

СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ИНСТИТУТ АРХЕОЛОГИИ И ЭТНОГРАФИИ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

АРХЕОЛОГИЯ, ЭТНОГРАФИЯ И АНТРОПОЛОГИЯ ЕВРАЗИИ

Выходит на русском и английском языках

Номер 3 (7) 2001

СОДЕРЖАНИЕ

ПАЛЕОЭКОЛОГИЯ. КАМЕННЫЙ ВЕК

Матасова Г.Г., Казанский А.Ю., Зыкина В.С., Чиркин К.С. Реконструкция древней природной среды и палеоклимата магнитными методами на археологических памятниках Средней и Западной Сибири	2
Наурзбаев М.М., Сидорова О.В., Ваганов Е.А. История климата позднего голоцена на востоке Таймыра по данным сверхдлительной древесно-кольцевой хронологии	17
Васильев С.А., Каспаров А.К., Свеженцев Ю.С. Фаунистические остатки и реконструкция характера охоты палеолитического человека на Верхнем Енисее: по материалам многослойных стоянок в районе Майнинской ГЭС	26
Васильевский Р.С. Генезис и взаимодействие культур Северной Пасифики	31
Чхве Джонпхиль. Новый взгляд на неолит Кореи	39

ДИСКУССИЯ

Проблема перехода от среднего к верхнему палеолиту

Отт М., Козловский Я.К. Переход от среднего к верхнему палеолиту в Северной Евразии	51
Вольпов М.Х. Комментарии к статье М. Отта, Я.К. Козловского	63
Жобер Ж. Комментарии к статье М. Отта, Я.К. Козловского	68
Деревянко А.П. Переход от среднего к верхнему палеолиту на Алтае	70

ЭПОХА ПАЛЕОМЕТАЛЛА

Молодин В.И., Парцингер Г., Гаркуша Ю.Н., Шнеевайс Й., Бекер Х., Фассбиндер Й., Чемякина М.А., Гришин А.Е., Новикова О.И., Ефремова Н.С., Манштейн А.К., Дядьков П.Г., Васильев С.К., Мыльникова Л.Н., Балков Е.В. Археолого-геофизические исследования городища переходного от бронзы к железу времени Чича-1 в Барабинской лесостепи. Первые результаты Российско-Германской экспедиции	104
Ларичев В.Е. Время в образах искусства скифо-сибирского звериного стиля: календарно-астрономический подтекст сцены противостояния льва и семейства кабанов фантастического обличья	128

ЭТНОГРАФИЯ

Бауло А.В., Маршак Б.И. Серебряный ритон из хантыйского святилища	133
---	-----

АНТРОПОЛОГИЯ

Поздняков Д.В. Формирование древнетюркского населения Горного Алтая по данным антропологии	142
--	-----

ПЕРСОНАЛИИ

Яков Абрамович Шер	155
--------------------	-----

НОВЫЕ КНИГИ	157
-------------	-----

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	160
-------------------	-----

УДК 550.384:561

Г.Г. Матасова¹, А.Ю. Казанский¹, В.С. Зыкина¹, К.С. Чиркин²

¹Институт геологии ОИГГМ СО РАН
пр. Академика Коптюга, 3, Новосибирск, 630090, Россия
E-mail: kaz@uiggm.nsc.ru

²Новосибирский государственный университет
ул. Пирогова, 2, Новосибирск, 630090, Россия

РЕКОНСТРУКЦИЯ ДРЕВНЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ И ПАЛЕОКЛИМАТА МАГНИТНЫМИ МЕТОДАМИ НА АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКАХ СРЕДНЕЙ И ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Введение

В последние годы магнитная восприимчивость осадочных отложений и особенно лессово-почвенных разрезов широко используется для реконструкции палеоклимата [Kukla et al., 1990; Heller et al., 1991; Begét, Stone, Hawkins, 1990; Maher, Thompson, 1991; Liu et al., 1993; Heller, Evans, 1995; Forster et al., 1996; Dearing, Livingstone, Zhou, 1996; Chlachula, Rutter, Evans, 1997; Chlachula, Evans, Rutter, 1998; Казанский и др., 1997, 1998; Матасова, Казанский, Зыкина, 2000]. К неоплейстоценовым осадочным формациям субаэрального генезиса часто приурочены археологические объекты. Исследование магнитных свойств лессово-почвенных отложений позволяет реконструировать палеоклимат. Большинство работ посвящено изучению лессов Китая [Kukla et al., 1990; Heller et al., 1991; Maher, Thompson, 1991, 1992; Evans, Ding, Rutter, 1996; и др.]. “Китайская” модель фиксации палеоклиматического сигнала в магнитных свойствах лессово-почвенных отложений основана на обогащении гумусовых горизонтов ископаемых почв тонкозернистым магнетитом и маггемитом, которое обуславливает повышенные значения низкочастотной магнитной восприимчивости (X_{LF}) в почвах по сравнению с лессами [Mullins, 1977; Fassbinder, Stanjek, Vali, 1990; Evans, Heller, 1994; Singer et al., 1996]. Подобные разрезы на Аляске [Begét, Hawkins, 1989; Begét, Stone, Hawkins, 1990], в Центральной Америке [Hayward, Lowell, 1993], в Сибири [Chlachula, Rutter, Evans, 1997; Chlachula, Evans, Rutter, 1998; Матасова, Казанский, Зыкина, 2000] демонстрируют противоположную зако-

номерность изменения магнитных свойств, т.е. повышенные значения X_{LF} в лессовых толщах и уменьшение магнитной восприимчивости в гумусовых горизонтах ископаемых почв (“аляскинская” модель). Предполагается, что описанная картина распределения X_{LF} здесь обусловлена вариациями скорости транспортировки и осаждения лессового материала в результате изменения интенсивности ветра в различные климатические периоды. Однако результаты детальных и систематических исследований в названных регионах практически отсутствуют или получены по единичным разрезам.

Для более полного понимания процессов, происходящих при формировании лессово-почвенных отложений в различных регионах мира, и их связи с природными условиями и климатом, требуются детальные петромагнитные исследования, позволяющие восстановить палеоклимат в регионе и реконструировать природную среду – среду обитания древнего человека.

Четвертичные субаэральные отложения широко распространены в Сибири между 50 – 59° с.ш. и 66 – 97° в.д. [Волков, 1983; Volkov, Zykina, 1984]. Мощность неоплейстоценовых лессовых толщ сильно варьирует, достигая более сотни метров. Различают не измененные вторичными процессами лессовидные отложения и переработанные постседиментационными пролювиально-делювиальными процессами [Волков, Зыкина, 1982; Зудин и др., 1982; Дроздов и др., 1990]. Первые работы по изучению климатических колебаний и попытки реконструкции природных условий по магнитным свойствам неоплейстоценовых лессов и палеопочв Сибири сделаны на примере разрезов Бачатский

[Казанский и др., 1997; 1998] и Куртак [Chlachula, Rutter, Evans, 1997; Chlachula, Evans, Rutter, 1998; Матасова, Казанский, Зыкина, 2000]. Сравнительный анализ зависимости только одного параметра – магнитной восприимчивости – от литологии разрезов показывает сложность и неоднозначность интерпретации палеоклиматических записей в лессово-почвенных формациях Сибири, что не позволяет распространять закономерности, полученные в одном разрезе, на всю территорию развития лессовых отложений Сибири.

Целью данной работы является более детальное изучение петромагнетизма лессов и почв разрезов Куртак и Бачатский для установления степени их сходства и различия, а также выяснения, как происходила фиксация изменений палеоклимата в магнитных свойствах сибирских субэразальных отложений позднего неоплейстоцена.

Краткая геологическая характеристика изученных объектов

Разрез Бачатский расположен в западной части Кузнецкой котловины ($54,5^{\circ}$ с.ш., $87,1^{\circ}$ в.д.; рис. 1). Образцы для петромагнитных исследований были взяты из верхней части борта угледобывающего карьера, где мощность отложений позднего неоплейстоцена более 7 м. Поздненеоплейстоценовые отложения в разрезе представлены современной почвой, двумя педокомплексами (ПК) – искитимским (is) и бердским (br) и двумя лессами между ними – баганско-ельцовским (bg-el) и тулинским (tl). Эти стратиграфические горизонты широко распространены на территории Сибири в качестве региональных [Зыкина, 1992] и хорошо прослеживаются благодаря их характерным морфотипическим признакам.

Искитимский ПК в разрезе Бачатский представлен двумя черноземовидными почвами, в профиле каждой из которых присутствуют гумусовый (A1) и карбонатно-иллювиальный (BCk) горизонты. Педокомплекс сформировался во время каргинского интерстадиала, и его возраст по аналогии с коррелятным ему в Новосибирском Приобье педокомплексом оценивается по данным радиоуглеродного датирования в 24 – 35 тыс. лет [Зыкина, Волков, Дергачева, 1981]. Он соответствует 3-й стадии океанической изотопно-кислородной шкалы [Shackleton, Opdyke, 1973]. Бердский ПК в данном разрезе представлен нижней бердской почвой полигенетического строения (br_1), состоящей из гумусового (A1), иллювиального (B), карбонатно-иллювиального (Bk) горизонтов. Почва сформировалась во время казанцевского межледникового, сопоставляемого с подстадией 5^е изотопно-кислородной шкалы, а по данным термолюминесцентного датирования – 120 – 130 тыс. л.н. [Архипов и др., 1995, 1997; Зыкина, 1999; Зыкин, Зыкина, Орлова, 2000]. Почвообразование в периоды межледниковий сопровождалось интенсивным гумусона-

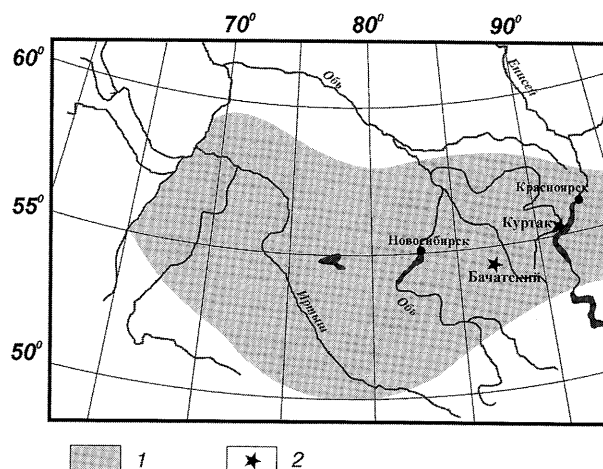


Рис. 1. Схема распространения лессовых отложений Сибири и местоположение разрезов.

1 – субэразальные отложения, 2 – местоположение разрезов.

коплением, возможным лишь в условиях теплого и достаточно влажного климата при существенном поступлении биомассы. Почвы Бачатского разреза оглинены (илистой фракции до 35%), содержат минимальное количество мелкого песка (до 5%) и максимальное – крупнопылеватой фракции (до 45%). Чередующиеся с педокомплексами лессовые толщи представляют собой лессовидные суглинки серого, серо-желтого и палевого цвета с карбонатными новообразованиями. В средней части горизонта баганско-ельцовского лесса прослеживается небольшой по мощности (до 20 см) песчаный слой, а в нижней части горизонта тулинского лесса – линза переслаивающегося крупно- и среднезернистого песка (рис. 2).

Археологический Куртакский район находится в северо-восточной части Северо-Минусинской впадины в верхней части нетеррасированного пологого левобережного склона долины р. Енисей ($55,1^{\circ}$ с.ш., $91,4^{\circ}$ в.д.; см. рис. 1). Северо-Минусинская впадина расположена почти в центре Азиатского континента, где в зимнее время формируется мощная область высокого давления, что делает климат сухим и резко континентальным. Преобладающее направление ветров юго-западное [Москвитин, 1940].

Отложения верхнего неоплейстоцена имеют мощность 21 м, включают два педокомплекса – куртакский (kr) и сухоложский (sh), каменоложскую почву (km), а также две лессовые толщи: трифоновскую (tr) и чанинскую (chn) (рис. 3). Куртакский ПК соответствует искитимскому ПК Бачатского разреза, имеет возраст по ^{14}C от 22 – 30 до 42 тыс. лет [Чеха, Лаухин, 1992; Дроздов и др., 2000]. Это небольшой мощности черноземовидные и серые лесные почвы со слабо дифференцированными профилями (горизонты A и BC), сформировавшиеся в степной и лесостепной зонах в условиях прохладного и аридного климата [Зыкина,

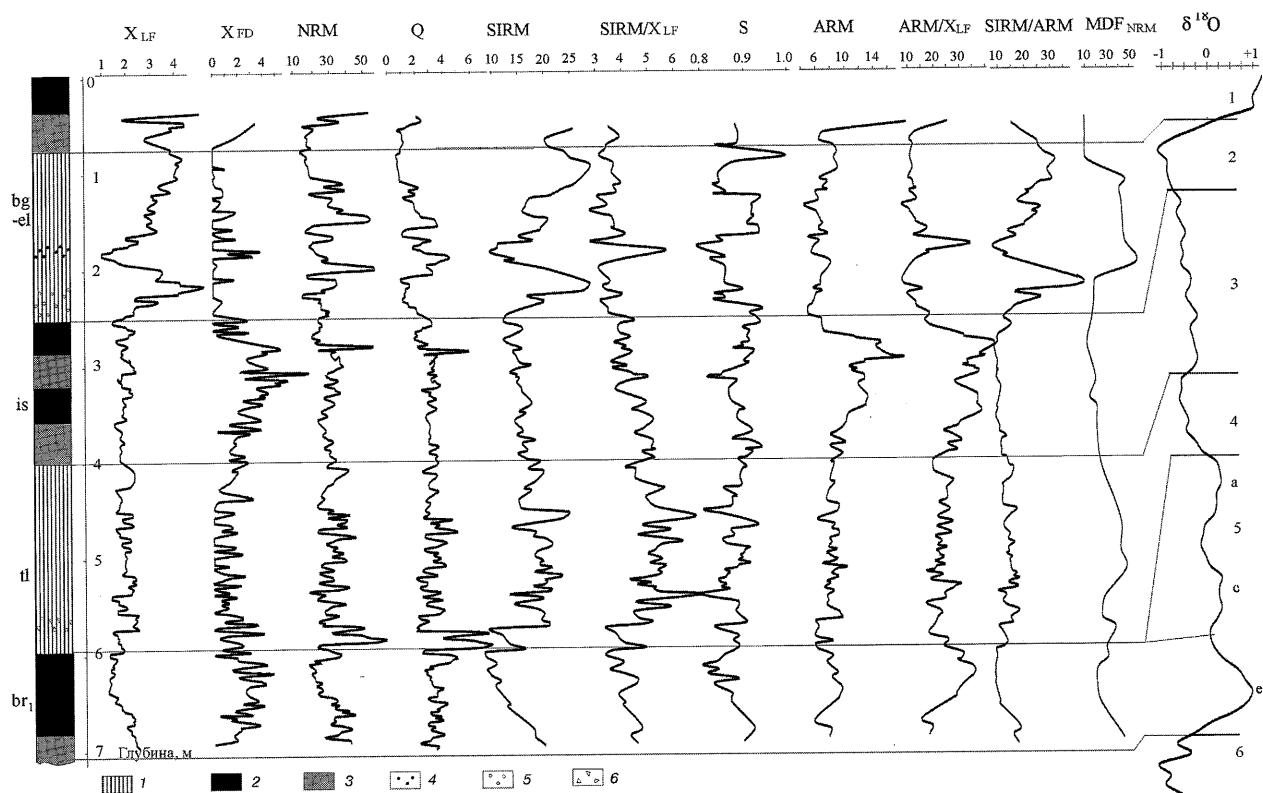


Рис. 2. Литологическая колонка и петромагнитные характеристики лессов и ископаемых почв разреза Бачатский.

1 – лессовые отложения; 2 – гумусовые горизонты ПК; 3 – иллювиальные горизонты ПК; 4 – опесчаненные прослои; 5 – оглеенные горизонты; 6 – грубообломочные включения, щебень.

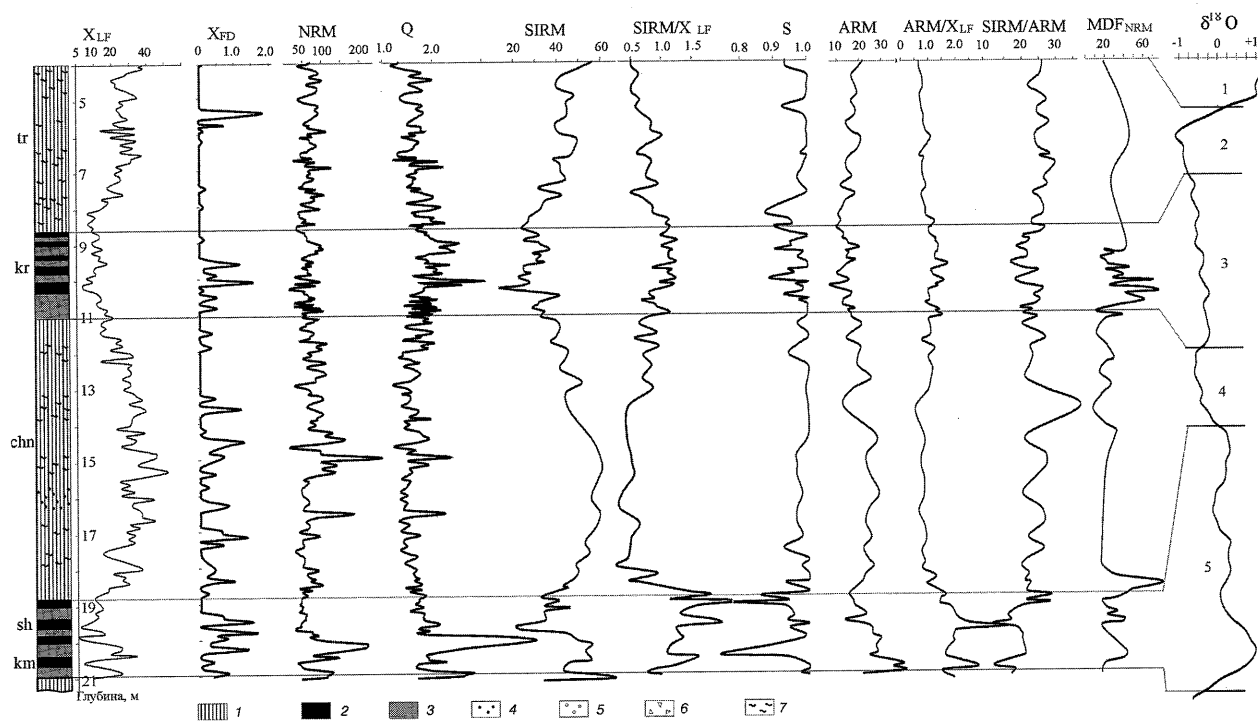


Рис. 3. Литологическая колонка и петромагнитные характеристики лессов и ископаемых почв разреза Куртак.

1 – 6 – см. рис. 2; 7 – вторичные железистые и марганцевые образования.

1992, 1996]. Сухоложский ПК, представленный тремя почвами, образовался в кратковременные потепления раннезырянского времени. Нижняя сухоложская почва соответствует верхней почве бердского ПК, которая из-за перерыва в осадконакоплении отсутствует в Бачатском разрезе [Зыкина, 1996]. Педокомплекс сопоставляется с подстадиями 5^a и 5^c изотопно-кислородной шкалы. Почвы сходны с куртацкими по строению профилей, проявлению основных почвообразовательных процессов и длительности периодов почвообразования. Характер строения почв сухоложского педокомплекса свидетельствует об усилении аридизации и похолодания климата в позднем неоплейстоцене. Каменноложская почва соответствует нижней почве бердского ПК Бачатского разреза и датирована термолюминесцентным методом 140 ± 14 и 130 ± 10 тыс. л.н. [Архипов и др., 1992]. Она имеет полигенетичное строение. В первую половину межледниковья формировались более гумидные, по сравнению с современными почвами, и теплые варианты черноземов оглиненных. Вторая половина казанцевского времени представлена черноземами с отчетливым карбонатно-иллювиальным горизонтом, что позволяет говорить о большей аридизации климата в это время [Зыкина, 1992]. Почвы Куртацкого разреза, в отличие от одновозрастных бачатских, содержат большее количество мелкого песка (до 25%), максимальное – крупной пыли (до 48%) и существенно меньшее – илистой фракции (до 22%).

О субэаральном генезисе позднечетвертичных отложений обоих разрезов свидетельствует покровное залегание их на всех элементах рельефа, макропористость, преобладание пылеватого материала (фракции крупной пыли), хорошо сохранившаяся вертикальная столбчатая отдельность. Горизонты лессовых отложений позднего неоплейстоцена в разрезе Куртак существенно опесчанены по сравнению с одновозрастными горизонтами разреза Бачатский. Содержание песчаной фракции лессовидных суглинков Куртака почти в 2 – 3 раза выше, чем в Бачатском карьере. Это объясняется тем, что области дефляции в Северо-Минусинской впадине находились в непосредственной близости к областям аккумуляции эолового материала, а также геоморфологическим положением разреза. Если на междуречье, где расположен Бачатский разрез, лессовые горизонты более типичного субэарального облика, то в разрезе Куртак эти же отложения имеют неясную слоистость. Поскольку Куртак находится на пологом склоне, то, скорее всего, в формировании покрова лессовых отложений принимали участие процессы делювиально-пролювиальные, сноса и плоскостного смыва. Отмечается большая оглиненность бачатских лессов (содержание фракции <0,001 в 3 – 5 раз больше, чем в Куртаке), существенно выше содержание гидроокислов алюминия (на 5 – 6%). В целом же повышенное содержание окислов железа и алюминия и низкое закиси железа и серы свиде-

тельствуют об окислительной обстановке формирования лессовидных суглинков.

В результате вытяжки магнитной фракции установлены средние содержания магнитных минералов в лессах Бачатского разреза ~0,22% (bg-cl), 0,07% (tl), в палеопочвах ~0,05% (is), 0,015% (br₁); в лессах Куртака ~1% (tr), 1,2% (chn); в палеопочвах ~0,3% (kr), 0,35% (sh). Очевидно, что количество магнитных минералов в осадочных отложениях Куртака в 5 – 20 раз выше, чем в бачатских, причем в куртацких лессах и ископаемых почвах содержание магнитной фракции не зависит от возраста пород, а в Бачатском разрезе в более молодых лессах и палеопочвах количество магнитных минералов намного (примерно в 3 раза) выше, чем в древних отложениях.

Методика исследований и аппаратура

Образцы были отобраны из свежей, ненарушенной вертикальной стенки разрезов в виде ориентированных блоков размером приблизительно $10 \times 10 \times 10$ см. В лабораторных условиях каждый блок распилили на четыре – шесть стандартных кубиков ($2 \times 2 \times 2$ см). Всего было исследовано более 320 образцов из разреза Бачатский и более 630 из разреза Куртак.

Лабораторные измерения низкочастотной (0,47 кГц) и высокочастотной (4,7 кГц) магнитной восприимчивости были выполнены на приборе Bartington MS-2. Анизотропия магнитной восприимчивости и поведение магнитной восприимчивости в зависимости от температуры изучались на аппаратуре Kappabridge KLY-3S с приставкой CS-3 (Agico Ltd., Czech Republic). Измерения остаточной намагниченности образцов проводились на спин-магнитометрах JR-4, JR-5. Остаточная намагниченность насыщения создавалась в постоянном магнитном поле до 1,4 Тл с помощью электромагнита 5-Р (Опытный завод СО РАН, г. Новосибирск). Идеальная остаточная намагниченность приобреталась образцами в переменном магнитном поле порядка 100 мТл в присутствии постоянного магнитного поля Земли на установке переменного поля конструкции ИФЗ РАН (г. Москва). Эта же установка, но с компенсированным земным магнитным полем, применялась для разрушения NRM, SIRM, ARM переменным магнитным полем. Для этих же целей использовалась размагничивающая установка Schonstedt GSD-1 (США). Температурное поведение SIRM изучалось на термомагнитометре конструкции ИФЗ РАН (г. Москва).

Результаты исследований и их обсуждение

Все измеренные параметры, характеризующие магнитные свойства лессов и палеопочв, нормированы

к плотности образцов для корректного сравнительного анализа и представлены в следующих единицах: низкочастотная магнитная восприимчивость, X_{LF} [$\times 10^{-7}$ м³·кг⁻¹]; частотно-зависимая магнитная восприимчивость, $X_{FD} = (X_{LF} - X_{HF})/X_{LF}$ 100, % (X_{HF} – высокочастотная магнитная восприимчивость); естественная остаточная намагниченность, NRM [$\times 10^{-6}$ Ам²·кг⁻¹]; идеальная остаточная намагниченность, ARM [$\times 10^{-5}$ Ам²·кг⁻¹]; остаточная намагниченность насыщения, SIRM [$\times 10^{-3}$ Ам²·кг⁻¹]; изотермическая остаточная намагниченность, IRM [$\times 10^{-3}$ Ам²·кг⁻¹]; анизотропия магнитной восприимчивости (AMS).

Магнитная восприимчивость

X_{LF} , измеренная на низкой частоте поля (0,47 кГц), – наиболее распространенный параметр, характеризующий магнитные свойства пород. Он представляет собой коэффициент пропорциональности между намагниченностью образца и величиной магнитного поля в этом образце. Магнитная восприимчивость горных пород зависит от состава и концентрации магнитных минералов, от внутренних напряжений в кристаллах, от размеров, формы и дефектности магнитных зерен (см., напр.: [Печерский, 1985]).

Вариации X_{LF} в разрезе Бачатский не обнаруживают различия магнитных свойств лессов и ископаемых почв, но достаточно четко отражают неоднородности и включения внутри лессовых толщ (см. рис. 2). Повышенными значениями магнитной восприимчивости отмечены оглеенные горизонты, пониженными – опесчаненные и грубообломочные прослои в лессовидных суглинках. Самый молодой баганско-ельцовский лесс характеризуется более высокими величинами X_{LF} по сравнению с тулинским лессом, магнитная восприимчивость которого практически не отличается от X_{LF} ископаемых почв искитимского педокомплекса. X_{LF} бердской нижней почвы несколько меньше и имеет самые низкие значения в верхне-неоплейстоценовых субэразовых отложениях Бачатского разреза. В целом, наблюдается явный тренд уменьшения магнитной восприимчивости от молодых осадочных отложений к древним.

В отличие от лессов и палеопочв Бачатского разреза аналогичные горизонты Куртака демонстрируют четкую зависимость магнитной восприимчивости от вещественного состава разреза: пониженные значения X_{LF} характерны для ископаемых почв, повышенные – для лессовых горизонтов (см. рис. 3). В среднем X_{LF} лессов в 2,5 – 3 раза выше, чем в гумусовых горизонтах ископаемых почв. Все палеопочвы Куртака имеют приблизительно одинаковую магнитную восприимчивость, которая выше, чем у бачатских почв, минимум в 2 раза. Еще большее различие наблюдается в магнитных свойствах разновозрастных

лессовых горизонтов двух изученных разрезов: лессы Куртака в средней части горизонтов характеризуются значениями X_{LF} в 4,5 – 5 раз выше таковых в Бачатском разрезе. Наблюдается постепенное увеличение X_{LF} внутри лессового горизонта до максимальной величины, затем такое же постепенное уменьшение X_{LF} до значений, характерных для ископаемых почв. Наиболее магнитные участки в средней части трифоновского и чанинского лессовых горизонтов по величине X_{LF} можно отнести к среднемагнитным породам.

Результаты изучения X_{LF} пород двух представленных разрезов находятся в полном соответствии с количественным содержанием магнитных фракций в лессовых и палеопочвенных горизонтах. Это позволяет сделать вывод о том, что магнитная восприимчивость лессов и почв определяется главным образом концентрацией ферромагнетиков.

Частотно-зависимая магнитная восприимчивость

Частотно-зависимая магнитная восприимчивость X_{FD} используется для характеристики вклада однодоменных магнитных зерен очень малого размера (0,016 – 0,03 мкм), т.н. суперпарамагнитных зерен (SP) в общую величину магнитной восприимчивости [Maher, 1988, 1998]. Чем выше параметр X_{FD} , тем выше содержание SP-зерен в образце.

В образцах лессов и палеопочв разреза Куртак X_{FD} имеет значения, колеблющиеся в диапазоне от нуля до 2%, и не различается для лессов и почв.

В разрезе Бачатский характер распределения X_{FD} совершенно другой: повышенными значениями X_{FD} (до 7,5%) отмечены гумусовые горизонты ископаемых почв, в то время как в лессовых горизонтах этот параметр меняется от нуля до 2%.

Таким образом, лессы двух изученных разрезов имеют одинаковое значение X_{FD} , предполагающее относительно низкое количество суперпарамагнитных зерен в лессовых толщах Куртака и Бачатского, а педокомплексы разрезов характеризуются различным значением X_{FD} (в Бачатском в среднем в 2 – 3 раза выше, чем в Куртаке), свидетельствующем о разной степени развития почв, интенсивности процессов педогенеза и различной роли постседиментационных процессов.

Магнитная минералогия

Термомагнитное поведение низкочастотной восприимчивости. Зависимость поведения магнитной восприимчивости от температуры при цикле “нагрев – охлаждение” в условиях ограниченного доступа кислорода характеризует состав магнитной фракции образцов, определяющий магнитные свойства осадков.

Идентификация ферромагнитных минералов при нагреве основана на том факте, что повышение температуры приводит к разупорядочиванию ориентации магнитных моментов в ферромагнитном материале вследствие увеличения энергии теплового движения и к спаду намагниченности и потере магнитных свойств до нуля в точке Кюри (см., напр.: [O'Reilly, 1984; Yoshida et al., 1994]).

Терромагнитное поведение X_{LF} лессовых и почвенных образцов разреза Бачатский в основном одинаковое (рис. 4, а): небольшой пик при нагреве в диапазоне 200 – 250 °С и резкое падение значений до нуля в районе 570 – 580 °С; в процессе охлаждения до комнатной температуры при 580 °С начинается резкий рост величины X_{LF} , которая в конце цикла превышает первоначальную в 5 – 8 раз. Описанный характер изменения магнитной восприимчивости говорит о том, что основным минералом – носителем магнитных свойств лессов и почв разреза Бачатский является магнетит. Поведение X_{LF} при охлаждении позволяет предположить возникновение новой сильной магнитной фазы в результате нагрева, что может объясняться: 1) частичным переходом маггемита в магнетит; 2) отжигом органического вещества; 3) превращением парамагнитных глинистых минералов (железосодержащих силикатов, гидроокислов железа) в ферромагнитные, в частности в магнетит [Осипов, 1978; Yoshida et al., 1994; Большаков, 1996; Jordanova et al., 1997]. Наличие новообразованного магнетита подтверждается и изменением цвета образцов, который из серо-желтого, бурого и серо-коричневого превращается в черный. Небольшой пик на кривой нагрева в районе 200 – 250 °С, скорее всего, соответствует фазовому переходу нестабильного маггемита в гематит, при этом небольшое увеличение значения X_{LF} может объясняться тем, что в условиях ограниченного доступа кислорода малая часть маггемита превращается в магнетит. Различие в терромагнитном поведении X_{LF} лессовых и почвенных образцов Бачатского заключается в существовании в гумусовых образцах дополнительного пика в районе 450 – 500 °С, который, вероятно, обусловлен эффектом Гопкинсона [Нагата, 1965].

Исследования терромагнитного поведения X_{LF} лессов и палеопочв разреза Куртак выявили совершенно иную картину (см. рис. 4, а). Основное отличие от пород Бачатского разреза заключается в противоположном поведении магнитной восприимчивости лессов при нагреве и охлаждении: кривая изменения X_{LF} в процессе остывания образца идет ниже, чем при нагреве. Причем характер кривой нагрева для лессовых и почвенных образцов одинаков, с двумя пиками в районе 250 и 450 – 550 °С, и аналогичен характеру подобной кривой для ископаемых почв Бачатского разреза. В процессе остывания палеопочвы Куртака проявляют те же особенности, что и в Бачатском разрезе, с той лишь

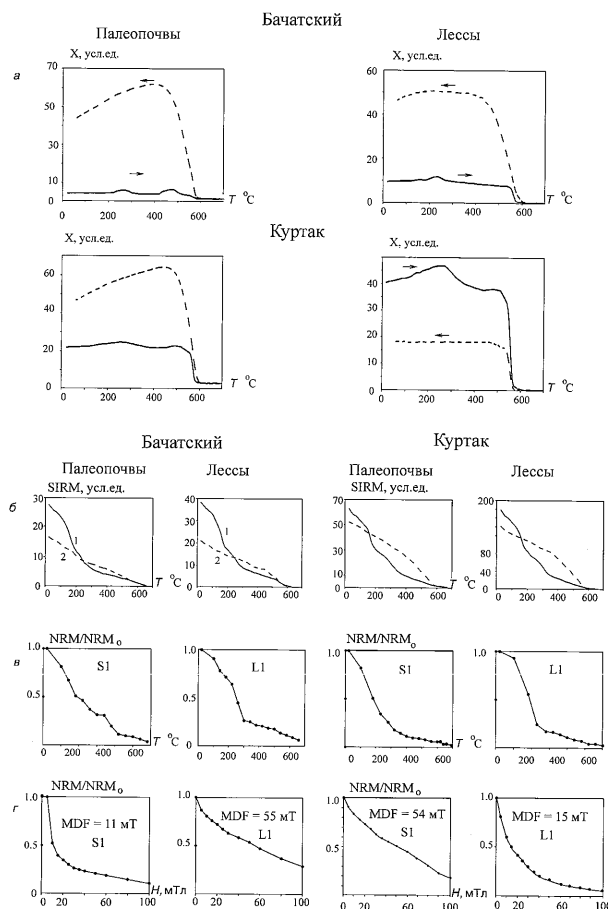


Рис. 4. Данные магнитоминаралогических исследований.

а – зависимость магнитной восприимчивости лессов и почв от температуры при нагреве и охлаждении; б – поведение остаточной намагниченности насыщения при нагреве до 700 °С (1 – первый нагрев, 2 – второй); в – терморазмагничивание естественной остаточной намагниченности; г – размагничивание NRM переменным полем.

разницей, что после цикла “нагрев – остывание” в них образуется значительно меньшее количество нового магнитного минерала (судя по температуре Кюри и изменению цвета – магнетита), чем в ископаемых почвах Бачатского, поскольку величина X_{LF} превышает первоначальную в 2,5 – 3 раза. Таким образом, палеопочвы Куртака либо содержат меньшее количество органического вещества, либо имеют другой состав глинистых минералов. Терромагнитное поведение лессовых образцов свидетельствует о потере магнитных свойств в точке Кюри магнетита без образования новых магнитных фаз. Это позволяет предположить, что вклад других ферромагнитных и парамагнитных минералов в магнитные свойства лессов Куртака несущественен и различия в значениях X_{LF} в лессовых толщах обусловлены разным количеством магнетита.

Терромагнитное поведение остаточной намагниченности насыщения. Для определения состава магнитной фракции по деблокирующим температурам

используется термомагнитный анализ остаточной намагниченности насыщения (SIRM), использующий перегибы кривой SIRM в процессе разрушения остаточной намагниченности насыщения при нагреве до температуры 700 °С. Обычно кривую SIRM(T) снимают дважды, так как характерные изменения SIRM при втором нагреве также являются диагностическими признаками магнитных минералов [Бродская, 1977].

В бачатских образцах при первом нагреве перегибы кривой SIRM(T) отмечены для лессов при 150, 350, 580 °С; для почв – 250 – 300, 450 – 500, 580 °С, при втором нагреве: для лессов – при 350, 580 °С, для почв – при тех же, что и в первом случае (рис. 4, б). Присутствие точки Кюри магнетита на всех кривых первого и второго нагрева подтверждает результаты температурных исследований X_{LF} , характеризующие магнетит как основной носитель магнитных свойств лессов и палеопочв Бачатского разреза. Деблокирующие температуры в диапазоне 300 – 350 °С, возможно, соответствуют температурам перехода маггемита в гематит. Остаточная часть SIRM в лессовых и почвенных образцах после первого прогрева выше 600 °С свидетельствует о наличии гематита.

Характер кривых размагничивания лессов и почв Куртака и деблокирующие температуры при первом и втором нагревах практически совпадают. Точки перегиба на первой кривой при 200, 350, 580 °С, на второй – 350, 580 °С. Как и в Бачатском разрезе, основным носителем намагниченности в лессах и почвах Куртака является магнетит, присутствует маггемит; гематит по кривым SIRM(T) не установлен. Точки перегиба кривых при первом нагреве в области 150 – 200 °С, возможно, обусловлены “термомагнитным эффектом” [Большаков, 1996], имеющим широкое распространение в породах, содержащих совмещенные магнетит-маггемитовые зерна. Как правило, при повторном прогреве в результате снятия напряжений этот эффект исчезает, и его отсутствие на повторной кривой является косвенным фактором наличия магнетит-маггемитовых зерен в исходном материале.

Естественная остаточная намагниченность и фактор Q

Магнитные свойства пород характеризуются и таким параметром, как естественная остаточная намагниченность (NRM), по величине которой, в совокупности с X_{LF} , горные породы подразделяются на слабо-, средне- и сильномагнитные. В петромагнетизме величина естественной остаточной намагниченности используется также для вычисления фактора Кенигсбергера (Q), который определяет соотношение NRM и индуктивной остаточной намагниченности. Фактор Q дает первичные представления о природе NRM. Значения $Q > 1$, как правило, не характерны для осадочных по-

род и могут свидетельствовать об их химических преобразованиях. Устойчивость NRM к различным физическим воздействиям определяется в результате магнитных чисток (разрушение NRM ступенчатым нагреванием образцов до 700 °С в специальной экранированной печи и размагничивание переменным магнитным полем) и дает информацию о компонентном составе естественной остаточной намагниченности, о процессах, которые претерпевают горные породы в течение своей “жизни”.

Изменения NRM и Q в лессах и почвах разреза Бачатский, подобно X_{LF} , не демонстрируют четких закономерностей и определяются неоднородностью (различной степенью опесчаненности, оглеенности, выветрелости) лессовых горизонтов. Высокие значения Q (до 7) могут свидетельствовать о существенных химических изменениях бачатских лессово-почвенных отложений.

В лессах и почвах разреза Куртака величина NRM, как и в Бачатском разрезе, не зависит от литологии, но фактор Q имеет повышенные значения в палеопочвенных горизонтах и пониженные – в лессовых толщах. Значения $Q < 1$ характерны, в целом, для лессов. Значения $Q > 1$ в педокомплексах свидетельствуют о химических процессах, изменяющих первоначальный состав осадков. Слабая корреляционная связь между фактором Q и магнитной восприимчивостью ($R = -0,55$) для лессово-почвенных отложений Куртака говорит о том, что химические процессы не являются определяющими в происхождении магнитных свойств лессов и почв Куртака. Косвенным подтверждением различного вклада химической намагниченности в детритную NRM служат результаты термоочистки лессов и ископаемых почв (рис. 4, в). NRM палеопочв Куртака более устойчива к нагревам, чем NRM лессов, так как основная ее часть (до 75 – 80%) в лессовых образцах разрушается при температурах 200 – 230 °С, в гумусовых – при 280 – 300 °С. В Бачатском разрезе температурный диапазон разрушения основной части NRM несколько шире: меньше 25% естественной остаточной намагниченности остается после прогрева до 300 – 340 °С и выше, что подтверждает существенный вклад более стабильной, по сравнению с седиментационной, химической намагниченности и свидетельствует о большей химической измененности лессов и почв этого разреза.

Гораздо более значительное различие магнитных свойств лессов и почв двух изученных разрезов наблюдается в процессе размагничивания NRM переменным магнитным полем (рис. 4, г). Этот вид размагничивания определяется магнитной жесткостью минералов – носителей намагниченности, которая зависит от типа минерала, размеров и степени дефектности магнитных зерен и практически не связана с концентрацией ферромагнетиков. Если лессовые образцы из Куртака

магнитно нестабильны и быстро теряют остаточную намагниченность при воздействии переменного поля (до 95% после размагничивания полем в 100 мТл), то гумусовые размагничиваются медленно, сохраняя ~20 – 25% от первоначального значения NRM к концу размагничивания (максимальное значение в 100 мТл обусловлено возможностями аппаратуры).

Значение MDF_{NRM} , при котором остается 50% начальной NRM, в лессовых образцах Куртака варьирует в диапазоне 5 – 20 мТл, а в гумусовых – от 40 до 60 мТл. Противоположная зависимость имеет место при размагничивании лессов и палеопочв разреза Бачатский: при тех же диапазонах высокие значения MDF_{NRM} характерны для лессовых образцов, а низкие – для почвенных.

Искусственные виды намагниченности

Остаточная намагниченность насыщения (SIRM). Остаточная намагниченность ферромагнитного материала в поле магнитного насыщения является параметром, зависящим от состава, концентрации, размеров и формы магнитных зерен. Отношение $SIRM/X_{LF}$ служит для оценки преобладающих размеров магнитных зерен: его высокие значения характерны для мелких (однодоменных) магнитных зерен, низкие – для крупных (мультидоменных) [Печерский, 1985; Thompson, Oldfield, 1986]. Поскольку в состав горных пород могут входить минералы, обладающие высокой магнитной жесткостью, требующие для насыщения полей высокой напряженности, то для получения SIRM используются максимальные поля, исходя из возможностей аппаратуры. Остаточная намагниченность, приобретенная в обратном поле меньшей величины, достаточной для насыщения магнитомягких минералов типа магнетита и маггемита (IRM), имеет те же свойства, что и SIRM. Остаточная намагниченность насыщения создавалась в поле 1,4 Тл, IRM – в обратном поле напряженностью 300 мТл. Для оценки соотношения магнитомягких и магнитожестких минералов в горной породе использовался коэффициент $S = IRM_{(-300)}/SIRM$ [Stober, Thompson, 1979].

Зависимости величины SIRM и отношения $SIRM/X_{LF}$ от вещественного состава пород разреза Бачатский демонстрируют неявную тенденцию к понижению этих параметров в палеопочвенных горизонтах и повышению в лессовых толщах (см. рис. 2), что свидетельствует о несколько пониженном содержании ферромагнитных минералов в палеопочвах по сравнению с лессами, причем у нижней бердской почвы (S2) разница с лессовыми толщами в величине SIRM больше, чем у более молодого искитимского педокомплекса (S1). Картина распределения SIRM достаточно четко отражает неоднородность лессовых горизон-

тов, характеризуя различное содержание магнитных минералов в опесчаненных и оглеенных прослоях. Существуют тесная корреляционная связь между магнитными параметрами X_{LF} и SIRM ($R = 0,8$) и более слабая обратная корреляция между X_{LF} и $SIRM/X_{LF}$ ($R = -0,5$), что дает основание считать вариации величины магнитной восприимчивости по разрезу обусловленными главным образом различной концентрацией магнитных минералов.

Параметр S в осадочных отложениях разреза Бачатский варьирует в диапазоне 0,8 – 0,95, указывая на присутствие некоторого количества жестких минералов (гетита и/или гематита), причем закономерностей в их распределении между лессами и ископаемыми почвами не обнаруживается (см. рис. 2).

Аналогичные петромагнитные характеристики лессов и палеопочв разреза Куртак более явно зависят от состава и строения разреза. SIRM имеет пониженные значения в палеопочвах и повышенные в лессах (см. рис. 3), свидетельствуя о меньшей концентрации ферромагнитных минералов в ископаемых почвах, чем в лессах. Вариации SIRM совпадают с распределением величины X_{LF} ($R = 0,81$). Отношение $SIRM/X_{LF}$, наоборот, возрастает в ископаемых почвах и снижается в лессовых горизонтах, отражая уменьшение среднего размера магнитных зерен в палеопочвах по сравнению с лессами, причем разница в размерах магнитных зерен значительнее в нижнем, более древнем педокомплексе. Тесная обратная корреляционная связь существует между $SIRM/X_{LF}$ и магнитной восприимчивостью ($R = -0,7$). Высокие коэффициенты корреляции между указанными магнитными характеристиками говорят о том, что магнитные свойства лессово-почвенных отложений Куртака определяются как концентрацией магнитных минералов, так и размером магнитных зерен.

Значение параметра S в лессовых горизонтах Куртака изменяется в пределах 0,9 – 1,0, указывая на отсутствие либо очень небольшое количество магнитожестких минералов. Более низкие значения S (0,7 – 0,9) в гумусовых горизонтах почв свидетельствуют о существенном вкладе магнитожестких минералов в общие магнитные характеристики палеопочв (см. рис. 3).

Идеальная (безгистерезисная) остаточная намагниченность (ARM). Этот вид намагниченности создается в результате изотермического намагничивания ферромагнитного материала в постоянном магнитном поле при воздействии переменного магнитного поля, амплитуда которого убывает от величины магнитного насыщения данного материала до нуля. В отличие от SIRM идеальная остаточная намагниченность зависит от формы, размеров и дефектности магнитных зерен [Нагата, 1965; O'Reilly, 1984]. Чем меньше размер зерна, тем более сильное переменное поле требуется для состояния магнитного насыщения ферромагнетика. Если использовать отношение двух

магнитных характеристик – ARM и X_{LF} , то можно в первом приближении исключить зависимость данных параметров от концентрации и считать это отношение отражающим только изменение среднего размера магнитного зерна [Yoshida et al., 1994].

В отложениях Бачатского разреза величина ARM значительно выше в гумусовых горизонтах искитимского педокомплекса и мало отличается от этого показателя лессов в гумусовом горизонте нижней бердской почвы (см. рис. 2). Параметр ARM/X_{LF} демонстрирует четкую зависимость от вещественного состава пород разреза: его значение в ископаемых почвах в 2 раза (и более) выше, чем в лессовых толщах, что позволяет считать размеры магнитных зерен минералов – носителей намагниченности в палеопочвах гораздо меньшими, чем в лессах. Это отношение чувствительно также и к неоднородности лессов, указывая на изменяющийся размер магнитного зерна внутри лессовых горизонтов. Корреляции между магнитной восприимчивостью и ARM или ARM/X_{LF} нет.

Величина ARM в Куртацком разрезе не различается для лессовых и почвенных горизонтов (см. рис. 3), за исключением каменоложской почвы, где этот параметр имеет повышенные значения. Иную картину дает отношение ARM/X_{LF} : немного повышенными значениями характеризуется куртацкий ПК и высокими – гумусовый горизонт каменоложской почвы. По характеру и величине изменений ARM/X_{LF} лессовые отложения Куртака однородны с точки зрения размера магнитных зерен, палеопочвы, особенно нижний ПК, отличаются меньшим размером магнитных зерен. Корреляционные зависимости ARM/X_{LF} и ARM с магнитной восприимчивостью очень слабые, $R < 0,5$.

Анизотропия магнитной восприимчивости (AMS)

Результаты измерения анизотропии магнитной восприимчивости дают возможность оценить степень анизотропии (P') среды и преимущественную форму магнитных частиц (T) [Jelinek, 1981], что позволяет сделать предположения об источнике сноса магнитного материала, механизме и дальности переноса, условиях осаждения обломочного материала, роли физических и химических преобразований лессово-почвенных отложений, интенсивности процессов педогенеза [Hrouda, 1982; Tarling, Hrouda, 1993]. Анализ эллипсоида AMS, вычисленного по трем ортогональным направлениям (K_1, K_2, K_3), дает возможность определить, кроме формы, ориентировку магнитных частиц в горной породе. Отношение $L = K_1/K_2$ характеризует степень линейной анизотропии, а отношение $F = K_2/K_3$ – плоскостной [Jelinek, 1981].

Степень анизотропии лессов и палеопочв разреза Бачатский мала (рис. 5, а) и соответствует таковой оса-

дочных пород. При общем изменении P' ископаемых почв от 1,001 до 1,018 более 90% измеренных образцов показали величину $< 1,012$. В отдельных лессовых образцах P' достигает 1,042, но для большей их части ($> 80\%$) $1,004 < P' < 1,02$. В большинстве случаев повышенные значения AMS в лессовых суглинках соответствуют неоднородным песчаным прослоям с включением мелкого щебня. Форма эллипсоида анизотропии в 50% лессовых образцов указывает на плоскостную анизотропию и “дисковую” форму частиц, в образцах ископаемых почв магнитные частицы преимущественно изотропны. Ориентировка осей $K_{\text{макс}}$ и $K_{\text{мин}}$ эллипсоида AMS, определяемая склонением (D) и наклонением (I), свидетельствует об осадочном происхождении лессовых отложений (рис. 5, б), при котором минимальные оси группируются в субвертикальном направлении, а максимальные рассредоточены по окружности, не проявляя явной тенденции к группированию вокруг определенного направления. В педокомплексах те же оси эллипсоида AMS расположены случайным образом, анизотропия отсутствует. Наличие в гумусовых горизонтах палеопочв магнитных частиц различной формы ($-0,8 < T < 0,8$) и их ориентировка косвенно свидетельствуют о преобладании процессов педогенеза и отсутствии направленного воздействия внешних сил (водных потоков, склонового движения) при формировании и последующем развитии ископаемых почв.

Характер и степень анизотропии магнитных свойств лессово-почвенной серии разреза Куртака противоположны таковым Бачатского разреза (см. рис. 5, а). Первое существенное отличие заключается в степени анизотропии, которая характерна для сильноанизотропных осадочных пород: большая часть как лессовых, так и почвенных образцов (90%) имеет $1,02 < P' < 1,08$, максимальное значение анизотропии составляет 11,5%, причем преобладающей является плоскостная анизотропия (коэффициент корреляции между P' и F более 0,9). Вторым отличием является преимущественно уплощенная “дисковая” форма магнитных частиц и в лессах, и в палеопочвах Куртака (см. рис. 5, б). И третий факт, регистрирующий различие двух изученных разрезов, состоит в ориентировке осей эллипсоида анизотропии: как в лессовых, так и в почвенных горизонтах Куртака оси $K_{\text{мин}}$ группируются в субвертикальном направлении, а оси $K_{\text{макс}}$ концентрируются вдоль направления ЗЮЗ – ВСВ или ЗСЗ – ВЮВ. Ориентация $K_{\text{макс}}$ магнитных частиц по определенному направлению говорит о направленном воздействии внешних сил, концентрирующих механизм формирования лессово-почвенных отложений Куртака в процессе осаждения, диагенеза или вторичного преобразования, при этом действующие силы разворачивали магнитные частицы в направлении ЗЮЗ – ВСВ или ЗСЗ – ВЮВ.

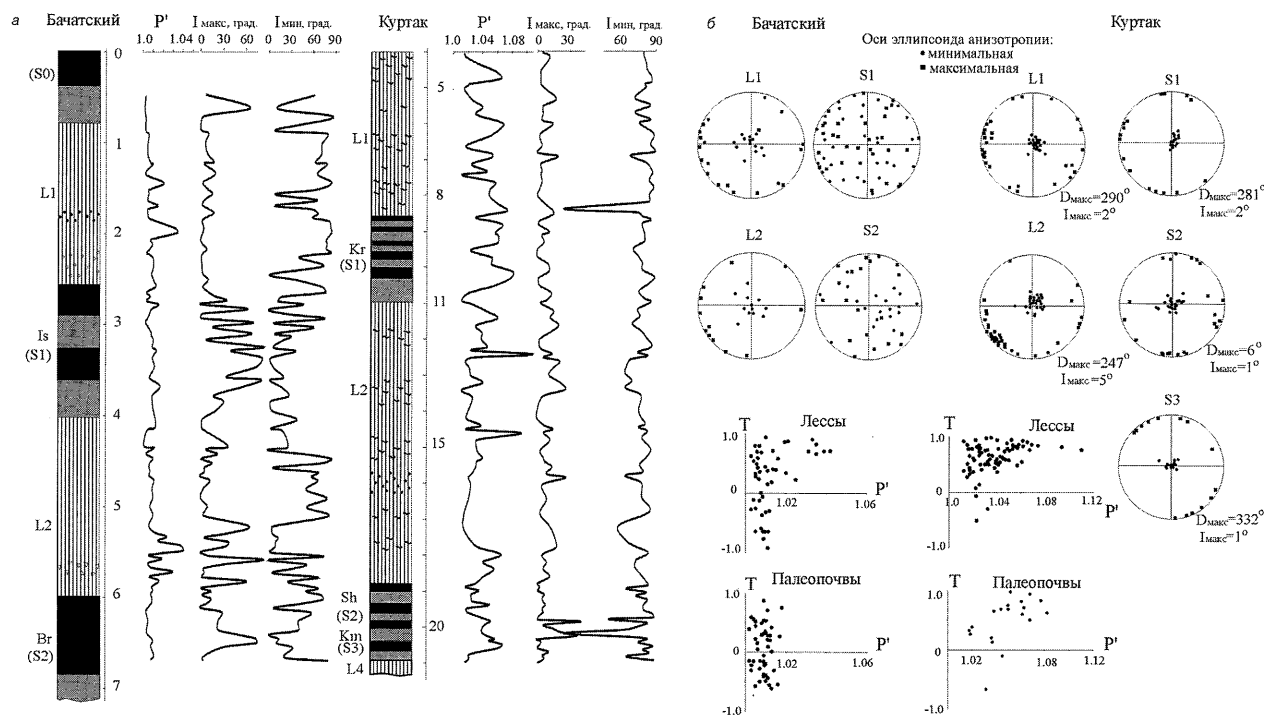


Рис. 5. Анизотропия магнитной восприимчивости.

а – распределение параметров анизотропии по разрезам; б – ориентировка максимальной и минимальной осей эллипсоида анизотропии и параметр формы магнитных частиц.

Таким образом, результаты петромагнитных исследований лессово-почвенных отложений разрезов Бачатский и Куртаг сводятся к следующим:

Разрез Бачатский

1. Лессово-почвенные отложения химически изменены, в связи с чем наиболее часто используемые параметры, характеризующие магнитные свойства лессов и палеопочв, такие как X_{LF} , NRM и некоторые виды искусственной намагниченности, не зависят от строения разреза и вещественного состава его пород и не могут служить базовыми для дифференциации лессово-почвенных отложений на отдельные стратиграфические горизонты. Характеристики, отражающие концентрацию магнитных минералов, имеют тесную корреляционную связь и отмечают отдельные прослои с повышенным и пониженным содержанием магнитного материала внутри лессовых горизонтов и педокомплексов.

2. В составе магнитной фракции лессовых и палеопочвенных образцов имеются магнитомягкие и магнито жесткие минералы. Основными минералами, формирующими магнитные свойства лессов и почв, являются магнетит, маггемит и гематит. Содержание органического вещества как в лессах, так и в ископаемых почвах (по возрастанию X_{LF} , после нагрева до 700 °C) гораздо выше, чем в Куртаге.

3. В гумусовых горизонтах обнаруживается тонкозернистая магнитная фракция. Наличие суперпарамагнитных зерен свидетельствует об интенсивности

процессов педогенеза, точнее, тех, которые происходят в достаточно теплом и влажном климате [Dunlop, 1981; Maher, 1988; Eyré, 1997].

4. Средний размер магнитного зерна уменьшается в ископаемых почвах и растет в лессовых горизонтах, причем по изменению параметров, зависящих от этого параметра, можно предположить, что в лессах размер магнитных зерен увеличивается вверх по разрезу, а в палеопочвах он не меняется в зависимости от возраста почв.

5. Совместная интерпретация петромагнитных характеристик приводит к общему выводу о низком содержании ферромагнитного материала в лессово-почвенных верхнеплейстоценовых отложениях Кузнецкой котловины; о повышении концентрации магнитных минералов в более молодых горизонтах лессов и почв; об увеличении среднего размера магнитного зерна в лессах по сравнению с ископаемыми почвами в более молодых лессовых толщах.

6. Магнитная текстура лессовых отложений свидетельствует о типично эоловом происхождении бачатских лессов и о типичном педогенезе при формировании ископаемых почв [Jordanova N., Jordanova D., Karloukovski, 1996]. Большинство магнитных частиц в лессах имеют форму уплощенного вытянутого диска, в то время как в гумусовых горизонтах почв чаще изометричны либо имеют форму иглы. Последняя характерна для биогеохимических ферромагнитных

частиц [Fassbinder, Stanjek, Vali, 1990; Maher, Taylor, 1988; Maher, 1998].

7. Магнитными параметрами, отражающими состав и строение разреза, являются характеристики, зависящие от размера магнитного зерна – X_{FD} , ARM/X_{LF} , $SIRM/ARM$, MDF_{NRM} , MDF_{ARM} . Причем часть из них (X_{FD} , $SIRM/X_{LF}$) изменяется в соответствии с закономерностями, установленными в разрезах Китайского лессового плато [Florindo et al., 1999; Maher, Thompson, 1991; Thistlewood, Sun, 1991].

Разрез Куртак

1. Лессовые осадочные отложения химически не изменены, почвенные претерпели слабые химические изменения, поэтому практически все магнитные характеристики (кроме X_{FD} , NRM , ARM) отражают вещественный состав пород разреза.

2. Магнитная фракция лессовых пород состоит в основном из магнитомягких минералов – магнетита и маггемита, в образцах из гумусовых горизонтов ПК установлено небольшое количество гематита. Органическое вещество присутствует в ископаемых почвах, но в меньших количествах, чем в разрезе Бачатский, в лессовых отложениях не зафиксировано.

3. В составе ферромагнитной фракции лессов и палеопочв отсутствуют суперпарамагнитные зерна. Этот факт, вероятно, свидетельствует об образовании отложений в более аридных, чем в Кузнецкой котловине, климатических условиях.

4. Концентрация магнитных минералов изменяется по разрезу в зависимости от вещественного состава: в лессовых горизонтах зафиксированы высокие содержания ферромагнитных минералов, в гумусовых горизонтах – пониженные, причем значения параметров, отражающих концентрацию магнитного материала, в 3 – 5 раз выше, чем в Бачатском разрезе, а также значительно превышают аналогичные показатели лессовых отложений в других частях земного шара (в Китае, Европе, Америке). Диапазон величин X_{LF} сопоставим с таковым в лессово-почвенных сериях на Аляске.

5. Средний размер зерна магнитных фракций лессовых и почвенных образцов отражает состав и строение разреза: уменьшается в гумусовых горизонтах и растет в лессовых, причем проявляется общая тенденция увеличения эффективного размера магнитного зерна от более древних к молодым отложениям.

6. Параметры, характеризующие магнитную анизотропию лессов и палеопочв, не показывают существенных отличий ни по форме, ни по степени анизотропии, т.е. магнитная текстура лессовых и почвенных образований одинакова. Магнитные частицы в лессах и в почвах, в большинстве случаев, уплощены. Распределение максимальных осей эллипсоида анизотропии указывает на ориентацию магнитных частиц в направлении ЗЮЗ – ВСВ или ЗСЗ – ВЮВ, что предполагает направленное воздействие внешних сил,

контролирующих механизм осаждения или преобразования лессово-почвенных отложений.

7. Магнитные свойства пород разреза Куртак определяются вещественным составом, концентрацией и эффективным размером магнитного зерна. Для палеоклиматических реконструкций в качестве базовых параметров могут использоваться: 1) характеристики, отражающие состав и концентрацию магнитных минералов, – X_{LF} , Q , $SIRM$, S ; 2) показатели, зависящие от размера магнитного зерна, – $SIRM/X_{LF}$, ARM/X_{LF} , $SIRM/ARM$, MDF_{NRM} , MDF_{ARM} ; и те и другие параметры изменяются противоположно аналогичным характеристикам лессов и ископаемых почв Китайского лессового плато.

Палеоклиматические реконструкции

Палеоклиматические реконструкции с использованием информации о климатических колебаниях, зафиксированной в магнитных свойствах осадочных пород, основаны на изменениях их низкочастотной и частотно-зависимой магнитной восприимчивости. Иногда, при ясной картине поведения этих двух показателей, петромагнитные исследования ограничиваются анализом X_{LF} и X_{FD} [Chlachula, Rutter, Evans, 1997; Chlachula, Evans, Rutter, 1998]. Чаще всего вместе с магнитной восприимчивостью измеряются и другие параметры, характеризующие магнитные свойства осадочных отложений, но, как правило, их вариации только дополняют картину, полученную при интерпретации зависимости X_{LF} от состава и строения разреза. При синхронном увеличении двух типов магнитной восприимчивости в ископаемых почвах повышенные магнитные свойства почв объясняются образованием *in situ* тонкозернистых ферромагнитных минералов органического и неорганического происхождения в соответствующих биогеохимических условиях в теплом и влажном климате [Zhou et al., 1990; Zheng et al., 1991]. Такие условия складывались в периоды межледниковий во многих частях земного шара (Китай, Европа, Африка). Ослабление магнитных свойств лессовых отложений связано с выветриванием, разрушением и выносом магнитных минералов в периоды похолоданий (см., напр.: [Heller, Evans, 1995; Maher, 1998]). Противоположная картина распределения величин X_{LF} с пониженными значениями в ископаемых почвах и повышенными в лессовых толщах, характерная, например, для разрезов Аляски, объясняется усилением ветра в ледниковые эпохи и увеличением поступления магнитного материала во время формирования лессов [Begét, Stone, Hawkins, 1990; Evans, 1999]. Пониженные значения X_{LF} в палеопочвах Аляски обусловлены очень слабой интенсивностью педогенеза без образования педогенных магнитных минералов в суровых климатических условиях в периоды

потеплений. Как правило, если такой параметр, как магнитная восприимчивость, “не работает”, то магнитные свойства данной лессово-почвенной серии не рассматриваются в качестве индикатора палеоклиматических колебаний, поскольку не удастся констатировать основные признаки потеплений и похолоданий, фиксирующиеся либо в концентрации магнитного материала, либо в образовании педогенных суперпарамагнитных минералов. Результаты таких исследований редко обсуждаются и публикуются, хотя неоднозначная и, на первый взгляд, неинтерпретируемая картина изменения магнитных свойств осадочных образований в лессово-почвенных разрезах встречается довольно часто.

Согласно приведенным выше результатам петромагнитного изучения двух сибирских разрезов, к таким трудно интерпретируемым лессово-почвенным разрезам относится Бачатский. Как уже отмечено ранее [Казанский и др., 1998], X_{LF} и другие показатели магнитных свойств лессов и ископаемых почв Бачатского разреза не зависят от литологии и не коррелируют с позднеоплейстоценовыми колебаниями палеоклимата в Северном полушарии, не установлено какой-либо корреляции изменений X_{LF} с изотопно-кислородной кривой. Тем не менее более детальные исследования магнитных свойств этих осадочных образований углубили наше понимание механизма формирования лессово-почвенных отложений, их последующего преобразования, влияния геоморфологических и палеогеографических особенностей и позволили обнаружить тесную корреляционную связь магнитных свойств с изменением климата, что дает основание считать петромагнетизм бачатских лессов и почв опосредованной и надежной фиксацией палеоклиматического сигнала. Вариации величины X_{LF} отражают колебания содержания магнитной фракции, которое не связано с составом и строением разреза, но другой параметр – X_{FD} фиксирует литологическое различие лессов и палеопочв. В свою очередь, поведение структурно-чувствительных отношений (ARM/X_{LF} , $SIRM/ARM$, MDF_{NRM}) характеризует уменьшение размера магнитного зерна в ископаемых почвах и также позволяет проводить литологическое разделение разреза на лессовые толщи и педокомплексы.

Вариации структурных магнитных параметров (см. рис. 2) коррелируют с изменениями содержания изотопа кислорода $\delta^{18}O$ (кривая заимствована из работы [Chlachula, Rutter, Evans, 1997]). Для большинства этих параметров коэффициенты корреляции с содержанием $\delta^{18}O$ не менее 0,5, что свидетельствует об опосредованной связи колебаний климата с магнитными свойствами лессов и почв. Поскольку для концентрационно-зависимых параметров такой связи не наблюдается, именно эффективный размер магнитного зерна является базовым параметром для построения модели фиксации палеоклиматического сигнала в

магнитных свойствах лессово-почвенных отложений Кузнецкой котловины.

В отличие от разреза Бачатский, изменения параметров, отражающих магнитные свойства лессово-почвенных отложений разреза Куртак, существенно разнятся для лессовых и почвенных горизонтов. Причем различаются как параметры, зависящие от концентрации магнитных минералов, так и структурно-чувствительные параметры, реагирующие на изменение размера магнитных зерен ферромагнитной фракции. Распределение величин магнитных характеристик по разрезу совпадает с таковым в лессово-почвенных отложениях Аляски [Begét, Stone, Hawkins, 1990; Vlag et al., 1999]. Таким образом, Куртак в Средней Сибири является классическим разрезом “аляскинского” типа, фиксирующим в магнитных свойствах колебания палеоклиматического сигнала. Изменения большей части изученных параметров (X_{LF} , Q , $SIRM$, S , $SIRM/X_{LF}$, ARM/X_{LF} , $SIRM/ARM$, MDF_{NRM}) коррелируют с изотопно-кислородной кривой, и любой из них может использоваться в качестве базовой характеристики для построения модели петромагнитной фиксации палеоклимата в Средней Сибири. С нашей точки зрения, для реконструкции глобальных климатических изменений следует пользоваться параметрами, зависящими как от состава, концентрации, так и от размера магнитного зерна, это X_{LF} , $SIRM$, $SIRM/X_{LF}$ и др. Более мелкомасштабные климатические флуктуации, как, например, небольшие кратковременные похолодания в периоды общего для Северного полушария потепления (подстадии 5^b , 5^d изотопно-кислородной кривой), могут фиксироваться детальными изменениями отдельных магнитных параметров. Такая закономерность, в первом приближении, выявлена И. Хлакулой с соавторами [Chlachula, Evans, Rutter, 1998], которые сопоставили вариации X_{LF} осадочных отложений поздне- и среднееоплейстоценового возраста со стадиями 1 – 7 изотопно-кислородной кривой. В качестве примера более детальной корреляции подробно проанализирована та часть кривой X_{LF} , которая соответствует стадии 5, и показано, что каждой подстадии (a, b, c, d, e) соответствуют свои экстремумы X_{LF} . Наши исследования подтвердили эти выводы и уточнили связь других магнитных параметров со стадиями 2 – 5 $\delta^{18}O$ (см. рис. 3).

Принципиальное различие между двумя изученными разрезами выражается в расхождении, а в некоторых случаях – в прямой противоположности изменения параметров, характеризующих магнитные свойства одновозрастных, близких по составу и генезису лессов и почв, сформировавшихся в одной ландшафтно-климатической зоне. Вероятно, эти различия обусловлены геоморфологическими и палеогеографическими факторами, которые могут оказать основное влияние на фиксацию палеоклиматического сигнала в лессово-почвенном петромагнетизме. На важную

роль местных условий при формировании лессово-почвенных отложений указывают многие исследователи (см., напр.: [Maher, 1998]).

Магнитная текстура осадочных отложений двух разрезов также совершенно различна. Склоновое положение осадочной формации Куртака обусловило особенности магнитной текстуры лессов и почв. Форма, размеры, расположение магнитных частиц во всех литологических подразделениях контролировались близким источником сноса обломочного материала, эоловым переносом и синседиментационными и постседиментационными делювиально-пролювиальными процессами. Отсутствие различия между характеристиками магнитной анизотропии лессов и палеопочв Куртака свидетельствует о постоянстве факторов, воздействующих на седиментогенез. Во-первых, в различные климатические периоды непрерывно действовали делювиально-пролювиальные процессы. В результате склоновых явлений образовалась осадочная текстура с высокой степенью анизотропии магнитных свойств. По данным Н.И. Дроздова и В.П. Чехи [2000], лессонакопление в разрезе Куртак продолжалось во время почвообразования с меньшей скоростью, но не прекращалось совсем, также продолжались и оползневые процессы. На поступление эолового материала в количестве, которое успевало перерабатываться процессами педогенеза, указывает как форма и ориентация почвенных магнитных частиц, подобных лессовым, так и уменьшающийся размер магнитного зерна в почвах, но не до тонкозернистой аутигенной фракции. Во-вторых, во все периоды действовал, вероятно, один и тот же, близко расположенный источник сноса, поскольку в лессах и в почвах преобладают песчаная и крупнопылевая фракции. На более крупные размеры магнитных зерен в субазальных отложениях Куртака, по сравнению с Бачатским, указывают и соответствующие структурно-чувствительные параметры ($SIRM/X_{LF}$, ARM/X_{LF}).

Расположенная в центральной части котловины на водоразделе бачатская лессово-почвенная серия имеет делювиально-пролювиальный, субаквальный и субазальный генезис [Зудин и др., 1982, с. 144 – 146]. Интенсивность вторичных склоновых процессов, преобразовавших бачатскую лессово-почвенную серию, из-за большей выравненности рельефа намного ниже, чем в Куртаке, что и отражает магнитная текстура осадков. Возможно, делювиально-пролювиальные процессы периодически сопутствовали лессонакоплению, что объясняет несколько более упорядоченную текстуру и слабую магнитную анизотропию лессов. Во время почвообразования лессонакопление затухало и ведущими оказывались процессы педогенеза, о чем свидетельствует неупорядоченная магнитная текстура гумусовых горизонтов, отсутствие анизотропии и преобладающая изометричная форма магнитных частиц.

Заключение

1. Исходя из эолового генезиса лессовых формаций на территории Сибири, мощности лессовых отложений и концентрации магнитного материала в них, можно предположить, что в периоды похолоданий циркуляционные процессы в атмосфере над Северо-Минусинской впадиной были более интенсивные, чем в Кузнецкой котловине. Это объясняет различные магнитные свойства лессовых толщ двух разрезов.

2. В периоды потеплений, соответствующие почвообразованию, в Кузнецкой котловине климат в позднем неоплейстоцене был несколько более теплым и влажным, чем в Северо-Минусинской впадине. В связи с этим поступление биомассы в почвы Кузнецкой котловины превышало таковое в Минусинской впадине, что определяло разную степень переработки лессового материала педогенными процессами и различие в магнитных характеристиках палеопочв обоих разрезов.

3. Фиксация палеоклиматического сигнала в магнитных свойствах лессово-почвенной серии Северо-Минусинской котловины происходила по “алескинскому” типу, что предполагает увеличенное поступление магнитного материала при повышенном эоловом переносе в периоды ледниковий и, соответственно, усиление магнитных свойств лессовых пород. Ослабление магнитных свойств палеопочвенных горизонтов объясняется меньшим поступлением биомассы в условиях более аридного климата, что не способствовало образованию аутигенной тонкозернистой магнитной фракции. Выветривание, растворение, преобразование и вынос магнитных форм железа, активизирующихся при повышении температуры в периоды потеплений, также ослабляли магнитные свойства почв.

4. Климатические колебания, зафиксированные в магнитных свойствах лессово-почвенных отложений Кузнецкой котловины, отражают более теплый и влажный климат в периоды межледниковий, поскольку наличие аутигенных суперпарамагнитных зерен характеризует более интенсивный педогенез. С этой точки зрения, можно говорить о “китайской” модели фиксации палеоклиматических колебаний в Кузнецкой котловине. Но низкое содержание тонкозернистой ферромагнитной фракции не определяет в целом магнитные свойства ископаемых почв, как это наблюдается в аналогичных разрезах Китайского лессового плато или Центральной Европы. Часть магнитных характеристик, зависящих от эффективного размера магнитного зерна и содержания магнитных минералов, изменяется в соответствии с таковыми лессово-почвенных отложений Северо-Минусинской впадины. Поэтому в Кузнецкой котловине можно говорить о наложении двух моделей – “китайской” и “алескинской” и, соответственно, о проявлении всех процессов, характерных для двух типов климата. Но амплитуда и

интенсивность этих процессов меньше, чем в регионах с одним типом фиксации палеоклиматического сигнала.

5. Достаточно сильное различие магнитных свойств субазральных отложений двух изученных разновозрастных сибирских разрезов, находящихся в одной ландшафтно-климатической зоне на небольшом расстоянии друг от друга, не позволяет распространить один тип регистрации колебаний палеоклимата на весь Сибирский регион. По результатам петромагнитных исследований установлено, что на юге Западной Сибири климат был несколько мягче, более теплый и влажный, чем в Средней Сибири, где в большей степени проявилась континентальность климата.

Список литературы

- Архипов С.А., Волкова В.С., Зыкина В.С., Бахарева В.А., Гуськов С.А., Левчук Л.К. Природно-климатические изменения в Западной Сибири в первой трети будущего столетия // Геология и геофизика. – 1995. – Т. 34, № 8. – С. 51 – 71.
- Архипов С.А., Гнибиденко З.Н., Зыкина В.С., Круковер А.А., Шелкоплас В.Н. Геологическое строение и общая стратегия хроностратиграфического изучения Куртаковского археологического района // Палеоэкология и расселение древнего человека в Северной Азии и Америке. – Красноярск: Зодиак, 1992. – С. 10 – 15.
- Архипов С.А., Зыкина В.С., Круковер А.А., Гнибиденко З.Н., Шелкоплас В.Н. Стратиграфия и петромагнетизм ледниковых и лессово-почвенных отложений Западно-Сибирской равнины // Геология и геофизика. – 1997. – Т. 36, № 6. – С. 1027 – 1048.
- Большаков В.А. Использование методов магнетизма горных пород при изучении новейших отложений. – М.: МГУ, 1996. – 191 с.
- Бродская С.Ю. Определение точек Кюри и диагностика магнитных минералов // Геомагнитные исследования. – 1977. – № 19. – С. 55 – 62.
- Волков И.А. Состояние и перспективы развития стратиграфии четвертичных отложений // Геология и геофизика. – 1983. – № 2. – С. 30 – 33.
- Волков И.А., Зыкина В.С. Стратиграфия четвертичной лессовой толщи Новосибирского Приобья // Проблемы стратиграфии и палеогеографии плейстоцена Сибири. – Новосибирск: Наука, 1982. – С. 17 – 28.
- Дроздов Н.И., Лаухин С.А., Чеха В.П., Кольцова В.Г., Бокарев А.А., Викулов А.А. Куртаковский археологический район. – Красноярск: ПО "Сибирь", 1990. – Вып. 1. – 88 с.
- Дроздов Н.И., Чеха В.П. Реконструкция климатов позднего плейстоцена Средней Сибири (бассейн Енисея) по данным изучения лессовой формации // Проблемы реконструкции климата и природной среды голоцена и плейстоцена Сибири. – Новосибирск: ИАЭТ СО РАН, 2000. – Вып. 2. – С. 175 – 188.
- Дроздов Н.И., Чеха В.П., Артемьев Е.В., Хазартс П., Орлова Л.А. Четвертичная история и археологические памятники Северо-Минусинской впадины. – Красноярск: КГПУ, 2000. – 74 с.
- Зудин А.Н., Николаев С.В., Галкина Л.И., Ефимова Л.И., Буткеева О.Ю., Пономарева Е.А., Паныхчев В.А. Обоснование стратиграфической схемы неогеновых и четвертичных отложений Кузнецкой котловины // Проблемы стратиграфии и палеогеографии плейстоцена Сибири. – Новосибирск: Наука, 1982. – С. 133 – 149.
- Зыкин В.С., Зыкина В.С., Орлова Л.А. Природная среда и климат теплых эпох четвертичного периода юга Западной Сибири // Геология и геофизика. – 2000. – Т. 41, № 3. – С. 297 – 317.
- Зыкина В.С. Позднеплейстоценовые ископаемые почвы юга Средней Сибири (приенисейская часть) // Палеоэкология и расселение древнего человека в Северной Азии и Америке. – Красноярск: Зодиак, 1992. – С. 102 – 105.
- Зыкина В.С. Реконструкция природной среды позднего плейстоцена Сибири по палеопочвам // Геодинамика и эволюция Земли. – Новосибирск: ОИГГМ СО РАН, 1996. – С. 222 – 224.
- Зыкина В.С., Волков И.А., Дергачева М.И. Верхне-четвертичные отложения и ископаемые почвы Новосибирского Приобья. – М.: Наука, 1981. – 203 с.
- Казанский А.Ю., Зыкина В.С., Матасова Г.Г., Метелкин Д.В. Петромагнетизм лессово-почвенных разрезов позднего плейстоцена как возможный метод реконструкции среды обитания древнего человека (на примере разреза Бачатский – Кузнецкая котловина) // Палеоэкология плейстоцена и культуры каменного века Северной Азии и сопредельных территорий. – Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 1998. – Т. 1. – С. 199 – 208.
- Казанский А.Ю., Кравчинский В.А., Зыкина В.С., Матасова Г.Г., Метелкин Д.В. Возможности магнитных методов для выявления климатического сигнала в лессово-почвенных разрезах Сибири // Проблемы климатических реконструкций в плейстоцене и голоцене Сибири. – Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 1997. – С. 191 – 202.
- Матасова Г.Г., Казанский А.Ю., Зыкина В.С. Петромагнитные характеристики опорного лессово-почвенного разреза Куртак (Средняя Сибирь) и их значение для палеоклиматических реконструкций // Проблемы реконструкции климата и природной среды голоцена и плейстоцена Сибири. – Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2000. – Вып. 2. – С. 313 – 331.
- Москвитин А.И. Лесс и лессовидные отложения Сибири // Тр. Ин-та геол. наук. Сер. геол. – 1940. – Вып. 14, № 4. – 83 с.
- Нагата Т. Магнетизм горных пород. – М.: Мир, 1965. – 348 с.
- Осипов Ю.Б. Магнетизм глинистых грунтов. – М.: Недра, 1978. – 200 с.
- Печерский Д.М. Петромагнетизм и палеомагнетизм: Справочное пособие для специалистов из смежных областей науки. – М.: Наука, 1985. – 128 с.
- Чеха В.П., Лаухин С.А. Стратиграфия четвертичных отложений и палеолит Куртаковского археологического района (Северо-Минусинская впадина) // Палеоэкология и расселение древнего человека в Северной Азии и Америке. – Красноярск: Зодиак, 1992. – С. 258 – 262.
- Begét J.E., Hawkins D.B. Influence of orbital parameters on Pleistocene loess deposition in central Alaska // Nature. – 1989. – Vol. 337. – P. 151 – 153.
- Begét J.E., Stone D.B., Hawkins D.B. Paleoclimatic forcing of magnetic susceptibility variations in Alaskan loess during the late Quaternary // Geology. – 1990. – Vol. 18. – P. 40 – 43.

- Chlachula J., Evans M.E., Rutter N.W.** A magnetic investigation of a Late Quaternary loess/palaeosol record in Siberia // *Geophys. J. Int.* – 1998. – Vol. 132. – P. 128 – 132.
- Chlachula J., Rutter N.W., Evans M.E.** A late Quaternary loess-palaeosol record at Kurtak, Southern Siberia // *Can. J. Earth Sci.* – 1997. – Vol. 34. – P. 679 – 686.
- Dearing J.A., Livingstone I., Zhou L.P.** A Late Quaternary magnetic record of Tunisian loess and its climatic significance // *Geophys. Res. Lett.* – 1996. – Vol. 23. – N 2. – P. 189 – 192.
- Dunlop D.J.** The rock magnetism of fine particles // *Phys. Earth and Planet. Inter.* – 1981. – Vol. 26. – P. 1 – 26.
- Evans M.E.** Magnetoclimatology: a test of the wind-vigour model using the 1980 Mount St. Helens ash // *Earth and Planet. Sci. Lett.* – 1999. – Vol. 172. – P. 255 – 259.
- Evans M.E., Ding Z., Rutter N.W.** A high-resolution magnetic susceptibility study of a loess-palaeosol couplet at Baoji, China // *Studia Geophysica et Geodaetica.* – 1996. – Vol. 40. – P. 225 – 233.
- Evans M.E., Heller F.** Magnetic enhancement and palaeoclimate: study of a loess/palaeosol couplet across the Loess Plateau of China // *Geophys. J. Int.* – 1994. – Vol. 117. – P. 257 – 264.
- Eyre J.K.** Frequency dependence of magnetic susceptibility for populations of single-domain grains // *Geophys. J. Int.* – 1997. – Vol. 129. – P. 209 – 211.
- Fassbinder J.W.E., Stanjek H., Vali H.** Occurrence of magnetic bacteria in soil // *Nature.* – 1990. – Vol. 343. – P. 161 – 163.
- Florindo F., Zhu R., Guo B., Yue L.** Magnetic proxy climate results from the Duanjiapo loess section, southernmost extremity of the Chinese loess plateau // *J. Geophys. Res.* – 1999. – Vol. 104. – N B1. – P. 645 – 659.
- Forster Th., Heller F., Evans M.E., Halvick P.** Loess in the Czech Republic: magnetic properties and paleoclimate // *Studia Geophysica et Geodaetica.* – 1996. – Vol. 40. – P. 243 – 261.
- Hayward R.K., Lowell T.V.** Variations in loess accumulation rates in the mid-continent, United States, as reflected by magnetic susceptibility // *Geology.* – 1993. – Vol. 21. – P. 821 – 824.
- Heller F., Evans M.E.** Loess magnetism // *Reviews of Geophys.* – 1995. – Vol. 33. – P. 211 – 240.
- Heller F., Liu X.M., Liu T.S., Xu T.C.** Magnetic susceptibility of loess in China // *Earth Planet. Sci. Lett.* – 1991. – Vol. 103. – P. 301 – 310.
- Hrouda F.** Magnetic anisotropy of rocks and its application in geology and geophysics // *Geophys. Survey.* – 1982. – Vol. 5. – P. 37 – 82.
- Jelinek V.** Characterization of the magnetic fabric of rocks // *Tectonophysics.* – 1981. – Vol. 79. – P. 63 – 67.
- Jordanova N., Jordanova D., Karloukovski V.** Magnetic fabric of Bulgarian loess sediments derived by using various sampling techniques // *Studia geophys. et geod.* – 1996. – Vol. 40. – P. 36 – 49.
- Jordanova D., Petrovsky E., Jordanova N., Evlogiev J., Butchvarova V.** Rock magnetic properties of recent soils from northeastern Bulgaria // *Geophys. J. Int.* – 1997. – Vol. 128. – P. 474 – 488.
- Kukla G., An Z.S., Melice J.L., Gavin G., Xiao J.L.** Magnetic susceptibility record of Chinese loess // *Trans. R. Soc. Edinburgh: Earth Sci.* – 1990. – Vol. 81. – P. 263 – 288.
- Liu X., Shaw, J., Liu T., Heller, F., Cheng M.** Rock Magnetic Properties and Palaeoclimate of Chinese Loess // *J. Geomag. Geoelectr.* – 1993. – Vol. 45. – P. 117 – 124.
- Maher B.A.** Magnetic properties of some synthetic sub-micron magnetites // *Geophys. J.* – 1988. – Vol. 94. – P. 83 – 96.
- Maher B.A.** Magnetic properties of modern soils and Quaternary loessic paleosols: paleoclimatic implications // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology.* – 1998. – Vol. 137. – P. 25 – 54.
- Maher B.A., Taylor R.M.** Formation of ultra-grained magnetite in soil // *Nature.* – 1988. – Vol. 336. – P. 368 – 370.
- Maher B.A., Thompson R.** Mineral magnetic record of Chinese loess and paleosols // *Geology.* – 1991. – Vol. 19. – P. 3 – 6.
- Maher B.A., Thompson R.** Paleoclimatic significance of the mineral magnetic record of Chinese loess and paleosols // *Quatern. Res.* – 1992. – Vol. 37. – P. 155 – 170.
- Mullins C.E.** Magnetic susceptibility of the soil and its significance in soil science – A review // *J. Soil Sci.* – 1977. – Vol. 28. – P. 223 – 246.
- O'Reilly W.** *Rock and Mineral Magnetism.* – Glasgow: Blackie and Son Lim., Bishopbriggs, 1984. – 220 p.
- Shackleton N.J., Opdyke N.D.** Oxygen isotope and paleomagnetic stratigraphy of equatorial Pacific core V.28 – 238: Oxygen isotope temperatures and ice volumes on a 10⁵ and 10⁶ year scale // *Quatern. Res.* – 1973. – Vol. 3. – P. 39 – 55.
- Singer M.J., Verosub K.L., Fine P., TenPas J.** A conceptual model for the enhancement of magnetic susceptibility in soil // *Quant. Int.* – 1996. – Vol. 34 – 36. – P. 243 – 248.
- Stober J.C., Thompson R.** Magnetic remanence acquisition in Finnish lake sediments // *Geophys. J. R. Astron. Soc.* – 1979. – Vol. 57. – P. 727 – 739.
- Tarling D.H., Hrouda F.** *Magnetic Anisotropy of Rocks.* – L.: Chapman and Hall, 1993. – 217 p.
- Thistlewood L., Sun J.** A palaeomagnetic and mineral magnetic study of the loess sequence at Liujiapo, Xian, China // *J. Quatern. Sci.* – 1991. – Vol. 6. – P. 13 – 26.
- Thompson R., Oldfield F.** *Environmental magnetism.* – L.: George Allen and Unwin, 1986. – 227 p.
- Verosub K.L., Fine P., Singer M.J., TenPas J.** Pedogenesis and paleoclimate: Interpretation of the magnetic susceptibility record of Chinese loess-paleosol sequences // *Geology.* – 1993. – Vol. 21. – P. 1011 – 1014.
- Vlag P.A., Oches E.A., Banerjee S.K., Solheid P.A.** The paleoenvironmental – magnetic record of the Gold Hill Steps loess section in central Alaska // *Phys. Chem. Earth.* – 1999. – Vol. 24, Iss. 9. – P. 779 – 783.
- Volkov I.A., Zykina V.S.** Loess Stratigraphy in Southeastern Siberia // *Late Pleistocene Environment of the USSR.* – Minneapolis: University Minnesota Press, 1984. – P. 119 – 124.
- Yoshida M., Fujiwara Y., Khadim I.M., et al.** *Magnetic Approaches to Geological Sciences.* – Islamabad: Geoscience Lab., 1994. – Pt. 3: Paleomagnetism and its Applications. – 177 p.
- 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 and Planet. Inter.* – 1991. – Vol. 68. – P. 250 – 258.
- Zhou L.P., Oldfield F., Wintle A.G. et al.** Partly pedogenic origin of magnetic variations in Chinese loess // *Nature.* – 1990. – Vol. 346. – P. 737 – 739.
- Zykina V.S.** Pedogenesis and climate change history during Pleistocene in Western Siberia // *J. Geol. Sci., Anthropozoic.* – 1999. – Vol. 23. – P. 49 – 54.