetisme, Institut de Physique du Globe de Paris, Paris, France

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ НА БАЙКАЛЕ ЗА 500 ТЫС. ЛЕТ НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ

Палеоклиматические исследования осадков оз. Байкал с помощью петромагнитного метода ведутся с начала 1990 г. [Кинг, Пек, Гангеми и др., 1993; Peck, King, Colman et al., 1994, 1996; Williams, Peck, Karabanov et al., 1997; Кравчинский, Пек, Сакаи и др., 1998; Крайнов, Кравчинский, Пек и др., в печати]. Но сравнительный анализ результатов разных лет ранее не проводился. В 1993 г. в рамках проекта "Байкал-бурение" были пробурены две скважины: BDP-93-1 и BDP-93-2 в точке на

Бугульдейской перемычке [Коллектив..., 1995], а в 1996 г. в продолжение проекта были пробурены другие две скважины BDP-96-1 и BDP-96-2 в осевой зоне Академического хребта [Коллектив..., 1998; Кузьмин, Карabanov, Гелетий и др., 1998] (рис. 1). В 1993 г. было получено 100 м осадка, а в 1996 – 200. В настоящей работе проведено сравнение результатов исследований осадков скважин BDP-93-1, 2 и BDP-96-1, 2.

По результатам петро- и палеомагнитных исследований кернов время формирования 200 м толщи осадков, вскрытых скважиной BDP-96-1, оценен в 5 млн. лет [Кравчинский, Пек, Сакаи и др., 1998; Williams, Peck, Karabanov et al., 1997]. Возраст 100 м скважин BDP-93-1 и BDP-93-2 оценен в ~520 тыс. лет на основе корреляции с кривой δO^{18} , полученной в океане [Shackleton, Berger, Peltier, 1990]. Возможность такой корреляции доказана ранее [Peck, King, Colman et al., 1994, 1996]. Поэтому в дальнейшем для сравнения результатов полученных по различным годам, мы будем оперировать данным возрастом.

Количественная корреляция магнитной восприимчивости с кривой δO^{18} для скважин 1996 года была выполнена в работе [Крайнов, Кравчинский, Пек и др., 2001], а для скважин 1993 г. - в настоящей работе. Для 1996 г. коэффициент корреляции составил 0,41, а для 1993 – 0,184. Надежность результатов была проверена по таблице 9 [Ван-дер-Варден, 1960], служащей для определения достоверности коэффициента корреляции. В обоих случаях коэффициент оказался значимым (т.е. можно утверждать о наличии корреляции между δO^{18} и магнитной восприимчивостью байкальского осадка скважин BDP-93 и BDP-96 с вероятностью превышающей 99,99%). Меньшее значение коэффициента корреляции в случае BDP-93 объясняется большей по количеству данных выборкой, и по достоверности последний результат ничуть не хуже.

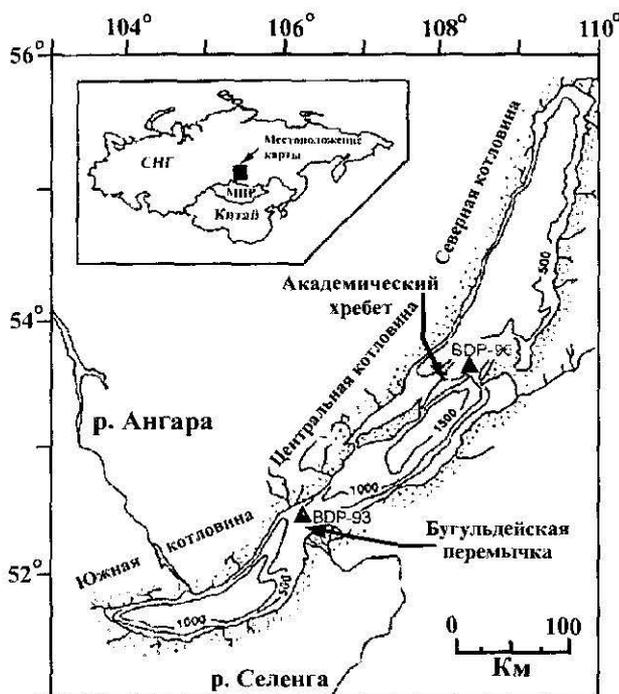


Рис. 1. Географическое местоположение скважин BDP-93 и BDP-96.

Изобаты проведены через 500 м. Треугольниками обозначены места скважин. Схема сделана на основе карты из [Peck, King, Colman et al., 1994].

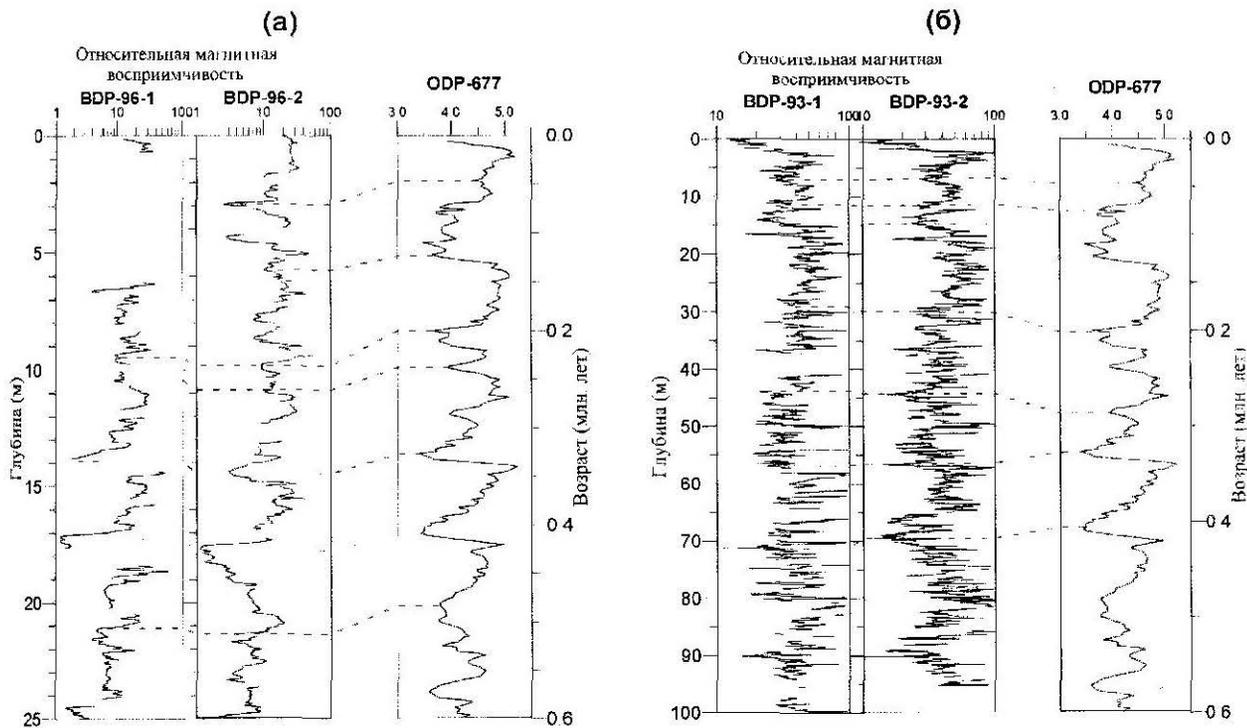


Рис. 2. Корреляция вариаций δO^{18} ODP677 с магнитной восприимчивости керна скважин а) BDP-93-1 и BDP-93-2; б) BDP-96-1 и BDP-96-2.

Корреляционные линии (пунктир) соединяют характерные точки кривых. Графики иллюстрируют, доказанную ранее [Кинг, Пек, Гангеми и др., 1993; Peck, King, Colman et al., 1994] возможность использования профилей магнитной восприимчивости для анализа климатического сигнала на Байкале.

Для уменьшения погрешностей от локальных флуктуации магнитной восприимчивости, а также погрешностей, связанных с потерей части осадка, были построены две композиционные колонки: для скважин 1993 и 1996 гг. Композиционная колонка представляет собой временную шкалу, составленную по двум скважинам на основе опорных точек, выбранных визуальным соответствием графиков ODP и магнитной восприимчивости (рис. 2). Скорость осадконакопления между опорными точками принималась постоянной. Результаты построения композиционных колонок представлены на рис. 3. Можно заметить, что в осадке скважины BDP-93 магнитная восприимчивость меняется в меньших пределах, чем в осадке скважины BDP-96. Возможно, это связано с привнесом магнитных минералов реками Селенгой и Бугульдейкой в районе Бугульдейской перемычки, в то время как на формирование осадков на Академическом хребте реки не оказывали сколько-нибудь существенного воздействия [Peck, King, Colman et al., 1994].

После построения композиционных колонок был проведен частотный анализ данных магнитной восприимчивости на основе быстрого Фурье-метода с помощью программы Microcal Origin 6.0 (рис. 4). На графике для 1993 г. видны пять пиков, соответствующих периодам 106, 72, 41, 30 и 21 тыс. лет. Пик 106 тыс. лет

(эксцентриситетный цикл Миланковича) выражен наиболее ярко, что характерно для палеоклиматической записи последнего миллиона лет [Bloemendal, Liu, Rolph, 1995]. Пик 72 тыс. лет, согласно [Berger, 1978, Berger, Loutre 1991], можно интерпретировать как гармоники периодов изменений эксцентриситета и прецессии. Пик 41 тыс. лет является циклом Миланковича, соответствующим наклонению. Пик 30 тыс. лет, согласно [Ibid.], является гармоникой наклона. Последний пик, 21 тыс. лет, скорее всего, является результатом наложения прецессионных циклов 19 и 23 тыс. лет друг на друга.

На графике для 1996 г. мы также отмечаем пики 106 и 41 тыс. лет. Пик 25 тыс. лет, по-видимому, является искажением пика 23 тыс. лет, т.е. все три основных цикла Миланковича проявляют себя в последних 500 тыс. лет магнитной записи байкальского климата. Что касается пика 85 тыс. лет, то в настоящее время мы не можем достоверно объяснить его. Возможно, пик является отражением каких-либо региональных процессов. [Крайнов, Кравчинский, Пек и др., 2001].

Сравним полученные нами результаты с результатами палеоклиматических исследований осадков Байкала, выполненных другими методами. Так, при частотном анализе биогенного кремнезема скважины BDP-96-2 за последние 800 тыс. лет определены перио-

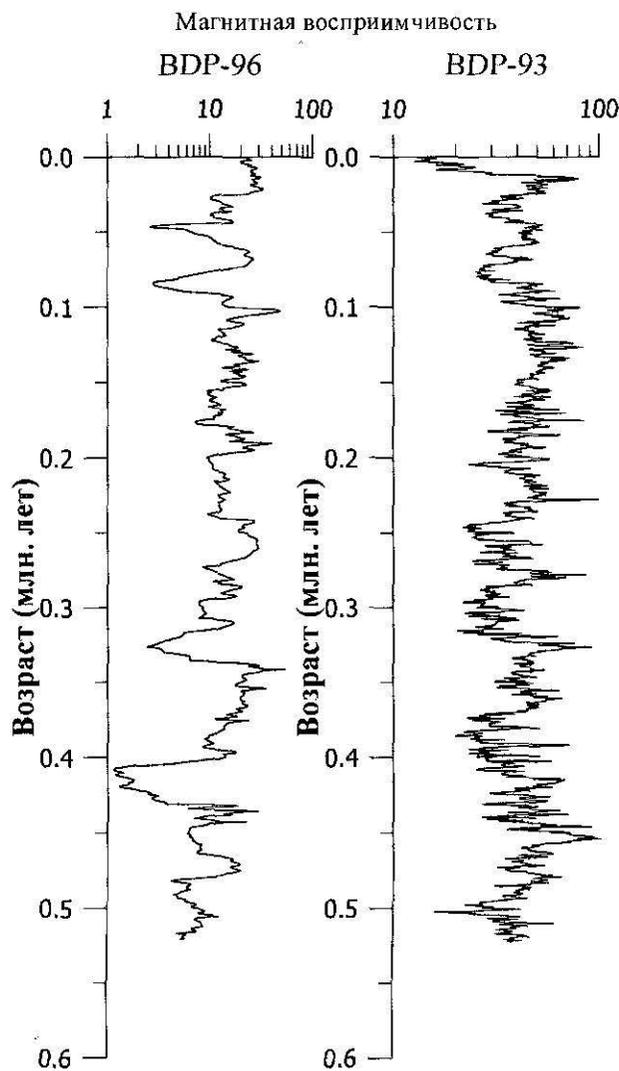


Рис. 3. Композиционные профили магнитной восприимчивости на возрастном интервале 0 - 0.522 млн. лет. Профили составлены по частным изменениям магнитной восприимчивости кернов скважин BDP-93-1 + BDP-93-2 и BDP-96-1 + BDP-96-2.

ды 106 тыс., 41 тыс. и 23 тыс. лет (те же основные циклы Миланковича, что и определенные нами) [Williams, Peck, Karabanov et al., 1997]. Значит, можно утверждать, что все три основных цикла Миланковича (прецессия, наклонение и эксцентриситет) оказывали определяющее влияние на формирование байкальского климата в течение последнего полумиллиона лет.

При частотном анализе геохимических профилей BDP-96-2 были определены периоды 413, 123, 96, 72, 54, 41, 23 и 19 тыс. лет [Goldberg, Phedorin, Grachev et al., 1999]. Следует отметить, что между пиками 41 и

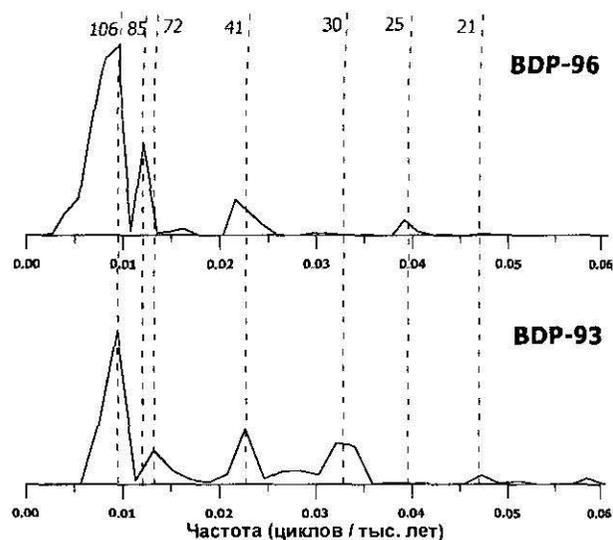


Рис. 4. Результаты частотного анализа магнитной восприимчивости для композиционной колонки BDP-93 в сравнении с композиционной колонки BDP-96. Горизонтальные пунктирные линии соответствуют периодам изменений орбитальных параметров Земли и даны в тыс. лет. Амплитуда частотной кривой представлена в относительных величинах.

23 тыс. лет на авторских графиках наблюдается не отмеченный авторами, но отчетливый и получившийся по многим профилям пик 30 тыс. лет. Соответственно, периоды 106 тыс. (являющийся наложением периодов эксцентриситета 96 и 126 тыс. лет), 41 и 23 тыс. лет наблюдаются как и при анализе биогенного кремнезема или магнитной восприимчивости. Кроме того, совпадают и периоды 72 тыс. (как отмечалось выше, одна из гармоник эксцентриситета) и 30 тыс. лет (одна из гармоник наклонения). Насколько нам известно из литературных источников, ранее эти частоты нигде в геологических записях палеоклимата не отмечались.

На основе вышеприведенных результатов можно сделать вывод о том, что результаты палеоклиматических исследований, получаемые по различным годам бурения на основе петромагнитных методов, хорошо сопоставимы между собой, а также с результатами, полученными другими методиками. Это доказывает, что петромагнитный метод является экспрессным самостоятельным методом изучения палеоклимата по геологическим осадочным записям оз. Байкал. Результаты нашего исследования показывают, что разрешающая способность метода не уступает другим методам (биогенный кремнезем, геохимические параметры).

Список литературы

- Ван-дер-Варден Б.Л.** Математическая статистика. - М.: Изд-во. иностр. лит. - 1960. - 356 с.
- Кинг Дж. У., Пек Дж., Гангеми П., Кравчинский В.А.** Палеомагнитные и петромагнитные исследования оз. Байкал // Геология и геофизика. - 1993. - Т. 34, № 10-11. - С. 174 - 192.
- Коллектив исполнителей Байкальского бурового проекта.** Результаты бурения первой скважины на озере Байкал в районе Бугульдейской перемычки // Геология и геофизика. - 1995. - Т. 36, N2. - С. 3 - 32.
- Коллектив участников проекта "Байкал-бурение".** Непрерывная запись климатических изменений в отложениях озера за последние 5 миллионов лет // Геология и геофизика. - 1998. - Т. 39, № 2. - С. 139 - 156.
- Кравчинский В.А., Дж. Пек, Сакаи Х., Кинг Дж., Номура Ш., Танака А., Кузьмин М.И., Вильямс Д., Каваи Т.** Магнитостратиграфическая шкала позднего кайнозоя Центральной Азии по данным глубокого бурения на Байкале // Глобальные изменения природной среды / Под ред. Н.Л. Добрецова, В.И. Коваленко. - Новосибирск: Изд-во НИЦ ОИГиГМ РАН, 1998. - С. 73 - 78.
- Крайнов М.А., Кравчинский В.А., Пек Дж., Сакаи Х., Кинг Дж., Кузьмин М.И.** Палеоклиматическая запись осадков озера Байкал по результатам изучения магнитной восприимчивости. // Геология и геофизика. - 2001 - Т. 42, N 1 - 2. - С. 87 - 97
- Кузьмин М.И., Карabanов Е.М., Гелетий В.Ф., Антипин В.С., Горегляд А.В., Калмычков Г.В., Гвоздков А.Н., Кравчинский В.А., Прокопенко А.А.** Непрерывная запись изменений климата Центральной Азии в донных осадках озера Байкал за последние пять миллионов лет // Глобальные изменения природной среды / Под ред. Н.Л. Добрецова, В.И. Коваленко. - Новосибирск: Изд-во НИЦ ОИГиГМ РАН, 1998. - С. 58 - 72.
- Berger A.L.** Long-term variations of daily insolation and Quaternary climatic changes // Journal of the atmospheric sciences. - 1978. - V 35, N 12.
- Berger A., Loutre M.F.** Insolation values for the climate of the last 10 million years // Quaternary Science Reviews. - 1991 - V. 10 - P. 297 - 317.
- Bloemendal J., Liu X.M., Rolph T.C.** Correlation of the magnetic susceptibility of Chinese loess and the marine oxygen isotope record: chronological and palaeoclimatic implications // Earth and Planetary Science Letters. - 1995. - V. 131. - P. 371 - 380.
- Goldberg E.L., Phedorin M.A., Grachev M.A., Khlistov O.M., Levina O.V., Ziborova G.A., Bobrov V.A., Dolbnya I.P., Navez J., Andre L., Schulpyakov I.O.** Orbital forcing in the geochemical records of paleoclimates found in the sediments of lake Baikal // International conference 'Baikal as a world natural heritage cite'. - Novosibirsk: Publishing house SB RAS, 1999. - P. 167 - 176.
- Peck J.A., King J.W., Colman S.M., Kravchinsky V.A.** A rock-magnetic record from Lake Baikal, Siberia: evidence for Late Quaternary climate change // Earth planet. Sci. Lett. - 1994. - V. 122. - P. 221 - 238.
- Peck J.A., King J.W., Colman S.M., Kravchinsky V.A.** An 84 Kyr Palaeomagnetic record from the sediments of Lake Baikal, Siberia // J. Geophys. Res. - 1996. - V. 101, № B5. - P. 11356 - 11385.
- Shackleton N.J., Berger A., Peltier W.R.** An alternative astronomical calibration of the lower Pleistocene timescale based on ODP Site 677 // Trans. Roy. Soc. Edinburgh: Earth Sciences, 1990. - V. 81. - P. 251 - 261.
- Williams D.F., Peck J.A., Karabanov E.B., Prokopenko A.A., Kravchinsky V.A., King J.W., Kuzmin M.I.** Lake Baikal. Record of continental climate response to orbital insolation during the past 5 million years // Science. - 1997. - V. 278 - P. 1114 - 1117.