

Проблемы реконструкции климата
и природной среды
голоцена и плейстоцена Сибири



Kazansky A.Yu., V.A. Kravchinsky, V.S. Zykina, G.G. Matasova, D.V. Metelkin,
The applicability of magnetic methods for revealing of climatic signal in loess-soil sequences of Siberia.
In: Problems of climatic and environmental reconstructions in Holocene and Pleistocene in Siberia,
editor A.P. Derevyanko. Publ. House of Russian Academy of Science, Siberian Branch, OIGGM,
191-202, 1998. In Russian.

А.Ю. Казанский¹, В.А. Кравчинский²⁻⁴, В.С. Зыкина¹, Г.Г. Матасова¹, Д.В. Метелкин¹

¹Объединенный институт геологии, геофизики и минералогии СО РАН, Новосибирск

²ВостСибНИИГГуМС, Иркутск

³Институт геохимии СО РАН, Иркутск

⁴Institut de Physique du Globe de Paris

ВОЗМОЖНОСТИ МАГНИТНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКОГО СИГНАЛА В ЛЕССОВО ПОЧВЕННЫХ РАЗРЕЗАХ СИБИРИ

Введение

Большое значение для реконструкции климата Земли в прошлом и прогноза предстоящих климатических изменений приобретают магнитные методы: палеомагнитный и петромагнитный. Первый имеет дело с векторными величинами - направлением "древней" намагниченности (т.е. намагниченности, отражающей направление магнитного поля Земли на момент образования изучаемой породы), второй - со скалярными параметрами: величиной магнитной восприимчивости, естественной остаточной намагниченности, искусственно создаваемых в лаборатории и соотношением между этими величинами.

Возможности магнитных методов при изучении климатических изменений (состояние проблемы)

Палеомагнитный метод (магнитостратиграфия) позволяет независимо датировать кайнозойские осадочные породы путем прямой корреляции магнитных событий (зон полярности) с хорошо разработанной магнитохронологической шкалой [Cande, Kent, 1992]. Такой подход прекрасно зарекомендовал себя при изучении донных коловок океанических [Hailwood, 1989] и озерных осадков, в частности, на озере Байкал, где удалось получить практически непрерывную запись палеомагнитной зональности для последних 5 млн. лет [King, Peck, Gangeti и др., 1993; Peck, King, Kravchinsky, 1997]. В континентальных отложениях наиболее значительные результаты получены по лессово-почвенным разрезам Китая [Heller, Liu, 1984; Rolph, Shaw, Derdshire et al., 1989; Zheng, An, Yu et al., 1992 и др.], Средней Азии [Пеньков, 1980; Семенов, 1990], Европы [Фаустов, Большаков, Вирина и др., 1986; Семенов, 1990; Virina, Udartsev,

Faustov et al., 1990], Южной Америки [Ruocco, 1989; Nabel, 1993], Аляски [Westgate, Stemper, Rewe, 1990] и Сибири [Поспелова, 1976].

Для хроно Брюнес (последние 780 тыс. лет), в котором продолжительные интервалы противоположной полярности отсутствуют, в качестве реперов используются элементы тонкой структуры геомагнитного поля: экскурсы (кратковременные неполные обращения поля) и вековые вариации. Шкала экскурсов к настоящему времени разработана весьма детально [Petrova, Pospelova, 1990] и может быть использована для глобальных корреляций, тогда как особенности вековых вариаций используются в региональном масштабе [Бахмутов, 1986]. Поскольку скорость осадконакопления в оксанических бассейнах, как правило, не позволяет фиксировать такие кратковременные изменения геомагнитного поля, основным объектом исследований здесь являются озерные отложения [Peng, King, 1992; Peck, King, Colman et al., 1996] и лессово-почвенные разрезы [Пеньков, 1980; Поспелова, 1976].

Петромагнитный метод (магнетизм горных пород). Изменения свойств основных магнитных минералов в осадках (т.е. состава, концентрации, размера зерна и др.) являются весьма чувствительным индикатором изменений природной среды. Основные параметры и интерпретация их изменений как функция палеоклиматического сигнала для донных осадков были разработаны С. Робинсоном [1986], а также Дж. Кингом и Дж. Чэнном [1991]. К ним относятся: К - магнитная восприимчивость - параметр, измеряемый непосредственно в разрезе или в образце, и создаваемые искусственно в лаборатории: ARM - идеальная (безгистерезисная) намагниченность; K_{ARM} - безгистерезисная магнитная восприимчивость; SIRM - полная остаточная намагниченность насыщения (создается в поле насыщения и выше);

IRM - остаточная намагниченность насыщения (создается в поле ниже поля насыщения).

Изменения петромагнитных параметров K , K_{ARM} , ARM и SIRM отражают в основном вариации в концентрации магнитных минералов в природном осадке. Изменения в соотношениях величин K_{ARM}/K и K_{ARM}/ARM отражают, главным образом, различия в размере зерен магнитных минералов. Оба эти соотношения изменяются обратно пропорционально размеру зерен.

Кроме того, соотношения между параметрами могут быть вычислены с использованием значений IRM, полученных в высоких полях (т.е. > 1.0 Т) и при измерениях IRM в пониженных полях противоположного направления (-0.3 Т). Эти соотношения отражают изменения в коэрцитивных спектрах магнитных минералов, а следовательно, и в минералогии. Например, параметр HIRM или "жесткая" IRM, определяемый по формуле

$$HIRM = (IRM_{(-0.3T)} + SIRM)/2,$$

характеризует концентрацию высококоэрцитивных магнитных минералов (т.е. гематита и титита) в общем объеме вещества. Параметр S , определяемый как

$$S = IRM_{(-0.3T)}/SIRM,$$

характеризует отношение содержания высококоэрцитивных магнитных минералов к низкокоэрцитивным (таким как магнетит и маггемит). Значения S , близкие к 1.0, указывают на высокое содержание магнетита, уменьшение S означает увеличение содержания гематита и титита.

По результатам магнито-минералогических исследований позднелейстоценовых океанических осадков в Северной Атлантике [Robinson, 1986], высокая концентрация магнитных минералов наблюдается в ледниковых горизонтах, которые отвечают периодам, когда карбонатонакопление резко сокращалось и преобладал ледниковый разнос обломочного материала в соответствии с миграцией на юг Северо-Атлантического полярного фронта. Напротив, межледниковые горизонты характеризуются низкой концентрацией магнитных минералов и высоким содержанием карбоната в осадке. Такие резкие различия в концентрации магнитных минералов, по всей вероятности, обуславливаются вариациями в источнике и объеме поступающего обломочного материала, которые, в свою очередь, контролируются изменениями климата. Подобная прямая зависимость состава и концентрации магнитных минералов от климатических изменений, позволяет, в свою очередь, проводить прямую корреляцию изменений этих магнитных параметров донных осадков с изотопно-кислородной кривой.

Близкие закономерности выявлены и в донных осадках оз. Байкал в результате работ по проекту "Байкал-Бурение" на Академическом хребте [King, Пек, Гангем и др. 1993; Peck, King, Colman et al., 1994; 1996; Williams, Peck, Karabanov et al., 1997]. Выявлена прямая корреляция между магнитной восприимчивостью K , параметром HIRM и вариациями изотопов кислорода O^{18} SPECMAP по результатам измерений керн колонки 278 к-2 Академического хребта оз. Байкал. Поведение HIRM в нижней части колонки свидетельствует о максимальном эоловом переносе в течение ледниковых периодов и о минимальном - в межледниковый. Такая интерпретация подразумевает, что в Байкальском регионе во время ледниковых периодов существовали более аридные условия. Отмечаемые соотношения ледниковых - межледниковых циклов и вариаций в петромагнитных параметрах (магнитная восприимчивость K и HIRM) позволяют оценить возраст осадков Академического хребта сравнением изменения этих параметров с кривой вариаций изотопа кислорода.

Несколько иначе обстоит дело с лессово-почвенными разрезами. Также как и для донных осадков, изменения состава, концентрации и размера зерна магнитных минералов в лессах могут дать подробную информацию об источнике обломочного материала и процессах его транспортировки [Yoshida, Fujiwara, Khadim et al., 1994]. Кроме перечисленных выше магнитных параметров при изучении лессово-почвенных разрезов необходимо учитывать фактор F_D (%), отражающий зависимость магнитной восприимчивости от частоты:

$$F_D = (K_{LF} - K_{HF}) / K_{LF} \times 100\%,$$

где K_{LF} - магнитная восприимчивость, измеренная на низкой частоте поля, K_{HF} - магнитная восприимчивость, измеренная на высокой частоте поля. Для измерений, как правило, применяется стандартный измеритель восприимчивости "Bartington MS2" с двумя фиксированными частотами: низкой - 0.5 кГц и высокой - 5 кГц [Heller, Evans, 1995]. Частотная зависимость определяется в основном концентрацией суперпарамагнитных зерен в породе.

Наиболее изученными в палеомагнитном и петромагнитном отношении являются лессово-почвенные разрезы Китая. Величина магнитной восприимчивости (измеренная на низкой частоте) является отражением климатического сигнала: значения K в почвах разрезов Китая более чем в два раза выше, чем в лессах [Heller, Liu, 1984; Kukla, Heller, Liu et al., 1988]. Это, по всей вероятности, связано с различным соотношением обломочного и педогенного магнитных материалов в лессах и почвах [Zheng, Oldfield, Yu et al., 1991]. Установлена также прямая корреляция вариаций

магнитной восприимчивости в лессово-почвенных разрезах Китая с варпациями изотопов кислорода O^{18} [Maher, Thompson, 1992].

Близкие по характеру закономерности отмечены и для лессово-почвенных разрезов Средней Азии и Западной Европы. Почвенные горизонты Таджикистана характеризуются более высокими значениями магнитной восприимчивости, чем лессы [Lazarekno, Bolikhovskaya, Semenov, 1981]. Однако систематических работ, направленных на изучение отражения климатического сигнала в магнитных свойствах пород, здесь не проводилось [Heller, Evans, 1995]. Лессово-почвенные разрезы Франции демонстрируют такие же закономерности изменения магнитной восприимчивости как и разрезы Китая, но несколько менее выраженную из-за меньших различий в восприимчивости лессов и почв [Rousseau et al., 1994].

Диаметрально противоположная картина наблюдается на лессово-почвенных разрезах Америки. Лессы Аляски имеют магнитную восприимчивость в 1,5 - 2 раза выше, чем почвы в тех же разрезах [Beget, Hawkins, 1989; Beget, Stone, Hawkins, 1990]. Авторы объясняют такое явление усилением силы ветра в более холодные эпохи, соответствующие накоплению лессов и, соответственно, обогащением магнитной фракции крупнозернистым магнетитом, что хорошо согласуется с другими геологическими данными. Подобные закономерности выявлены в лессово-почвенных разрезах штата Индиана [Hayward, Lowell, 1993] и в Аргентине [Roussio, 1989].

Лессово-почвенные разрезы Польши также демонстрируют зависимость между магнитной восприимчивостью и литологией, подобную выявленной на Аляске [Maguszczak, Nawrocki, 1991; Nawrocki, 1992]. Однако породы этих разрезов сильно изменены процессами выветривания и оглеения, что приводит к уничтожению магнитных минералов и тем самым маскирует первичное распределение магнитных параметров.

Таким образом, существует, по крайней мере, два типа фиксации климатического сигнала в лессово-почвенных разрезах "Китайский" и "Аляскинский", кроме того, сам климатический сигнал может быть искажен за счет последующих изменений лессов и почв.

До сих пор остается открытым вопрос о том, как отражаются климатические изменения в магнитных характеристиках лессово-почвенных разрезов Сибири.

И. Хлакула, Н. Раттер и М. Эванс [Chlakula, Rutter, Evans, 1997], изучив лессово-почвенный разрез Куртак близ Красноярска, пришли к выводу, что для этого разреза справедлива не "китайская", а "аляскинская" модель лессово-почвенного накопления, и на основе этого провели корреляцию с изотопно-кислородной кривой.

Однако ни в одном разрезе Приобского плато такой закономерности не отмечается, более того, изменения магнитных параметров (магнитной восприимчивости, естественной остаточной намагниченности и фактора Q) практически не зависят от литологии пород [Поспелова, 1971, 1973].

Постановка задачи

Поскольку донные осадки и лессово-почвенные разрезы фиксируют палеоклиматический сигнал по-разному, наиболее перспективным для достоверной реконструкции климатических изменений в прошлом представляется изучение обоих типов разрезов внутри единой климатической области. В этой связи совместный анализ данных по донным отложениям оз. Байкал и лессово-почвенным разрезам Сибири представляет несомненный интерес. В частности, палеомагнитные и петромагнитные работы по изучению донных осадков оз. Байкал и лессовых отложений Западной Сибири планируется провести по следующей программе:

1) измерение магнитных параметров ориентированных образцов и выполнение лабораторных экспериментов для определения стабильности намагниченности, расшифровки ее компонентного состава, изучения физических характеристик образцов осадков;

2) разработка магнитостратиграфической шкалы для лессовых разрезов Западной Сибири и кернов скважин глубокого бурения оз. Байкал с использованием данных литологии, геохимии, абсолютных датировок и пр.;

3) выявление механизма фиксации климатического сигнала в магнитных характеристиках лессов и почв Сибири и построение петромагнитной модели лессо-почвенного осадконакопления для Сибирского региона;

4) построение петромагнитной возрастной модели лессовых разрезов, оценка скоростей осадконакопления в разных частях лессовых разрезов и осадков озера Байкал, палеоклиматическая интерпретация петромагнитных профилей (выделение интервалов потепления и похолодания).

Новые результаты позволят сопоставить разрабатываемую нами модель с мировым колебанием климатов. Первым шагом в рамках этой программы являются рекогносцировочные палеомагнитные данные по лессово-почвенному разрезу Бачатский.

Краткая геологическая характеристика

Наиболее полно следы глобальных изменений климата на континенте зафиксированы в лессово-почвенных разрезах. Одним из важных разрезов в плане климатических флуктуаций является Бачат-

Верхнеплейстоценовая лессово-почвенная последовательность Западной Сибири
(Кузнецкая котловина)

Система	Раздел	Звено	Педниковые и межледниковые горизонты	Западная Сибирь		Глубина, м	Кузнецкая котловина	Полярность	Стадии O ¹⁸ (Shackleton, Spruyell, 1973)
				Свиты [Зудин и др., 1982]	Лессовые и почвенные горизонты				
ЧЕТВЕРТИЧНАЯ ПЛЕЙСТОЦЕН ВЕРХНЕЕ	Голоцен				Голоценовый ПК				1
		Серганский	Еловская (Q ₃ ⁴ - Q ₄ e1)	Баганский Л (bg)	1				2
				Суминский ПК (sm) *14 ± 0,2	2				
				Ельцовский Л (el) *19 ± 0,8	2				
		Каргинский	Краснобродская (Q ₃ ³ kb)	Искитимский ПК (iv)	3			3	
		Ермаковский	Бачатская (Q ₂ ³ - Q ₃ ³ bc)	Тулунский Л (tl)	4			4	
		Казанский		Бердский ПК (br) 130 ± 10 нижняя бердская почва (br ₁)	6			5e	
				7					

Примечания. ПК - ледокомплекс; Л - лесс; * - радиоуглеродные даты, остальные - ТЛ

	- ископаемые почвы		- прямая полярность (хрон Брюнес)
	- лессовидные суглинки		- предварительно выделяемые палеомагнитные аномалии
	- песок		
	- оглеение		
	- щебень		

ский. Он расположен в западной части Кузнецкой котловины, в 3 км северо-восточнее пос. им. 50-летия Октября. Комплексным методом изучены отложения верхнего плейстоцена мощностью до 7 м. Описание разреза сверху вниз приводится по северо-восточной стенке вскрыши 7-го участка угледобывающего карьера (см. таблицу).

1. Современный чернозем выщелоченный имеет профиль: гумусовый горизонт (А - 45 см) - черный, суглинистый, рыхлый, с порошистой структурой; АВ (10 см) - неравномерно окрашенный из-

за карманов черного цвета из гумусового горизонта и заклинов серовато-желтого цвета из иллювиального горизонта, суглинистый, не вскипает; иллювиальный горизонт (В - 25 см) - светлый серовато-желтый суглинок с неясноореховатой структурой, в основании бурно вскипает; карбонатно-иллювиальный (Вк - 60 см) - коричневатосерый суглинок, пористый, повсеместно присутствует карбонатный псевдомицелий.

2. Светлый серовато-коричневый лессовидный суглинок, менее плотный, чем вышележащий, кар-

бонатного псевдомицелия меньше, в основании (30 см) отмечается чередование оглеенных прослоев без карбонатов и коричневатого суглинка, содержащего карбонаты. Мощность горизонта 1,2 м.

3. Искитимский педокомплекс, представленный двумя ископаемыми почвами. Верхняя почва состоит из гумусового (А1) и переходного (Вск) горизонтов. А1 (30 см) - буровато-серый суглинок, слабопористый, без карбонатных новообразований, содержит редкие глеевые пятнышки, верхняя граница горизонта нечеткая, по с трещинами усыхания, нижняя - в виде затеков внедряется в нижележащий горизонт. Вск (40 см) - светло-бурый с белесым оттенком легкий суглинок, карбонатный (псевдомицелий и пятна). Нижняя почва представлена аккумулятивным (А1) и переходным (Вск) горизонтами. А1 (30 см) - буровато-серый легкий суглинок, пористый, уплотнен, верхняя граница неровная, неясная, нижняя - узкие затеки и космы глубиной до 0,7 м. Вск (1 м) - желтовато-серый легкий суглинок, пористый, карбонатный (псевдомицелий и мелкие пятнышки). Мощность педокомплекса составляет 2 м.

4. Желтого-коричневый легкий суглинок, плотнее выщележающего, слабопористый, отмечаются единичные глеевые пятнышки, марганцовистая пунктация, повсеместно карбонатный псевдомицелий, на глубине 5,4 м отмечаются гнезда и небольшие прослои мелкого щебня. Мощность горизонта 1,4 м.

5. Бердский педокомплекс представлен только нижней почвой, имеющей хорошо развитый профиль: А1-Вк. Гумусовый горизонт (А1 - 0,8 м) - темно-серый с коричневатым оттенком суглинок, плотный, с редкими глеевыми пятнышками и марганцовистой пунктацией, присутствует карбонатный псевдомицелий. В кровле горизонт разбит трещинами усыхания, а в основании имеет гумусированные языки-затеки, встречаются норы землеросв. Вк (1,8 м) - светлый коричневатый суглинок, пористый, слабо оструктурен, карбонаты в виде пятнышек, псевдомицелия, встречаются норы землеросв.

Обе почвы искитимского комплекса имеют незначительной мощности профили примитивного строения, нечетко выраженные по цвету гумусовые горизонты, характерные карбонатные новообразования. Отмеченные признаки присущи лишь почвам позднего плейстоцена, формирование которых происходило кратковременно в специфических условиях степи-лесостепи при климате континентальном и достаточно аридном. Почвы этого комплекса всегда сохраняют черты финальной криогенной стадии, когда почва превращается в криоморфную. В это время доминируют процессы почвенного криогенеза. Аналогичное строение данного педокомплекса отмечено в лессово-почвенных разрезах Западной и Средней Сибири [Зы-

кина, Волков, Дергачева, 1981; Дергачева, Зыкина, 1988; Зыкина, 1992]. Почва казанцевского межледниковья (нижняя бердская) очень физиономичная, с хорошо развитым профилем, мощным гумусовым горизонтом. Она формировалась длительное время в основном под действием процесса гумусонакопления в условиях достаточно теплого и влажного климата. Это сближает её с почвами среднего плейстоцена и существенно отличает от почв позднего плейстоцена. Почвы данного интервала подробно охарактеризованы ранее [Архинов, Волкова, Зыкина и др., 1995].

Для палеомагнитных исследований было опробовано 7 м верхней части разреза с шагом отбора 2,5 см. Отбор выполнялся как при помощи проботорника в пластиковые контейнеры, так и штучными с последующей распиловкой в лаборатории на образцы-кубки стандартного (20 x 20 мм) размера. Всего коллекцию составили 763 образца.

Методика исследований

Палеомагнитные исследования по общепринятой методике [Палеомагнитология, 1982] выполнялись на базе трех лабораторий.

1. Лаборатории палеомагнитологии ОИГГМ СО РАН (г. Новосибирск). Измерения магнитной восприимчивости выполнены на капнометре системы К.С. Буракова (ОИФЗ РАН, Москва). Измерения естественной остаточной намагниченности (NRM) проводились на спин-магнитометрах JR-4 (производства Чехословакии [Jelinek, 1966]). Ступенчатое терморазмагничивание до 540° С (начало механического разрушения образцов) с шагом 40° С в немагнитной печи системы В.П. Апарина (ИФ СО РАН, Красноярск).

2. Палеомагнитной лаборатории совместного подчинения ИГХ СО РАН - ВостСибНИИГГИМС (г. Иркутск). Измерения магнитной восприимчивости непосредственно на разрезе выполнялись с помощью полевого прибора КТ-5 (Чехословакия). Лабораторные эксперименты проводились в загородной лаборатории с. Бурдаковка, удаленной от техногенных помех. Измерения естественной остаточной намагниченности проводились на астатическом магнитометре LAM-24 и частично - на спин-магнитометре JR-4. Магнитная восприимчивость измерялась с помощью капнометра KLY-2 (производства Чехословакии; [Jelinek, 1973]). Эксперименты по размагничиванию переменным магнитным полем проводились в установках магнитного вакуума размером 15 и 27 м³ с нуль-индикаторами, обеспечивающими однородное поле в центре установки по принципу колец Гельмгольца и клетки Фарадея (точность компенсации не ниже ± 10 нТл); установками для создания переменных магнитных полей напряженностью до 150 мТ с внутренним диаметром

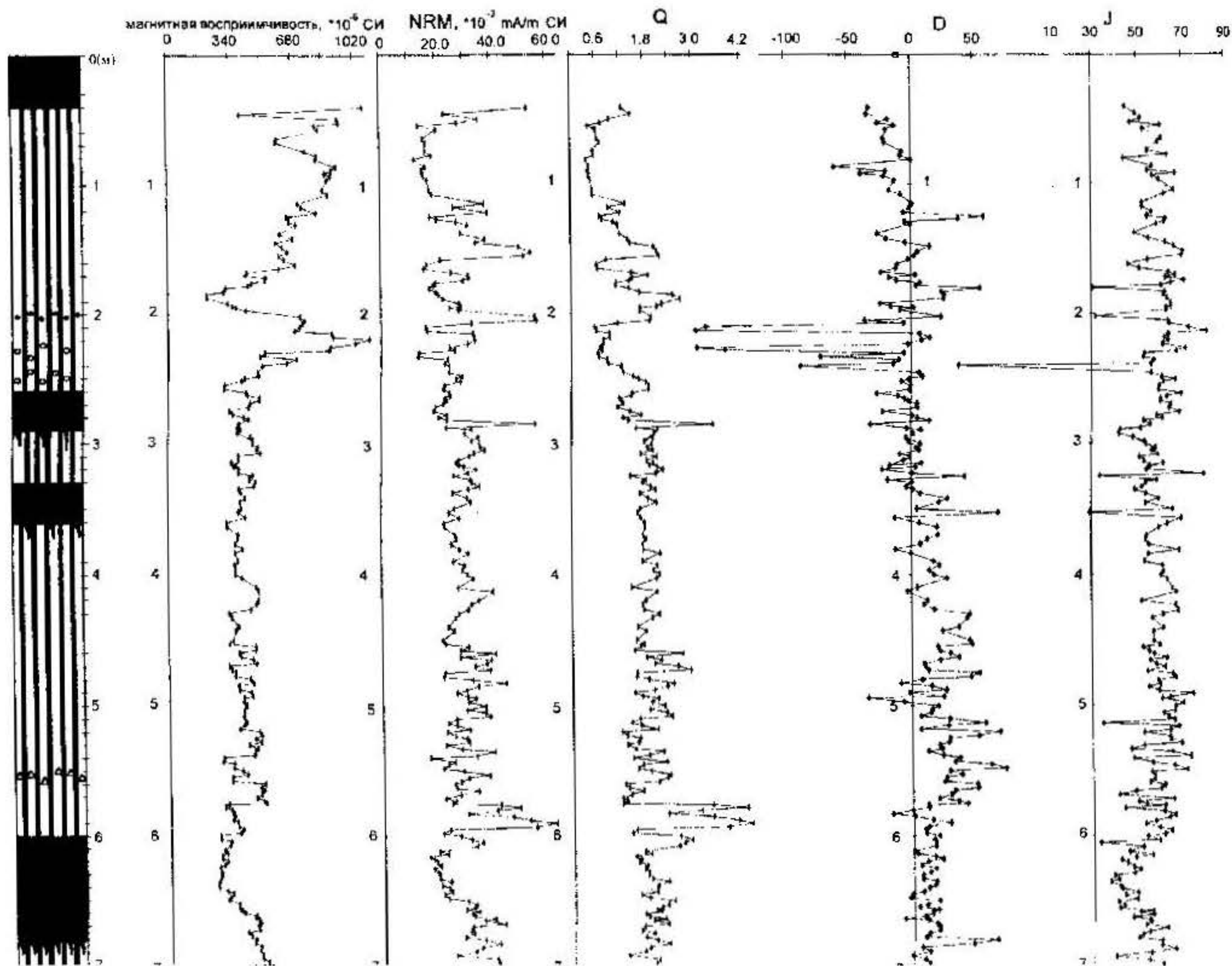


Рис. 1. Скалярные и векторные магнитные характеристики разреза Бачатский. NRM - величина естественной остаточной намагниченности; Q - отношение Кенигсберга; склонение (в градусах); J - наклонение (в градусах). D и J даны по результатам первичных изменений.

соленоида до 15 см, обеспечивающего высокую точность магнитометрических измерений и надежность экспериментов по размагничиванию. Ступенчатое размагничивание выполнено с шагом 2 - 20 мТ.

3. Палеомагнитной лаборатории Института Физики Земли (г. Париж, Франция). Измерения естественной остаточной намагниченности в этой лаборатории проводились в автоматическом режиме на трехкомпонентном горизонтальном криогенном магнитометре типа 2-G с использованием трехосевой размагничивающей установки "Schonstedt", помещенной в комнату магнитного вакуума. По всем контрольным образцам получена высокая сходимость результатов.

Выделение характерных направлений намагниченности (ChRM) и анализ полученных распределений проводились с использованием стандартных программ [Ekin, 1991], системы ОПАЛ-3 [Винарский, Житков, Кравчинский, 1987]. Во время проведения контрольных экспериментов использованы программные средства, применяемые в Парижской лаборатории (автор Ж.-П. Конье).

Результаты исследований

Магнитные характеристики пород. Магнитные характеристики разреза Бачатский варьируют в достаточно широких пределах, при этом явной корреляции каких-либо параметров с литологией пород не наблюдается (рис. 1). Величина магнитной восприимчивости меняется от 200 до 1055×10^6 СИ. Основные изменения величины магнитной восприимчивости приходятся на верхние 2.7 м разреза (до кровли искитимской почвы). Повышенными значениями магнитной восприимчивости отличаются оглеенные интервалы и грубозернистые несчаные прослои. Ниже по разрезу величина K варьирует в очень небольших пределах (среднее значение около 425×10^6 СИ) вне зависимости от литологии пород и лишь в верхней части бердского недокомплекса незначительно падает, возвращаясь к прежним значениям в нижней его части.

Величина естественной остаточной намагниченности в среднем составляет около 30 мА/м.

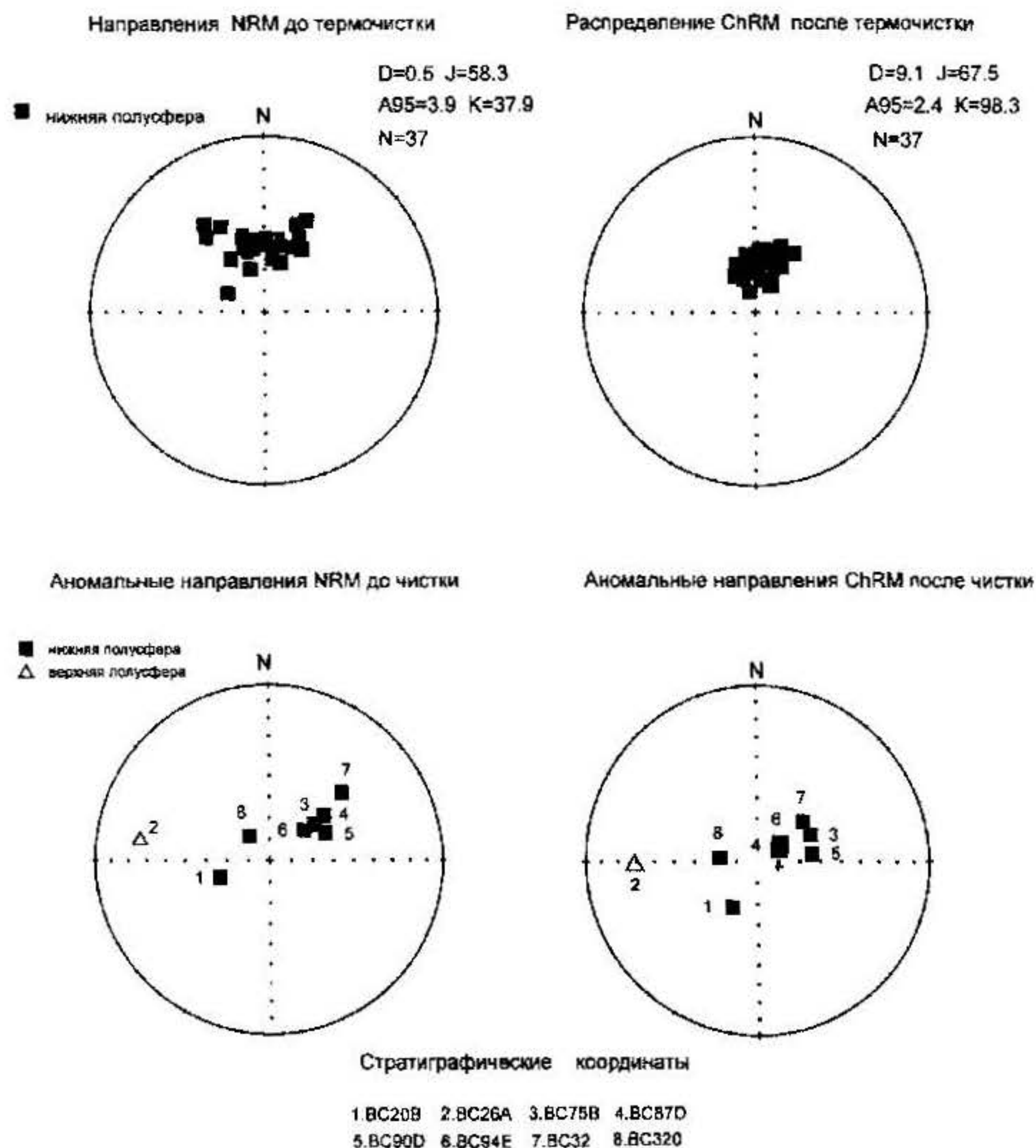


Рис. 2. Сравнение распределений намагниченности до и после чистки.

Наибольшие изменения NRM, как и магнитной восприимчивости, приходится на верхнюю часть разреза (до 2,5 м), в нижней части величина намагниченности меняется не столь значительно. Исключения составляют узкие интервалы резкого увеличения NRM, в основном связанные с оглеением.

Обращает на себя внимание относительно высокие значения фактора Q (отношение остаточной намагниченности к индуктивной). За исключением верхней части разреза, где Q меняется от 0,7 до 1,8 в соответствии с изменениями K и NRM, этот параметр меняется очень мало, в среднем составляя около 1,9 (кроме пиков, вызванных упомянутыми выше резкими увеличениями NRM). Такая величина Q превышает известные по литературе средние величины Q для разрезов Приобского плато [Поспелова, 1971, 1974], и вообще не характерна для осадочных пород с ориентационной намагниченностью [Нагата, 1965], что позволяет предполагать наличие химической намагниченности.

Анализ векторных распределений. По первичным измерениям большинство образцов в разре-

зе Бачатский характеризуется прямой полярностью. В настоящее время, к сожалению, только часть образцов прошла полное размагничивание переменным полем или температурой. Тем не менее, характер распределения направлений намагниченности образцов после размагничивания до 100 - 200 нТ или 540 - 580° С существенно не изменяется, а параметры распределения улучшаются (рис. 2). Судя по ортогональным диаграммам (рис. 3, 4), на начальных этапах размагничивания (до 5 - 10 нТ или до 200° С) разрушается нестабильная намагниченность, связанная с транспортировкой (и/или распиловкой) образцов, для образцов, отобранных вручную). Это подтверждается еще и тем, что разрушаемый компонент имеет слишком большой разброс во всех четвертях стереограммы. Выше, в полях до 50 нТ или при температурах до 300 °С разрушается компонент, по направлению достаточно близкий к ChRM, и, наконец, выше 50 нТ и 300° С сохраняется только характеристический компонент намагниченности (рис. 3, 4). Не исключено, что второй компонент, судя по низкой коэрцитивности и блокирующим температурам, связан с маггемитом. Ха-

Стратиграфические координаты

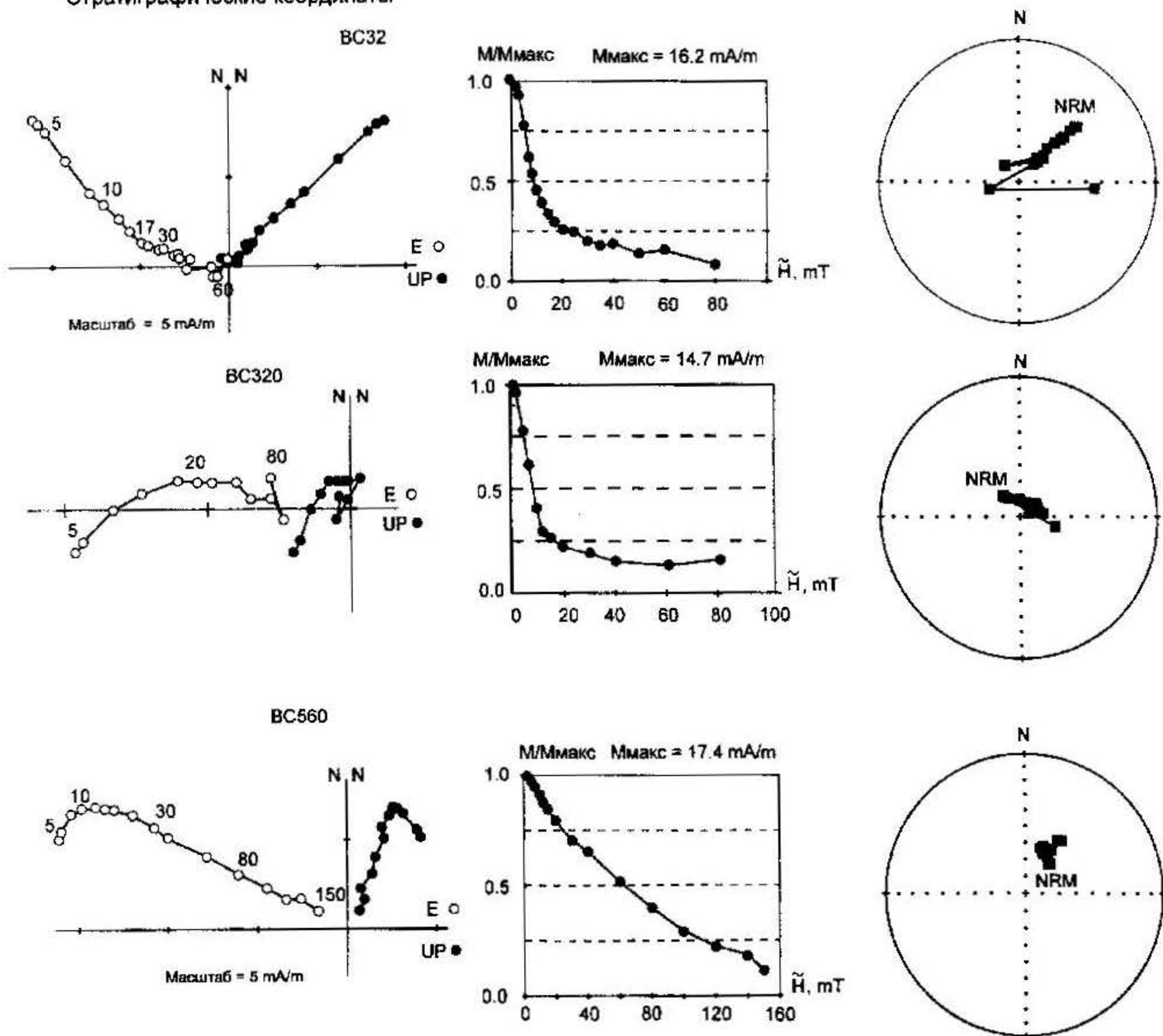


Рис. 3. Результаты размагничивания образцов переменным магнитным полем.
Образец BC320 - аномальное направление.

рактистический компонент связан с магнетитом и, принимая во внимание слабое изменение величины намагниченности при 580°C , с гематитом.

Обращает на себя внимание большая доля ChRM в общем спектре намагниченностей, по сравнению с лессово-почвенными разрезами Китая. При выходе на направление характеристической намагниченности в образцах еще сохраняется до 20 % от первоначальной величины NRM при термочистке и до 40 % при очистке переменным полем, тогда как в китайских разрезах не превышает 10 - 15 % в обоих случаях. Большая магнитная жесткость по кривым размагничивания переменным полем может свидетельствовать о существенной роли гематита в намагниченности лессово-почвенных разрезов Сибири.

Кроме прямой полярности, в Бачатском разрезе выделяются четыре интервала с направлением намагниченности, которое можно охарактери-

зовать как аномальное: интервал 1,1 - 1,2 м; интервал 1,8 - 2,5 м (с наклоном вплоть до обратных значений), интервал 3,1 - 3,5 и слабо выраженный интервал 5,1 - 6,0 м. При размагничивании как переменным полем, так и температурой аномальные направления сохраняются (рис. 2), характер спада величины намагниченности при размагничивании также не отличается от прямо намагниченных образцов (рис. 3, 4). Поскольку аномально намагниченные образцы присутствуют в образцах одних и тех же интервалов, опробованных по разной методике и изученных в независимых лабораториях, можно исключить ошибки в ориентировке при отборе и/или распиловке образцов. Таким образом, выявленные аномальные направления образцов могут отражать особенности древнего поля, вековые вариации или экскурсы, однако коллекция к настоящему времени об-

Стратиграфические координаты

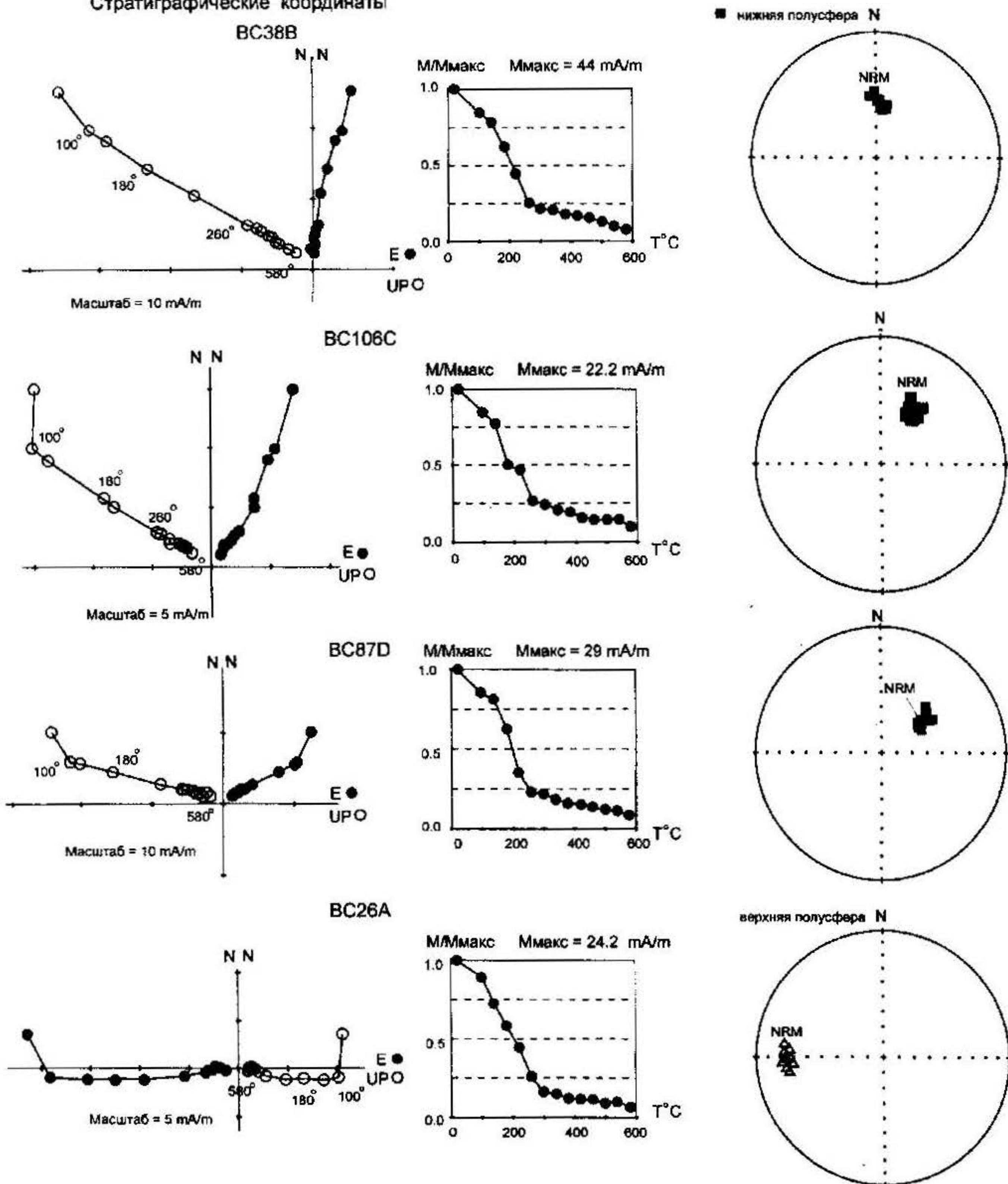


Рис. 4. Результаты терморазмагничивания образцов. Образцы BC87D и BC26A – аномальное направление.

работана не в полном объеме и более конкретные выводы делать пока нельзя.

Обсуждение результатов

Проведенные исследования показали, что изученные нами лессово-почвенные отложения Куз-

нецкой котловины по своим магнитным и палеомагнитным характеристикам отличаются от лессово-почвенных разрезов Китая и Средней Азии и имеют больше сходства с разрезами Приобского плато. По величине магнитной восприимчивости кузбасские лессы и почвы сравнимы с таковыми Приобского плато, существенно ниже ки-

тайских и лессов, изученных в Куртакском разрезе, но несколько выше лессово-почвенных пород Польши. Интересно отметить, что в отличие от польских разрезов, где зоны оглеения характеризуются пониженными значениями магнитной восприимчивости, в Бачатском разрезе оглеенные интервалы, как правило, характеризуются повышенными значениями K . По всей видимости, особенности накопления лессово-почвенных разрезов Сибири имели региональный характер. Измерения магнитной восприимчивости не выявили явных зависимостей от возраста и состава пород, поэтому пока невозможно принять для Сибирского региона ни одну из существующих петромагнитных моделей фиксации климатического сигнала в лессах и почвах. Более того, вероятное присутствие химической намагниченности накладывает искажения на климатический сигнал магнитной восприимчивости, что не дает пока возможности говорить о какой-либо корреляции магнитной восприимчивости с изотопной кривой кислорода. На основе изучения одного разреза не ясно также, является ли это особенностью данного разреза или отражает региональное явление.

Большая магнитная жесткость по кривым размагничивания переменным полем и блокирующие температуры выше 580°C могут свидетельствовать о существенной роли гематита в намагниченности лессово-почвенных разрезов Кузнецкой котловины. Наличие гематита отмечалось и в лессово-почвенных разрезах Приобского плато Сибири [Поспелова, 1971]. Таким образом, благодаря присутствию гематита в Сибирских разрезах можно ожидать отражения в магнитных параметрах, по крайней мере, одной составляющей климатического сигнала, а именно - эолового транспорта, что сближает сибирские лессы с байкальскими осадками.

При дальнейших исследованиях будет необходимо проведение полного комплекса петромагнитных работ для выяснения состава, концентрации, размера зерна и магнитного состояния минералов-носителей намагниченности. Здесь, по всей вероятности, полезным окажется методика, применявшаяся на разрезах Приднестровья [Поспелова, Левковская, 1994], где изменения магнитной восприимчивости как функция климатического сигнала рассматривались только внутри тех интервалов разреза, где состав и величина магнитных зерен оставались постоянными.

Для Бачатского разреза отмечается лучшая, чем для лессово-почвенных разрезов Китая, сохранность первичной намагниченности и, таким образом, фиксация изменений направления магнитного поля в виде аномальных направлений намагниченности. По этому признаку лессы и почвы Кузбасса весьма сходны с таковыми Приобского плато, где установлена наиболее подробная

запись тонкой структуры геомагнитного поля хрона Брюнес [Поспелова, 1976; Pospelova, 1990]. Тем не менее, нельзя полностью исключить возможность того, что не все выделенные палеомагнитные аномалии в результате дальнейших исследований окажутся экскурсами, а изменение склонения в нижней части разреза обусловлено тектоническими причинами, поскольку Кузнецкий бассейн все еще остается районом тектонической активности.

Выводы

1. Лессово-почвенные разрезы Кузнецкой котловины позволяют получить достаточно подробную запись изменений климата. Палеопедологическим методом можно фиксировать крупные климатические ритмы (межледниковья и интерстадиалы), а палеомагнитным методом устанавливать как крупные, так и более мелкие климатические флуктуации.

2. Лессово-почвенные разрезы Кузнецкой котловины являются также перспективными объектами для проведения детальных палео- и петромагнитных исследований, чему имеется несколько предпосылок:

- магнитность пород, достаточная для проведения палео- и петромагнитных исследований;
- хорошая фиксация направления древнего поля в осадках;
- наличие в породах гематита как носителя характерного компонента намагниченности и соответственно индикатора эолового переноса.

3. На основании изучения одной только величины магнитной восприимчивости лессово-почвенных разрезов Сибири реконструировать изменения климата невозможно. Необходимо обязательно полный комплекс петромагнитных исследований, в первую очередь, для выяснения механизма фиксации климатического сигнала в этих породах, поскольку он имеет региональный характер.

4. Магнитные методы должны быть включены как обязательные в комплекс исследований по палеоклиматическим программам. Об этом свидетельствует как опыт зарубежных исследований, так и опыт работ на Байкале.

5. Основными объектами исследования лессовых отложений Сибири будут являться разрезы трех регионов: Кузнецкой котловины (продолжение изучения Бачатского разреза, разрезов по р. Томь, в районе Новокузнецка, археологических раскопов), Приобского стеного плато (стратиграфические разрезы по р. Оби в районе деревень Вяткино - Белово), Средняя Сибирь (разрезы в долине р. Енисей). Только сравнение палео- и петромагнитных характеристик этих регионов может дать основу для надежных палеоклиматических реконструкций.

Литература

- Архипов С.А., Волкова В.С., Зыкина В.С. и др. Природно-климатические изменения в Западной Сибири в первой трети будущего столетия // Геология и геофизика. - 1995. - Т. 36, N 8. - С. 51 - 71.
- Бахмутов В.Г. Тонкая структура геомагнитного поля по результатам исследования намагниченности озерно-ледниковых отложений: Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. - Киев, 1986. - 19 с.
- Винарский Я.С., Житков А.Н., Кравчинский А.Я. Автоматизированная система обработки палеомагнитных данных ОПАЛ // Алгоритмы и программы. - М., 1987. - 86 с.
- Дергачева М.И., Зыкина В.С. Органическое вещество ископаемых почв. - Новосибирск, 1988. - 127 с.
- Зудин А.Н., Николаев С.В., Галкина Л.И. и др. Обоснование стратиграфической схемы неогеновых и четвертичных отложений Кузнецкой котловины // Проблемы стратиграфии и палеогеографии плейстоцена Сибири. - Новосибирск, 1982. - С. 133 - 149.
- Зыкина В.С. Позднеплейстоценовые ископаемые почвы юга Средней Сибири (Приенисейская часть) // Палеоэкология и расселение древнего человека в Северной Азии и Америке. - Красноярск, 1992. - С. 102 - 106.
- Зыкина В.С., Волков И.А., Дергачева М.И. Верхнечетвертичные отложения и ископаемые почвы Новосибирского Приобья. - М., 1981. - 203 с.
- Кинг Дж.У., Пек Дж., Гангеми П. и др. Палеомагнитные и петромагнитные исследования осадков озера Байкал // Геология и геофизика. - 1993. - Т. 34, N 10/11. - С. 174 - 191.
- Нагата Т. Магнетизм горных пород. - М., 1965. - 346 с.
- Палеомагнитология. - Л., 1982. - 312 с.
- Пеньков А.В. Палеомагнетизм и геохронология антропогенных толщ Южного Таджикистана // Геохронология четвертичного периода. - М., 1980. - С. 152 - 158.
- Поспелова Г.А., Левковская Г.М. Отражение климатических изменений в магнитной восприимчивости осадочных пород // ДАН. - Т. 334, № 2. - С. 222 - 227.
- Поспелова Г.А. Палеомагнетизм плиоцен-плейстоценовых осадочных пород Приобского плато (облажение у с. Шелаболиха) // Методы и результаты палеомагнитного изучения осадочных формаций кайнозоя Западной Сибири. - Новосибирск, 1973. - С. 30 - 44.
- Поспелова Г.А. Палеомагнитные исследования и стратиграфия плиоцен-плейстоценовых толщ Приобского плато // Земная кора складчатых областей юга Сибири. - Новосибирск, 1971. - Ч. II, вып. 2. - С. 62 - 96.
- Поспелова Г.А. Тонкая временная структура геомагнитного поля в позднем кайнозое // Палеомагнетизм мезозоя и кайнозоя Сибири и Дальнего Востока. - Новосибирск, 1976. - С. 129 - 142.
- Результаты бурения первой скважины на озере Байкал в районе Бугульдейской перемычки // Геология и геофизика. - 1995. - Т. 36, N 2. - С. 3 - 32.
- Семенов В.В. Палеомагнетизм и стратиграфическая корреляция лессовых толщ Средней Азии и Центральных районов Европейской части СССР: Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. - М., 1990. - 21 с.
- Сигналы палеоклиматов верхнего плейстоцена в осадках озера Байкал. Коллектив авторов // Геология и геофизика. - В печати.
- Фаустов С.С., Большаков В.А., Вирина Е.И. и др. Методы магнетизма горных пород и палеомагнетизма в изучении плейстоцена // Палеогеография. - М., 1986. - Т. 3192.
- Beget J.E., Hawkins D.B. Influence of orbital parameters on Pleistocene loess deposition in Central Alaska // Nature. - 1989. - V. 337. - P. 151 - 153.
- Beget J.E., Stone D.B., Hawkins D.B. Paleoclimatic forcing of magnetic susceptibility variations in Alaskan loess during the late Quaternary // Geology. - 1990. - V. 18. - P. 40 - 43.
- Cande S., Kent D. New geomagnetic polarity time scale for Late Cretaceous and Cenozoic // J. Geoph. Res. - 1992. - V. 97. - P. 3917 - 3951.
- Chlakula J., Rutter N.W. and Evans M.E. A Late Quaternary loess - paleosol record at Kurtak, southern Siberia // Can. J. Earth Sci. - 1997. - V. 34. - P. 679 - 686.
- Enkin R.J. A computer program package for Analysis and presentation of Palaeomagnetic data. Pacific Geoscience Centre, Geological Survey of Canada. - 1994. - 16 p.
- Hailwood E.A. Magnetostratigraphy // Geol. Soc. - L., Sp. Rept., 1989. - V. 19. - 84 p.
- Hayward R.K. and Lowell T.V. Variations in loess accumulation rates in the mid-continent, United States, as reflected by magnetic susceptibility // Geology. - 1993. - 21. - P. 821 - 824.
- Heller F., Evans M.E. Loess magnetism // Review of Geophysics. - 1995. - 33. - P. 211 - 240.
- Heller F., Liu T.S. Magnetism of Chinese loess deposits // Geoph. J. R. Astron. Soc. - 1984. - V. 77. - P. 125 - 4141.
- Jelinek V. A high sensitive spinner magnetometer // Stud. Geophys. Geod. - 1966. - N 10. - P. 58 - 78.
- Jelinek V., Precision A.C. bridge set for measuring magnetic susceptibility and its anisotropy // Stud. Geophys. Geod. - 1973. - N 17. - P. 36 - 48.
- King J.W., Channel J.E.T. Sedimentary magnetism, environmental magnetism, and magnetostratigraphy // Rev. Geophys. Supplement, U.S. National Report to International Union of Geodesy and Geophysics 1987-1990: Contribution in Geomagnetism & Paleomagnetism. - 1991. - P. 358 - 370.
- Kirschvink J.L. The least-square line and plane and the analysis of Palaeomagnetic data // Geophys. J. R. Astron. Soc. - 1980. - V. 62. - P. 699 - 718.
- Kukla G., Heller F., Liu X.M. et al. Pleistocene climates in China dated by magnetic susceptibility // Geology. - 1988. - 16. - P. 811 - 814.

- Lazarenko A.A., Bolikhovskaya N.S. and Semenov V.V.** An attempt at a detailed stratigraphic subdivision of loess association of the Tashkent region // *Int. Geol. Rev.* - 1981. - 23. - P. 1335 - 1346.
- Maher B.A. and Thompson R.** Palaeoclimatic significance of the mineral magnetic record of the Chinese loess and paleosoils // *Quart. Res.* - 1992. - 37. - P. 155 - 170.
- Maruszczak H. and Nawrocki J.** Stratigraphic-palaeogeographic interpretation of the results of magnetic susceptibility investigations of loess at Niedelew (SE Poland) // *Ann. Univ. Mariae Curie Sklodowska.* - 1991. - 46. - P. 173 - 185.
- Nabel P.** The Brunhes-Matuyama boundary in Pleistocene sediments of Buenos Aires province, Argentina // *Quat. Int.* - 1993. - 17. - P. 79 - 85.
- Nawrocki J.** Magnetic Susceptibility of Polish loesses and loess-like sediments // *Geol. Zb. Geol. Carpathica.* - 1992. - 43. - P. 179 - 180.
- Peck J., King J.W., Colman S.M. et al.** A rock-magnetic record from Lake Baikal, Siberia: Evidence for Late Quaternary climate change // *Earth and Planetary Science Letters.* - 1994. - 122. - P. 221 - 238.
- Peck J.A., King J.W. and Kravchinsky V.A.** The sedimentary environmental magnetic record from lake Baikal: chronostratigraphic applications // *Baikal rift in the Cenozoic*, eds. V.D. Mats and D.R. Hutchinson. - Cambridge: Cambridge University Press, 1997. - P. 124 - 157.
- Peck J.A., King J.W., Colman S.M. et al.** An 84 Kyr Palaeomagnetic record from the sediments of Lake Baikal, Siberia // *Journal of Geophysical research.* - 1996. - V. 101, N. B5. - P. 11356 - 11385.
- Peng L. and King J.W.** A late Quaternary geomagnetic secular variation record from Lake Waiau, Hawaii, and the question of the Pacific nondipole low // *J. Geophys. Res.* - 1992. - 97. - P. 4407 - 4424.
- Petrova G.N. and Pospelova G.A.** Excursions of the magnetic field during the Brunhes chron // *Phys. Earth Planet. Inter.* - 1990. - 63. - P. 135 - 143.
- Pospelova G.A.** Excursions of the Brunhes chron as the base of magnetostratigraphical scale for the Quaternary (review of Soviet authors data) // *Geomagnetic Field in Quaternary*. Zentralinstitut für Physik der Erde AS DDR. - Potsdam, 1990.
- Robinson S.G.** The late Pleistocene palaeoclimatic record of North Atlantic deep-sea sediments revealed by mineral-magnetic measurements // *Phys. Earth Planet. Inter.* - 1986. - 42. - P. 22 - 47.
- Rolph T.C., Shaw J., Derdshire E. et al.** A detailed geomagnetic record from Chinese loess // *Phys. Earth Plan. Int.* - 1989. - V. 56. - P. 176 - 187.
- Roucco M.** A 3 Ma Palaeomagnetic record of coastal continental deposits in Argentina // *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* - 1989. - 72. - P. 105 - 113.
- Rousseau D.D. et al.** Historie du dernier cycle climatique enregistree de la sequence loessique d'Achenheim (Alsace, France), a partir, de la susceptibilitite magnetique, *C.R. Acad. Sci. Ser. II.* - 1994. - V. 319. - P. 551 - 558.
- Virina E.I., Udartsev V.P., Faustov S.S. et al.** Palaeomagnetic stratigraphy of loess sediments of the Precaucasus region // *Abstracts. VII All-Union Conference on the Quaternary: Methods of Research, Stratigraphy and Ecology.* - Tallinn, Estonia, 1990. - V. 1. - P. 120 - 121.
- Westgate J.A., Stemper B.A. and Pewe T.L.** A 3 m.y. record of Pliocene-Pleistocene loess in interior Alaska // *Geology.* - 1990. - 18. - P. 858 - 861.
- Williams D.F., Peck J., Karabanov E.B. et al.** Lake Baikal record of continental climatic response to orbital insolation during the past 5 million years // *Science.* - 1997. - V. 278. - P. 1114 - 1117.
- Yoshida M., Fujiwara Y., Khadim I.M. et al.** *Magnetic Approaches to Geological Sciences. Part III: Paleomagnetism and its Applications.* Geoscience Lab., GSP and JIGA. - Islamabad, Pakistan, 1994. - 177 p.
- Zheng H., An Z.S., Yu L. et al.** New contributions to Chinese Plio-Pleistocene magnetostratigraphy // *Phys. Earth Plan. Int.* - 1992. - V. 70. - P. 146 - 153.
- Zheng H., Oldfield F., Yu L. et al.** The magnetic properties of particle-sized samples from the Luo Chuan loess section: Evidence for pedogenesis // *Phys. Earth Planet. Inter.* - 1991. - 68. - P. 250 - 258.
- Zijderveld J.D.A.** A.C. demagnetization of rocks: analysis of results // *Methods in paleomagnetism*. Eds. Collinson D.W., Creer K.M., and Runkorn S. Elsevier. - Amsterdam, 1967. - P. 254 - 286.