

## ОПЫТ ФАЦИАЛЬНО-ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАСЧЛЕНЕНИЯ СУБАЭРАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НОВОСИБИРСКОГО ПРИОБЬЯ ГЕОЛОГО-ПЕТРОМАГНИТНЫМИ МЕТОДАМИ

(на примере опорного разреза Огурцово)

А.И. Жданова, А.Ю. Казанский, И.Д. Зольников, Г.Г. Матасова, С.А. Гуськов\*

*Институт геологии и минералогии СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Коптюга, 3, Россия*

\* *Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Коптюга, 3, Россия*

Приведены результаты комплексного изучения одного из опорных разрезов Новосибирского Приобья — Огурцово с использованием детального геологического описания отложений, гранулометрического и петромагнитного анализов. Детальное геологическое описание, подкрепленное результатами гранулометрического и петромагнитного анализов, позволило не только дать новую фациально-генетическую трактовку геологического строения разреза Огурцово, но и существенно уточнить и дополнить историю геологического развития Новосибирского Приобья в плейстоцене. Особое внимание уделено взаимосвязям между гранулометрическими и петромагнитными параметрами, что позволило выявить закономерности поведения магнитных характеристик и их соотношений в зависимости от изменения гранулометрических показателей в различных литогенетических типах отложений. На примере данного опорного разреза разработаны критерии выделения фаций субаэрального комплекса аналитическими методами.

*Четвертичные отложения, гранулометрия, петромагнетизм, Новосибирское Приобье.*

## APPLICATION OF GEOLOGICAL AND PETROMAGNETIC METHODS TO FACIES-GENETIC DIVISION OF SUBAERIAL DEPOSITS IN THE OB' REGION NEAR NOVOSIBIRSK

(Ogurtsovo key section)

A.I. Zhdanova, A.Yu. Kazansky, I.D. Zol'nikov, G.G. Matasova, and S.A. Gus'kov

The Ogurtsovo section, one of the key sections of the Ob' region near Novosibirsk, has been comprehensively studied using a detailed geological description of deposits and granulometric and petromagnetic analyses. The combined methods allowed us not only to interpret the geologic structure of the Ogurtsovo section in terms of its facies and genesis but also to refine and supplement the Pleistocene geologic history of the region. Special attention was given to relationships between granulometric and petromagnetic parameters. As a result, we have revealed regularities in the behavior of magnetic characteristics and their relationships as a function of granulometry in different lithogenetic types of deposits. By the example of this key section, criteria are proposed for distinguishing facies of the subaerial complex by analytical methods.

*Quaternary deposits, granulometry, petromagnetism, Ob' region near Novosibirsk*

### ВВЕДЕНИЕ

Изучение четвертичных отложений представляет огромный интерес в рамках проблемы глобальных изменений климата нашей планеты. Наиболее полным природным архивом изменений среды и климата в Сибири являются отложения сибирской субаэральной формации [Волков, 1971] — сложно построенной толщи четвертичных отложений, занимающей обширные территории от Урала до Байкала. Одной из важнейших задач при изучении полигенетических четвертичных образований является фациально-генетическое расчленение разрезов. Монотонность лессовых разрезов является препятствием для их макровизуального расчленения. Традиционные методы геологического описания, как правило, зависят от субъективных факторов и не могут дать точных количественных оценок. Поэтому необходимы комплексные исследования, нацеленные на реконструкцию параметров среды осадконакопления и постгенетического преобразования, с привлечением методов количественного анализа, в частности, гранулометрического и петромагнитного. В данной работе сделана попытка комплексного изучения одного из опорных разрезов Новосибирского Приобья — Огурцово с использованием детального геологического описания отложений, гранулометрического и петромагнитного анализов. Разрез Огурцово является одним из опорных разрезов субаэральных четвертичных отложений для территории Новосибирского Приобья. Он расположен на окончании одного из увалов левобережья Оби, сложенных лессовыми и лессовидными отложениями, и вскрывается серией оврагов (рис. 1). Отложения этого разреза хорошо изучены, однако до сих пор не существует единой точки зрения на закономерности строения и условия формирования четвертичной толщи района [Мартынов и др., 1977; Волков, Архипов, 1978; Зыкина и др., 1981]. По И.А. Волкову [Волков, Архипов, 1978; Зыкина и др., 1981], разрез представлен субаэральным комплексом отложений

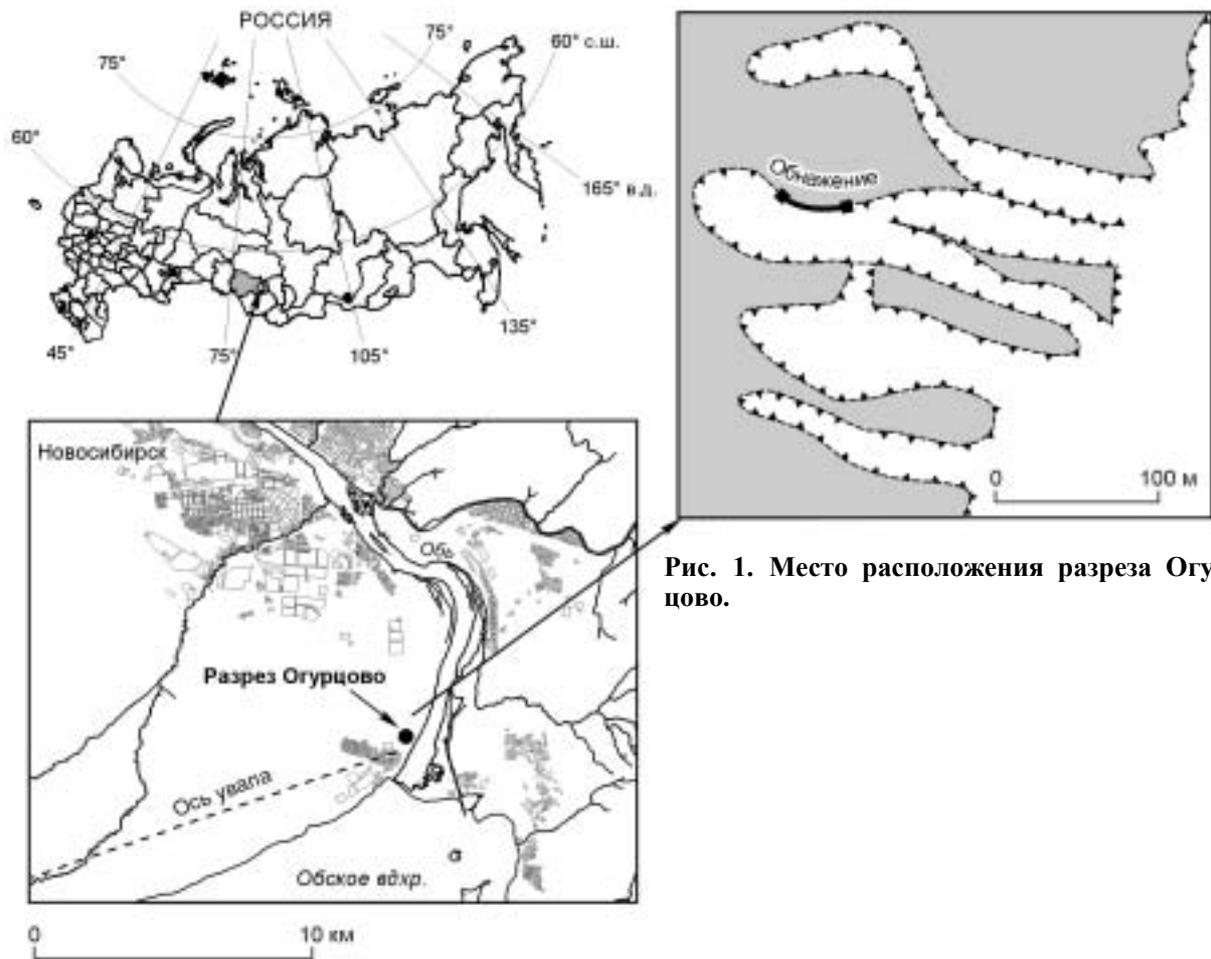
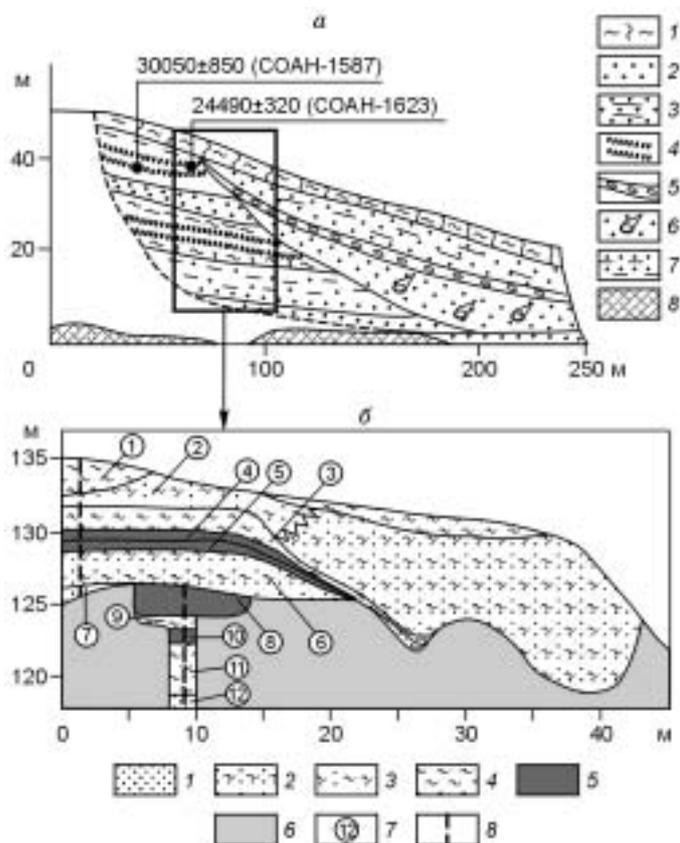


Рис. 1. Место расположения разреза Огурцово.

увала (преимущественно лессы и палеопочвы), к которому прислонена (врезана) озерная терраса, представленная параллельно-слоистыми песками и супесей (рис. 2, *a*). При этом в субэвразальной толще им также отмечены горизонтально-слоистые пески, которые он трактует как озерные [Зыкина и др., 1981]. По В.А. Мартынову [1977], лессовидные отложения района Новосибирска имеют в основном делювиально-пролювиальный генезис. Основной задачей нашего исследования являлась ревизия представлений предшественников. Для этого было осуществлено фациально-генетическое расчленение разреза, а также

Рис. 2. Разрез Огурцово.

*a* — по И.А. Волкову [Волков, Орлова, 2000]: 1 — суглинок лессовидный, 2 — пески, 3 — переслаивание суглинков, супесей и мелкозернистого песка, 4 — алевроит желто-серый, 5 — прослой галечника, 6 — озерные пески с раковинами моллюсков, 7 — алевроит светло-желтый, 8 — дочетвертичные породы;  
*b* — по авторам настоящей статьи (по вертикальной оси приведены абсолютные отметки высот): 1 — песок, 2 — переслаивание песков и алевропесков, 3 — переслаивание песков, алевропесков и алевроитов, 4 — алевроит, 5 — палеопочвы, 6 — осыпь, 7 — номера слоев, 8 — линии расчисток.



выявление основных закономерностей изменения гранулометрического состава и магнитных характеристик отложений в зависимости от их принадлежности к тому или иному литогенетическому типу. Нами был выбран, расчищен и описан фрагмент разреза, приуроченный к обнажению, где видно взаимоотношение субаэральной толщи увала и параллельно-слоистой толщи (на рис. 2, *а* фрагмент разреза показан прямоугольником). На рис. 2, *б* показан участок обнажения, вскрытый из-под оплыва; вертикальными линиями показаны места расчисток, где отбирались пробы. Детально закартированное и изученное обнажение является ключевым для понимания закономерностей строения и формирования всего разреза.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ И ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

**Геологическое описание и отбор образцов.** В полевых условиях проведено макровизуальное описание серии естественных обнажений. Геологическая документация ключевого обнажения, показанного на рис. 2, *б*, велась на основе детальных измерений мощностей и линейных размеров геологических тел рулеткой и мерными шнурами. Параллельно с геологическим описанием, осуществлялся отбор образцов в виде ориентированных штуфов-монолитов размером  $10 \times 5 \times 5$  см по двум вертикальным расчисткам общей мощностью 15.5 м. Рыхлые разности пород отбирались в пластиковые коробки. В лаборатории из штуфов изготавливались стандартные ( $2 \times 2 \times 2$  см) образцы для петромагнитных исследований и готовились пробы для гранулометрического и рентгеноструктурного анализов. Общая коллекция составила 772 образца-кубика, характеризующих 15.3 м мощности разреза с шагом 3—5 см.

**Гранулометрические исследования.** Для изучения гранулометрического состава применялся анализатор размера частиц Microtrac X100. Для диспергирования образцов использовалась ультразвуковая обработка. Измерения каждого образца производились до и после обработки, что дало возможность оценить степень агрегированности частиц ( $d$ ), под которой мы понимаем разницу между содержаниями фракций до и после ультразвуковой обработки. В дальнейшем все гранулометрические данные приводятся по результатам, полученным после ультразвуковой обработки. Диапазон размеров частиц составляет 704 мкм (0.704 мм) — 0.146 мкм (0.000146 мм), общее количество измеряемых фракций — 50. Результаты гранулометрического анализа представляются в объемных процентах по каждому образцу. Фракции были объединены в 4 группы в соответствии с классификацией А.В. Раукаса [1981]: песчаная ( $>0.1$  мм); крупноалевритовая (0.1—0.06 мм); мелкоалевритовая (0.06—0.01 мм); пелитовая фракция ( $<0.01$  мм). Отличие от классификации А.В. Раукаса состоит в смещении границы внутри алевритовой фракции от 0.05 до 0.06 мм, поскольку именно на этой границе меняется характер корреляционной зависимости между гранулометрическими фракциями. Гранулометрический анализ был выполнен по 148 образцам, взятым равномерно (через 10 см) по разрезу.

**Петромагнитные характеристики.** Петромагнитное изучение образцов включало измерение естественных магнитных параметров: объемной магнитной восприимчивости ( $\chi$ ) по 772 образцам, частотно-зависимой магнитной восприимчивости ( $FD$ ) по 149 образцам; величины естественной остаточной намагниченности (NRM) (по 450 образцам). С использованием этих характеристик был рассчитан фактор Кенигсбергера ( $Q$ ). По 153 образцам изучены искусственные виды намагниченности: намагниченность насыщения (SIRM), полученная в поле 1.4 Тл, изотермическая остаточная намагниченность (IRM) — в обратном поле 300 мТл, и идеальная остаточная намагниченность (ARM), созданная в переменном поле 100 мТл в присутствии постоянного поля 0.045 мТл. Для измерения величин  $\chi$  и  $FD$  использовался измеритель магнитной восприимчивости Bartington с двухчастотным датчиком MS2B, величина и направление различных видов намагниченности измерялись на рок-генераторе ИОН-1.

Для оценки эффективного размера магнитного зерна использовались соотношения  $\chi/SIRM$ ,  $\chi/ARM$ ,  $SIRM/ARM$ , которые связаны с ним прямой зависимостью [Yoshida et al., 1994]. Для приближенной оценки состава магнитной фракции (соотношения магнитомягких и магнитожестких минералов) рассчитывался параметр  $S = IRM/SIRM$  и определялась величина медианного разрушающего поля (MDF) в процессе ступенчатого размагничивания переменным магнитным полем до 80 мТл. Изучение состава магнитной фракции было дополнено рентгеноструктурными исследованиями, проведенными в АЦ ОИГГМ СО РАН (аналитик Н.А. Пальчик), по 6 образцам из разных литогенетических типов отложений.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Геологическое строение разреза** представлено на рис. 2, *б*. В результате геологического описания нами было выделено 12 слоев; ниже дана их краткая геологическая характеристика и генетическая интерпретация. После указания мощности слоя приводится его генетический индекс. Обозначения генетических индексов заимствованы из [Типовые..., 1986]. Сверху вниз в разрезе вскрыты:

Слой 1 (1.1—2.5 м) L1<sup>1</sup>. Под современным почвенным покровом (P0) мощностью до 110 см обнажается алевролит палевоый лессовидный пористый. На уровне 1.4—1.6 м протягивается серия темно-серых гумусированных прослоек. Генетический тип — наваянные отложения (лесс).

Слой 2 (2.5—3.25 м) LSD. Тонкое переслаивание светло-серых песков тонкозернистых, алевропесков и серых с голубоватым оттенком алевролитов комплексного эолово-делювиально-солифлюкционного генезиса. Слоистость обусловлена процессами переотложения материала по склону, а процессы солифлюкции выражены в наличии микрокарманов и складок. В пределах расчисток слой представляет собой привершинную фацию делювиального шлейфа; по латерали и вниз по склону оврага слой становится более песчаным, что характерно для низовой фации делювиального шлейфа.

Слой 3 (3.25—5.0 м) L1<sup>2</sup>. Алевролит палевоый неслоистый со столбчато-призматической отдельностью, пористый. В нижней части слоя встречаются прослой гумуса на уровнях 4.4 и 4.8 м в виде редких пунктирных линз. Генетический тип — наваянные отложения (лесс).

Слой 4 (5.0—5.8 м) P1<sup>1</sup>. Темно-серый гумусированный алевролит пелитистый мощностью от 2—3 до 5—10 см с затеками и мерзлотными клиньями на глубину до 20—30 см в подстилающий карбонатизированный горизонт. Генетический тип — ископаемая почва.

Слой 5 (5.8—6.5 м) P1<sup>2</sup>. Бурый гумусированный алевролит пелитистый толщиной 11—15 см, который залегает на более светлом горизонте. Материнский субстрат представляет собой алевролит песчаный палевоый. Генетический тип — ископаемая почва.

Слои 5, 4 и гумусированный прослой на уровне 4.8 м в слое 3 определены в работе [Зыкина и др., 1981] как искитимский педокомплекс. Из слоя 4 В.А. Панычевым и Л.В. Фирсовым получена радиоуглеродная дата по углю  $24490 \pm 320$  л.н., а из слоя 5 —  $30050 \pm 850$  л.н. [Зыкина и др., 1981].

Слой 6 (6.5—8.85 м) D1. Переслаивание субгоризонтальное (угол наклона около 5°), субпараллельное песка светло-серого тонко- и мелкозернистого (мощность слойков 1—2 см) и алевропеска палевого (мощность слойков 2—4 м). Слой представляет собой субазрально-склоновый комплекс отложений. Генетический тип — делювий.

Слой 7 (8.85—9.6 м) D2. Переслаивание наклонное (угол наклона около 18° выдержан по всему слою) субпараллельное песка и алевропеска. По сравнению со слоем 6 увеличивается содержание песчаных слойков. Генетический тип — делювий.

Перекрывающий слой 6 залегает на слое 7 с резким угловым несогласием, что можно рассматривать как свидетельство стратиграфического перерыва.

Слой 8 (9.6—10.7 м) P2. Два гумусированных (верхний — темно-бурый, нижний — темно-серый) горизонта алевролита пелитистого мощностью до 40 см, разделенных серо-бурыми, светло-бурыми горизонтами алевролита, присутствуют кротовины, угольки. Генетический тип — ископаемая почва

Слой 9 (10.7—11.4 м) L2. Алевролит светло-палевоый неслоистый лессовидный. Встречаются угольки. Генетический тип — наваянные отложения (лесс).

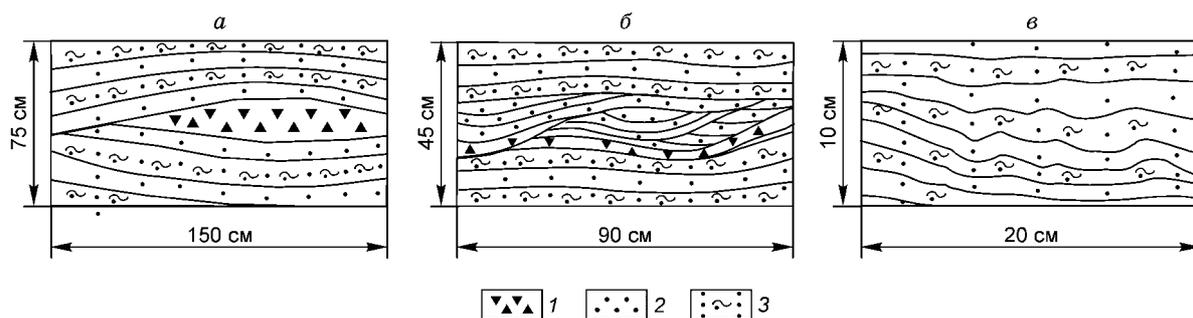
Слой 10 (11.4—12.8 м) P3. Коричневый гумусированный горизонт алевролита пелитистого мощностью до 0.6 м и подстилающего его бурого горизонта алевролита с ореховатой текстурой. Генетический тип — ископаемая почва.

Слои 8, 9, 10 В.С. Зыкиной были определены предварительно [Зыкина и др., 1981] как шипуновский педокомплекс.

Слой 11 (12.8—15.3 м) L3. Лессовидный алевролит песчанисто-пелитистый палево-бурого цвета, пористый, неслоистый, с включениями карбонатов (до 3 мм) и прослоями песка. Генетический тип — наваянные отложения (лесс).

Слой 12 (15.3—15.5 м). Песок светло-серый тонко- и мелкозернистый пылеватый неслоистый, возможно, флювиального генезиса.

Ранее И.А. Волковым и др. [Волков, Архипов, 1978] слои 2, 6, 7 описывались как озерные отложения. Нами слои 6, 7 трактуются как делювиальные, а слой 2 как комплексного эолово-делювиально-солифлюкционного генезиса. При этом слой 2 по латерали вниз по оврагу переходит в переслаивающиеся пески и алевропески, аналогичные слоям 6, 7 (см. рис. 2). В пользу делювиального генезиса этих отложений свидетельствуют не только слоистость, параллельная склону, но и наличие грубого несортированного неокатанного материала в нижней части делювиального шлейфа, прослеженного вниз по оврагу за пределы показанной на рис. 2 расчистки. Там присутствует более грубый материал, наблюдаются прослой и линзы дресвы (рис. 3, а), образовавшиеся в результате перемыва субстрата. Размерность обломков уменьшается вверх по склону оврага от Оби, тогда как в озерных отложениях крупность обломков должна возрастать к берегу. Характерны прослой песка с косою слоистостью флювиального типа мощностью до 10 см, включающие остроугольные дресвяные и щебневые обломки (см. рис. 3, б). Также в пользу делювиального происхождения песков, обнажающихся в низах оврага, свидетельствуют солифлюкционные текстуры (см. рис. 3, в), гумусированные прослой, кротовины в параллельно-слоистой толще.



**Рис. 3. Текстурные особенности делювиальных отложений разреза Огурцово.**

*a* — линзы гравийника; *б* — прослой песка с косою слоистостью флювиального типа; *в* — солифлюкционные текстуры. 1 — гравийник, 2 — песок, 3 — переслаивание песков и алевропесков.

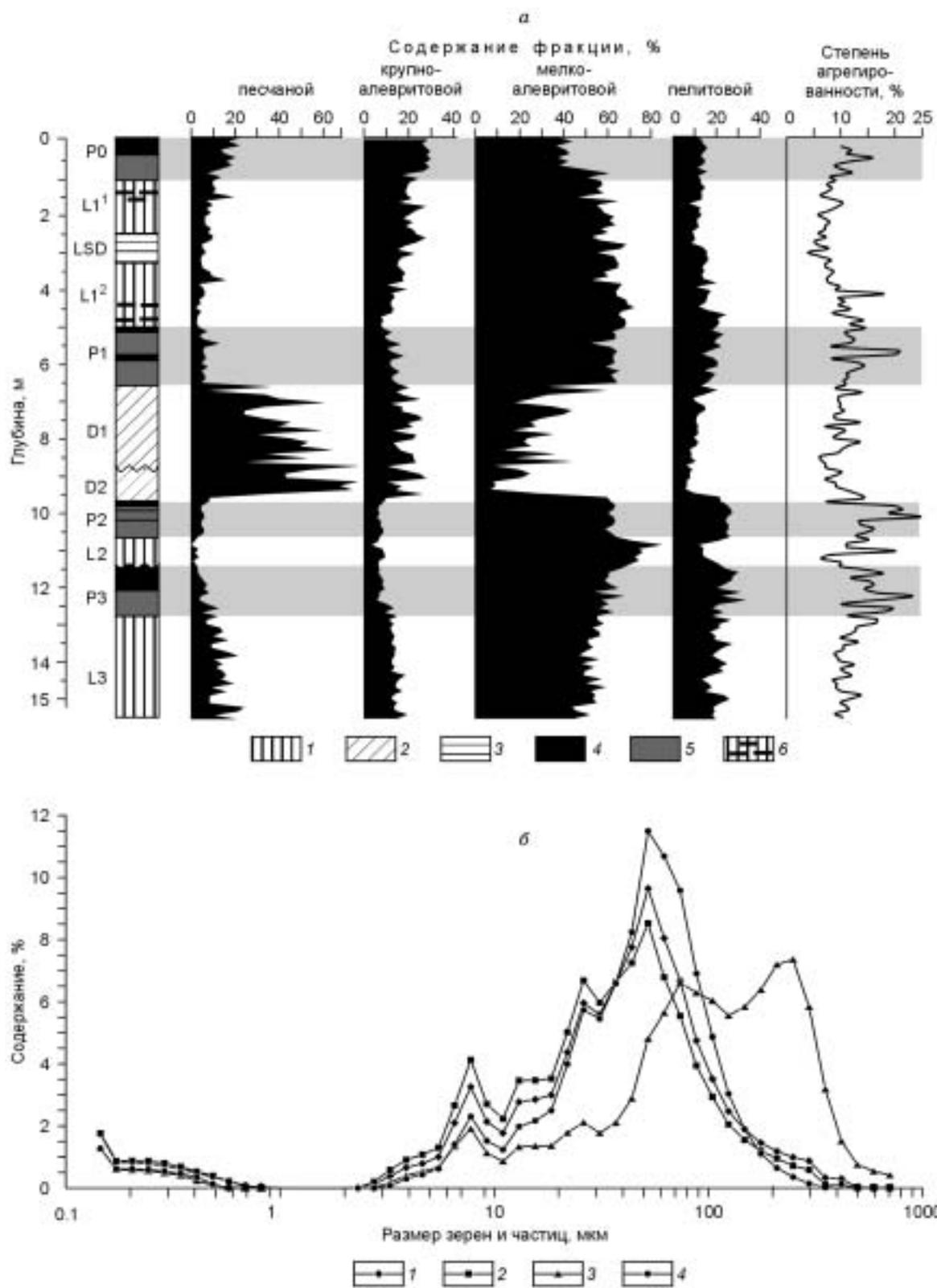
Выполненное на основе макровизуальных седиментологических исследований фациально-генетическое расчленение разреза было использовано для выявления критериев разделения различных фаций субэразального комплекса аналитическими методами.

**Гранулометрический состав отложений.** Изменение гранулометрических показателей по разрезу представлено на рис. 4, *a*. Наиболее неравномерно по разрезу распределена *песчаная фракция*: в делювиальной толще ее содержание достигает 60 % и более, тогда как в остальной части разреза она содержится в количестве 5—10 % в зависимости от литогенетической разновидности. *Мелкоалевритовая фракция* является преобладающей почти по всему разрезу за исключением делювиальной толщи. Ее содержание во всех остальных типах отложений колеблется в пределах 60—65 %, в нижней части разреза уменьшается до 55 %. По повышенному содержанию мелкоалевритовой фракции очень четко выделяется лессовый горизонт L2 (см. рис. 4, *a*). Содержание *крупноалевритовой фракции* по разрезу не превышает 25 %. Ее увеличение четко маркирует слои делювиального и комплексного генезиса, а уменьшение — горизонты ископаемых почв. Исключение представляет горизонт L2, где содержание крупноалевритовой фракции не отличается от палеопочв P2 и P3. В целом содержание крупноалевритовой фракции в верхней части разреза в 1.5 раза выше, чем в нижней. Содержание *пелитовой фракции* по разрезу не превышает 30 %. При этом в палеопочвах и в лессовом горизонте L3 ее содержание превышает 15 %, в лессовых горизонтах составляет 10—15 %, а в делювиальных отложениях и отложениях комплексного генезиса не поднимается выше 10 % (см. рис. 4, *a*).

Усредненный гранулометрический состав, иллюстрирующий специфику распределения гранулометрических фракций для различных литогенетических типов отложений, представлен на рис. 4, *б*. Обращает на себя внимание общая для всех типов пород особенность — это отсутствие фракций размером от ~0.5 до ~3 мкм во всех отложениях. Отсутствие частиц пелитовой размерности Л.Б. Рухин, в общем случае, рассматривает как признак, отличающий субэразальные пески от субаквальных [Справочное руководство..., 1958]. По-видимому, частицы более 3 мкм имеют аллотигенное происхождение, а частицы менее 0.5 мкм являются аутигенными, образовавшимися в результате выветривания и других постгенетических преобразований отложений. В разрезе Огурцово наиболее высокая концентрация мелких (<0.5 мкм) пелитовых частиц наблюдается в палеопочвах, меньшая — в лессовых отложениях и минимальная — в делювиальных отложениях и отложениях комплексного генезиса.

Таким образом, изменения содержания пелитовой фракции отражают влияние нескольких процессов. В палеопочвах ее повышенное содержание связано с постгенетическим преобразованием отложений в периоды педогенеза и криогенеза и, как следствие, с образованием глинистых минералов [Добровольский, 1976]. Об этом же свидетельствует увеличение степени агрегированности *d* (см. рис. 4, *a*), особенно в наиболее развитых палеопочвах (P2 и P3). При делювиальных процессах происходит вынос тонкозернистого материала под действием процессов плоскостного смыва. Это приводит к пониженной концентрации пелитовых частиц в делювиальной толще (D1, D2) и в слое комплексного генезиса (LSD), что подтверждается уменьшением величины *d* в этих горизонтах (см. рис. 4, *a*). Тем не менее в слое LSD, как и в лессах, преобладает фракция мелкоалевритовой размерности, поскольку процессы делювиального перераспределения в этом горизонте были не столь интенсивными из-за пологого склона, и песчаного материала накопилось мало (<10 %), а процессы переотложения вещества по склону отразились в увеличении доли крупноалевритовой фракции по сравнению с лессами.

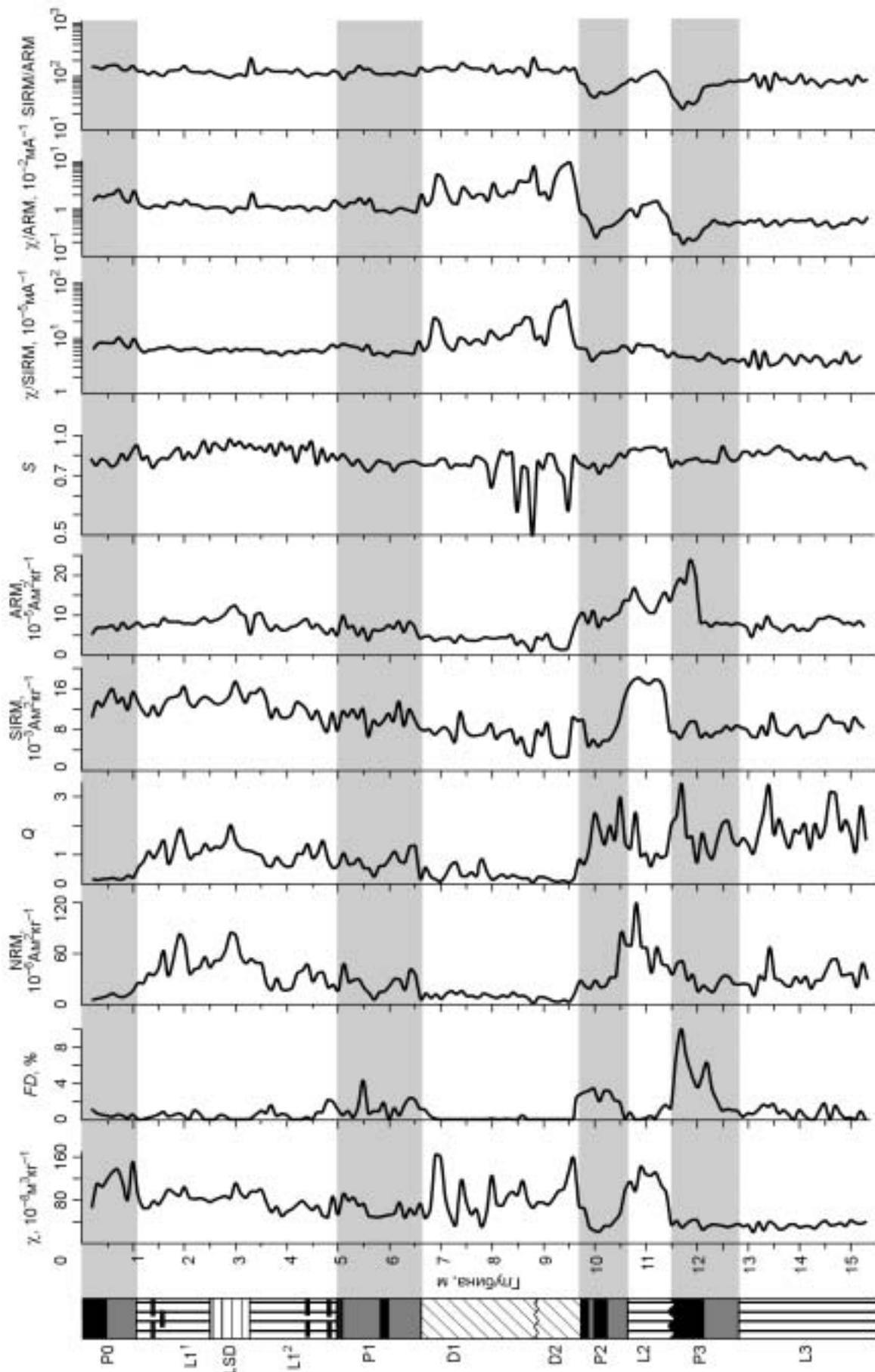
**Петромагнитные характеристики.** По магнитным характеристикам толща субэразальных отложений отчетливо разделяется на три части (рис. 5).



**Рис. 4. Гранулометрический состав отложений разреза Огурцово.**

*а* — распределение гранулометрических фракций и степени агрегированности по разрезу: 1 — лесс, 2 — делювиальные отложения, 3 — отложения комплексного эолово-делювиально-солифлюкционного генезиса, 4 — горизонт А, 5 — горизонт В; 6 — гумусовые прослойки.

*б* — усредненный гранулометрический состав различных литогенетических типов отложений по 50 фракциям: 1 — лессы, 2 — палеопочвы, 3 — делювиальные отложения, 4 — слой комплексного генезиса.



**Рис. 5.** Петромагнитные характеристики отложений разреза Огурцово. Усл. обозн. см. на рис. 4.

Верхняя часть разреза (1.1—6.6 м) включает в себя верхнюю лессовую толщу (L1), слой комплексного генезиса (LSD), подразделяющий лесс на два слоя (L1<sup>1</sup> и L1<sup>2</sup>) и палеопочвенные (P1) горизонты. В этой части разреза концентрационные магнитные параметры ( $\chi$ , SIRM, ARM) изменяются синхронно, проявляя общую тенденцию незначительного уменьшения с глубиной. Исключение составляет слой LSD, который характеризуется немного более высокими значениями  $\chi$ , SIRM, ARM, сравнимыми с верхним слоем L1<sup>1</sup>. Эти же магнитные характеристики слоя L1<sup>2</sup> заметно ниже, а самые низкие их значения наблюдаются в палеопочве P1. Такое поведение свидетельствует о небольшом увеличении концентрации магнитных минералов вверх по разрезу. Структурно-чувствительные соотношения магнитных характеристик  $\chi$ /SIRM,  $\chi$ /ARM, SIRM/ARM практически постоянны, так же как и FD, за исключением нижнего слоя палеопочвы P1<sup>2</sup>, где отмечается их небольшое снижение, так же как и увеличение FD (до 4.3 %), указывает на уменьшение эффективного размера частиц магнитной фракции.

Параметр  $S$  постепенно увеличивается, начиная с верхнего слоя лессовой толщи от 0.87 до почти 1.0 в слое LSD, затем также постепенно уменьшается до 0.87 к нижней части слоя L1<sup>2</sup> и далее в палеопочве P1 уменьшается до 0.8. Такие величины и характер поведения  $S$  говорит об однородном составе магнитной фракции с преобладанием магнитомягкого минерала (магнетита и(или) маггемита) в слое комплексного золово-делювиально-солифлюкционного генезиса и о появлении магнито жесткого минерала (гематита и(или) гетита) в палеопочве [Yoshida et al., 1994]. В магнитной фракции лессовой толщи также присутствует высококоэрцитивный минерал, содержание которого вблизи почвенных горизонтов (P0, P1) увеличивается. Наличие магнетита и гематита в отложениях было подтверждено рентгеноструктурными исследованиями (рис. 6), наличие гетита не установлено.

Средняя часть разреза, представленная делювиальной толщей (6.6—9.7 м), характеризуется самым большим разбросом некоторых магнитных параметров (см. рис. 5), главным образом  $\chi$ , SIRM и  $S$ , особенно для слоя D2. Значения  $S$  меняются от 0.95 до 0.5, что свидетельствует о чрезвычайно неоднородном составе магнитной фракции по соотношению магнитомягких и магнито жестких минералов. Резкие колебания  $\chi$  и SIRM связаны с изменениями концентрации магнитных минералов в различных горизонтах делювиальной толщи. Напротив, низкие и почти не меняющиеся значения NRM,  $Q$  и ARM и практически равные нулю значения FD по всей делювиальной толще свидетельствуют об отсутствии либо очень малом количестве мелких магнитных однодоменных (SD) и суперпарамагнитных (SP) частиц химического происхождения, следовательно, о слабых химических постседиментационных преобразованиях. Судя по отношениям  $\chi$ /ARM и  $\chi$ /SIRM, эффективный размер магнитного зерна в делювии намного больше по сравнению с

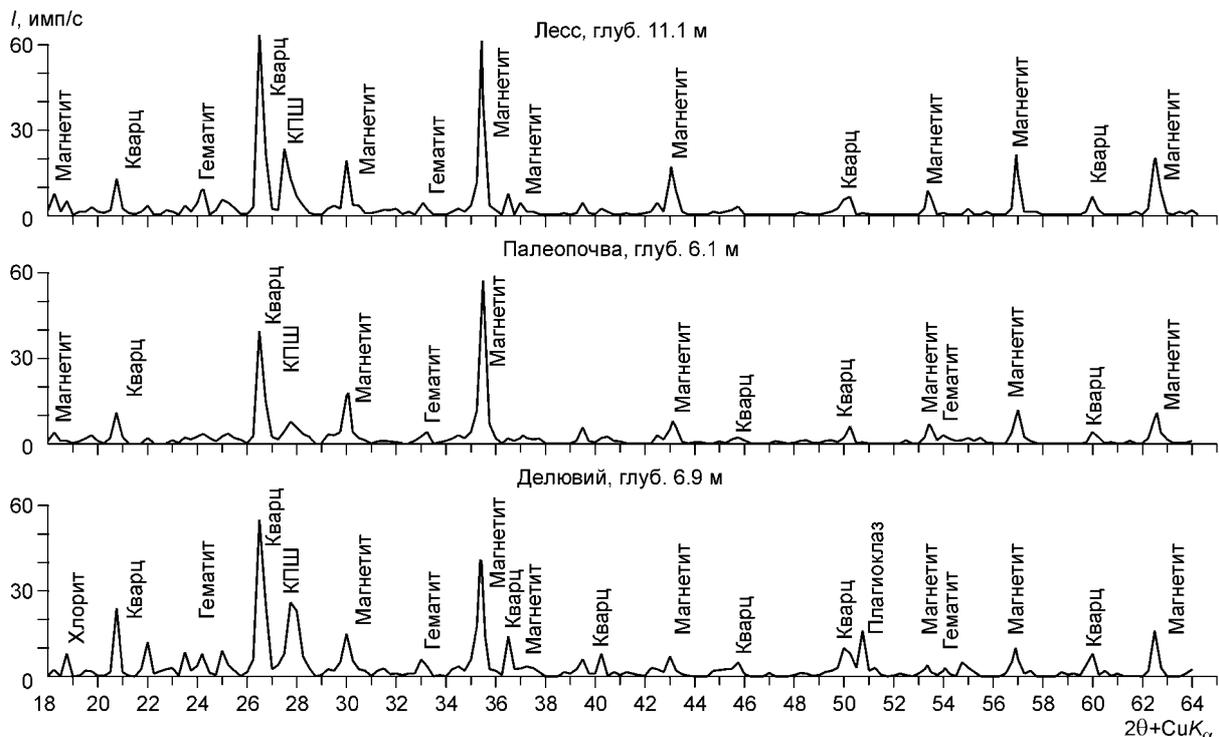


Рис. 6. Рентгеноструктурные диаграммы наиболее типичных образцов.

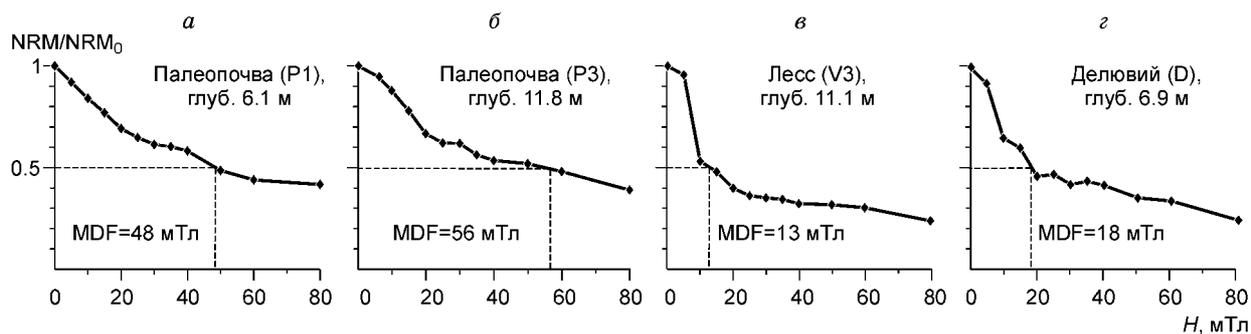


Рис. 7. Результаты размагничивания образцов переменным полем.

вышележащими отложениями, особенно в нижнем слое (D2) с высоким содержанием песка. Такие величины и поведение всех магнитных параметров дают основание предполагать, что подавляющее большинство магнитных зерен в делювиальном горизонте имеет терригенное происхождение.

Отложения нижней части разреза (9.7—15.3 м) (см. рис. 5) представлены двумя горизонтами лессов (L2, L3) и двумя палеопочвами (P2, P3). Горизонты P2, L2, P3 наиболее контрастны по магнитным свойствам. В P2 и P3 по сравнению с L2 уменьшается как концентрация магнитных частиц, так и их относительный размер, но при этом возрастает количество аутигенных магнитных минералов химического происхождения ( $Q$  до 3.5). Это подтверждается появлением в гумусовых горизонтах мелких магнитных зерен:  $SD$  и  $SP$ , фиксируемых по повышенным значениям  $ARM$  и  $FD$  (до 10 % в P3) и по асинхронному изменению  $ARM$  по отношению к  $\chi$  и  $SIRM$  (см. рис. 5). Лессовый горизонт L3 по петромагнитным параметрам ( $\chi$ ,  $SIRM$ ,  $ARM$ ,  $NRM$ ,  $Q$  и др.) не отличается от вышележащего P3. Различия здесь наблюдаются в поведении структурно-чувствительных характеристик: пониженные (<2 %), значения  $FD$ , указывающие на снижение концентрации  $SP$ -зерен, увеличении значений  $\chi/ARM$ ,  $SIRM/ARM$  (в ~2 раза), что свидетельствует об увеличении эффективного размера магнитного зерна, связанное с уменьшением относительной концентрации мелких ( $SD$  и  $SP$ ) зерен. Что касается параметра  $S$ , он и здесь наиболее четко показывает различия между генетическими типами отложений. Лессовые горизонты характеризуются более высокими значениями  $S$  (0.87—0.95), в палеопочвах они колеблются в пределах 0.81—0.9.

Присутствие в ископаемых почвах большего по сравнению с лессовыми горизонтами количества гематита, установленное для всего разреза Огурцово по поведению параметра  $S$ , также подтверждается и значениями медианного разрушающего поля (MDF). Самыми магнитоустойчивыми являются гумусовые горизонты P1 (рис. 7, а), P2 и P3 (см. рис. 7, б) (MDF 45—80 мТл), отложения лессовых горизонтов более магнитомягкие (13—25 мТл) (см. рис. 7, в), и делювиальные отложения близки по этому параметру к лессам (20—35 мТл) (см. рис. 7, з).

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

**Закономерности геологического строения.** Комплексное изучение опорного разреза субаэральных четвертичных отложений Огурцово позволило дать новую интерпретацию фациально-генетического расчленения разреза. Рядом исследователей [Волков, Архипов, 1978; Волков, 1997; Волкова, Михайлова, 2001] отстаивается концепция существования в сартанское время на территории Западной Сибири приледникового озера-моря, следы которого, по мнению И.А. Волкова, присутствуют в разрезе Огурцово в виде озерных отложений [Волков, Архипов, 1978]. Проведенные исследования позволили установить делювиальный генезис слоистых алевропесчаных отложений, в доказательство которого приведен ряд геологических свидетельств. Отсутствие озерных отложений в разрезе Огурцово является принципиально новым положением в стратогенетических построениях, которое находится в хорошем согласии с результатами современных междисциплинарных исследований [Кузьмин и др., 2004; Svendsen et al., 2004], свидетельствующих, что на протяжении сартанской эпохи покровное оледенение не захватывало север Западной Сибири и, соответственно, подпрудного бассейна на этой территории в это время быть не могло. Таким образом, новая трактовка геологического строения разреза Огурцово существенно уточняет и дополняет историю геологического развития Новосибирского Приобья в неоплейстоцене.

**Закономерности изменения гранулометрического состава отложений.** Различные литогенетические типы отложений обладают специфическим распределением гранулометрических фракций. Наиболее ярко и практически по всем размерностям выделяются делювиальные отложения, которые характе-

ризуются большим количеством крупных (песчаных) зерен и наименьшим содержанием тонкого материала (рис. 8, а). В палеопочвах по сравнению с лессами присутствует меньшее количество крупнозернистого материала (песчаные, крупноалевритовые зерна) и большее — тонкозернистого (мелкоалевритовые, пелитовые частицы), кроме того, для них характерно увеличение степени агрегированности (см. рис. 8, б). Слой комплексного эолово-делювиально-солифлюкционного генезиса, так же как делювиальные отложения, характеризуется повышенным содержанием крупноалевритовой фракции и пониженным содержанием пелитовых частиц, что связано с их выносом под действием процессов плоскостного смыва.

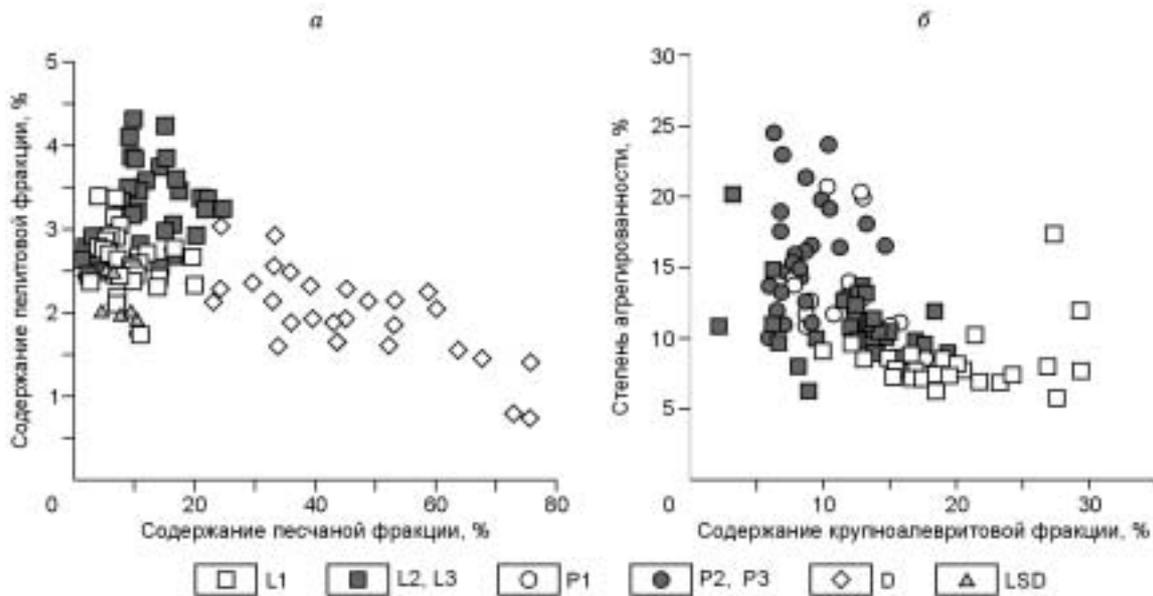
Выявлены различные эмпирические закономерности изменения гранулометрических характеристик, отличающиеся для двух линий преобразования навесанных отложений: 1) лесс—делювий (переотложение субстрата плоскостным смывом), что выражается в повышенной концентрации песчаной и крупноалевритовой фракций при снижении содержания пелитовой фракции, и 2) лесс—почвы (диагенетическое преобразование процессами педогенеза и криогенеза), которая проявляется в увеличении степени агрегированности и концентрации аутигенных пелитовых частиц.

Отложения одного генетического типа, но разного возраста также имеют ряд отличий. Например, нижняя часть разреза (среднеплейстоценовая?) по сравнению с верхней характеризуется в целом большей концентрацией пелитовых частиц, что связано с более сильным химическим преобразованием толщи. Здесь же наблюдается и снижение концентрации частиц крупноалевритовой размерности, что может указывать на слабое влияние делювиальных процессов на формирование осадков нижней толщи. Различия в гранулометрических показателях верхней и нижней частей разреза определяется, по всей видимости, различием в климатических условиях (температура, влажность) в среднем и позднем неоплейстоцене.

Таким образом, в данном геологическом разрезе субэдральной толщи Новосибирского Приобья гранулометрический состав ярко отражает обстановки формирования, переотложения и диагенетического преобразования отложений. Различным литогенетическим типам присущи специфические особенности целого ряда показательных гранулометрических характеристик.

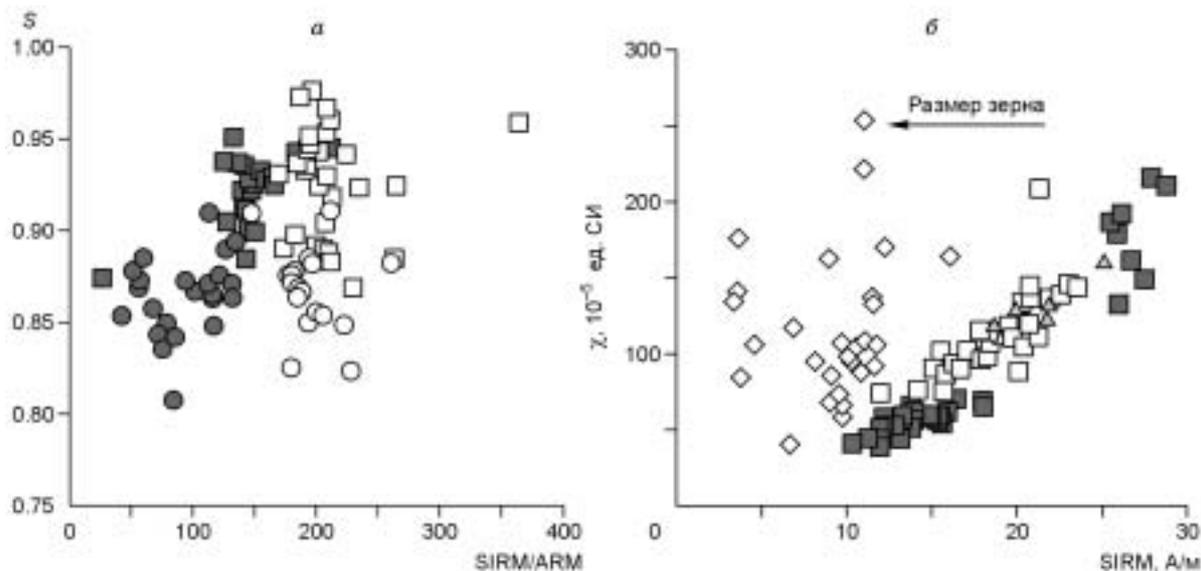
**Закономерности изменения петромагнитных свойств отложений.** Выделенные на основе геологических данных фациально-генетические разности в субэдральной четвертичной толще на территории Новосибирского Приобья характеризуются каждый своими специфическими магнитными свойствами, обусловленными поведением магнитных параметров, их соотношений и составом магнитной фракции.

Во всем разрезе наблюдаются два основных отличия магнитных характеристик ископаемых педокомплексов от лессов: а) пониженная концентрация магнитной фракции, обусловленная уменьшением ветровой деятельности в теплые периоды, б) присутствие *SP*-зерен и повышенное содержание гематита, связанные с педогенными процессами (химическими и биохимическими) *in situ* [Heller, Evans, 1995]. В нижней части разреза, кроме перечисленных факторов, различия определяются уменьшением эффектив-



**Рис. 8. Распределение некоторых гранулометрических характеристик в разных литогенетических типах отложений.**

а — лессы и делювиальные отложения, б — лессы и палеопочвы (пояснение индексов см. в тексте).



**Рис. 9. Распределение петромагнитных параметров в литогенетических типах отложений.**

*a* — лессы и палеопочвы; *б* — лессы и делювиальные отложения. Усл. обозн. см. на рис. 8.

ного размера магнитного зерна в ископаемых почвах относительно лессовых горизонтов, что, так же как и пониженную концентрацию, можно объяснить ослаблением силы ветра в теплые периоды.

Делювиальные отложения отличаются как от лессовых отложений, так и от ископаемых почв по всем магнитным параметрам и характеризуются: а) наибольшим разбросом магнитных параметров, отражающих изменения концентрации и состава магнитной фракции; б) наибольшим эффективным размером магнитного зерна; в) низкими значениями  $FD$ ,  $Q$  и  $ARM$ , свидетельствующими об отсутствии мелких зерен ( $SD$ ,  $SP$ ) магнитных минералов химического происхождения. Отложения комплексного генезиса по петромагнитным характеристикам ближе к подстилающим и перекрывающим их лессам, чем к делювиальным отложениям.

Магнитные характеристики, так же как и гранулометрические показатели, отражают различия между литогенетическими типами. Различия между лессами и палеопочвами наиболее показательны на графике  $S$  от  $SIRM/ARM$  (рис. 9, *a*). При этом соотношение  $SIRM/ARM$  показывает не только увеличение размера зерна в лессах относительно палеопочв, но и выявляет различия между разновозрастными толщами: отложения верхней части в обоих генетических типах имеют более высокие значения  $SIRM/ARM$ , чем отложения в нижней части разреза. Делювиальные отложения характеризуются более крупным, чем лессы, размером магнитных частиц, а также большей неоднородностью по концентрации магнитных минералов, что хорошо видно на графике зависимости  $\chi$  от  $SIRM$  (см. рис. 9, *б*).

Особенности петромагнитных свойств подразделяются на две группы: некоторые из них (например, состав магнитной фракции) присущи только конкретному генетическому типу отложений независимо от возраста, другие (как, например, эффективный размер магнитного зерна) проявляют большую зависимость от возраста отложений.

Характер изменения петромагнитных характеристик (концентрационных и структурно-чувствительных), так же как и состав магнитной фракции в лессовых горизонтах и педокомплексах разреза Огурцово, типичен для Западной Сибири и Предалтайской равнины [Матасова и др., 2003; Matasova, Kazansky, 2004]. Формирование магнитных свойств здесь шло по так называемой „сибирской модели“, которая определяется суперпозицией двух механизмов: 1) ветрового, обеспечивающего повышенную концентрацию крупных зерен магнитных минералов в лессах за счет эолового привноса, и 2) педогенного, обуславливающего повышенную концентрацию мелких  $SP$ - и  $SD$ -зерен в палеопочвах [Матасова и др., 2003].

Таким образом, вариации магнитных характеристик являются чувствительным индикатором изменения физико-химических условий накопления и дальнейшего преобразования осадков, а физико-химические условия, в свою очередь, определяются особенностями среды и колебаниями климата.

**Связь гранулометрических и петромагнитных параметров.** Зависимости различных магнитных параметров от содержания фракций определенного размера наблюдаются по всему разрезу, но величина коэффициентов корреляции в разных его частях меняется. Так, например, для магнитной восприим-

**Корреляция между магнитными характеристиками и содержанием гранулометрических фракций  
(по 148 образцам, в целом по разрезу)**

Гранулометрическая характеристика	$\chi$	SIRM	NRM	$Q$	ARM	$FD$	$S$	$\chi/ARM$	$\chi/SIRM$	SIRM/ARM
Песчаная фракция (>0.1 мм)	0.19	<b>-0.57</b>	<b>-0.53</b>	<b>-0.49</b>	<b>-0.59</b>	-0.31	<b>-0.46</b>	<b>0.64</b>	<b>0.56</b>	<b>0.36</b>
Крупноалевритовая фракция (0.1—0.06 мм)	<b>0.38</b>	0.13	-0.22	<b>-0.41</b>	<b>-0.40</b>	<b>-0.44</b>	0.04	0.06	0.11	<b>0.61</b>
Мелкоалевритовая фракция (0.06—0.01 мм)	-0.15	<b>0.57</b>	<b>0.58</b>	<b>0.46</b>	<b>0.60</b>	0.28	<b>0.45</b>	<b>-0.55</b>	<b>-0.50</b>	<b>-0.38</b>
Пелитовая фракция (<0.01 мм)	<b>-0.53</b>	-0.07	0.18	<b>0.58</b>	<b>0.49</b>	<b>0.60</b>	0.05	<b>-0.39</b>	<b>-0.38</b>	<b>-0.66</b>
Степень агрегированности	-0.33	-0.25	-0.17	0.16	0.22	<b>0.43</b>	-0.23	-0.09	-0.12	<b>-0.43</b>
Средний диаметр зерна	0.22	<b>-0.51</b>	<b>-0.51</b>	<b>-0.51</b>	<b>-0.60</b>	-0.35	<b>-0.40</b>	<b>0.63</b>	<b>0.57</b>	<b>0.42</b>

Примечание. Выделены значимые коэффициенты корреляции.

чивости в верхней части разреза наблюдается максимальная корреляция с содержанием крупноалевритовой фракции, в нижней части разреза — с содержанием мелкоалевритовой фракции, а в делювиальной толще — с крупноалевритовой и песчаной фракциями. Сходные закономерности наблюдаются и для других петромагнитных параметров, что указывает на своеобразие ансамблей магнитных зерен, определяющих магнитные свойства каждого литогенетического типа отложений. Наибольший интерес представляют общие закономерности, отраженные в корреляции гранулометрических и петромагнитных параметров в целом по разрезу (таблица). Из таблицы видно, что магнитные свойства отложений разреза Огурцово определяются ансамблями магнитных зерен, принадлежащими разным гранулометрическим фракциям. Магнитная восприимчивость связана в основном с частицами крупноалевритовой размерности, остаточная намагниченность насыщения и NRM — с частицами мелкоалевритовой размерности, ARM и  $Q$  с двумя фракциями — мелкоалевритовой и пелитовой, а  $FD$  — только пелитовой. Полученные закономерности хорошо согласуются с теоретическими оценками доменного состояния магнитных зерен [Dunlop, 1997, Butler, 1992]: поведение магнитной восприимчивости определяется концентрацией многодоменных зерен (>10 мкм), смешанные ансамбли многодоменных и псевдооднодоменных (~1—10 мкм) зерен определяют поведение SIRM, NRM; ансамбли однодоменных (~0.03—1 мкм) — поведение  $Q$  и ARM, присутствие суперпарамагнитных (<0.03 мкм) зерен определяет поведение  $FD$ , об этом же свидетельствует и ее хорошая корреляция со степенью агрегированности, в отличие от остальных параметров. Преобладание мелких (<10 мкм) магнитных зерен в отложениях, по-видимому, и обуславливает устойчивую обратную корреляцию петромагнитных параметров (SIRM, NRM,  $Q$ , ARM,  $FD$ ) с песчаной и, частично, с крупноалевритовой фракциями и средним диаметром зерна. Смена знака корреляции на границе крупно- и мелкоалевритовой фракций, фиксирующая преобладающий вклад псевдооднодоменных зерен в магнитные свойства осадков, косвенно подтверждает правильность выбранной нами гранулометрической классификации.

Несколько выбивается из этой схемы поведение параметра  $S$ , судя по его высокой обратной корреляции с содержанием песчаной фракции. Гематит, ответственный за пониженные значения  $S$ , должен быть в этом случае представлен крупными зернами, что плохо согласуется с нашими представлениями о его химической природе в палеопочвенных горизонтах. В отличие от всех остальных петромагнитных параметров, поведение  $S$  в делювиальных и лессово-почвенных отложениях различно, поскольку гематит в этих разностях представлен, по-видимому, зернами различного размера и природы. В лессово-почвенных отложениях  $S$  значимо коррелирует с содержанием пелитовой фракции ( $R = -0.40$ ) и со степенью агрегированности ( $R = -0.43$ ), что хорошо согласуется с предположением о химической природе гематита. В делювиальной толще изменения  $S$  связаны с содержанием песчаной фракции ( $R = -0.38$ ), по-видимому, гематит представлен крупными зернами обломочного происхождения или корками окисления на крупных зернах магнетита.

Особый интерес представляет сравнение гранулометрических показателей с параметрами, позволяющими напрямую оценивать эффективный размер магнитного зерна — SIRM/ARM,  $\chi/SIRM$ ,  $\chi/ARM$  (см. таблицу). Видно, что существует достаточно тесная взаимосвязь между параметрами SIRM/ARM,  $\chi/SIRM$ ,  $\chi/ARM$  и гранулометрическими показателями, по которым отложения дифференцируются на различные литогенетические типы. Лучшей оценкой содержания песчаной фракции является параметр  $\chi/ARM$ , для крупноалевритовой — SIRM/ARM, что еще раз свидетельствует о том, что различные магнитные параметры связаны с определенным размером зерна. Средний диаметр зерна коррелирует со

всеми тремя параметрами (SIRM/ARM,  $\chi$ /ARM,  $\chi$ /SIRM), что говорит о синхронном изменении размеров магнитного и кварцевого зерен, но самая высокая корреляция наблюдается с соотношением  $\chi$ /SIRM.

Таким образом, взаимосвязь гранулометрических и петромагнитных параметров показывает, что процессы формирования и преобразования отложений оказывают определяющее влияние как на магнитные свойства, так и на гранулометрический состав отложений, поэтому колебания этих параметров являются чувствительными индикаторами изменений, происходящих в окружающей среде. Это проявляется как в химически преобразованных отложениях, где повышаются концентрация пелитовой и мелкоалевритовой фракций и степень агрегированности частиц, что сопровождается ростом  $Q$ , ARM, NRM,  $FD$ , так и в неизменных отложениях наваянного генезиса, где повышение концентрации крупноалевритовой и песчаной фракций синхронно с увеличением эффективного размера магнитного зерна по  $\chi$ /SIRM и SIRM/ARM соответственно.

### ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований аналитическими методами (гранулометрическим и петромагнитным) подтверждено фашиально-генетическое расчленение, выполненное на основе полевого макро-визуального описания. Таким образом, отложения разреза Огурцово представлены типичным для Новосибирского Приобья субаэральным комплексом, внутри которого были выделены следующие фашиально-генетические разновидности: 1) эоловые наваянные отложения (лессы); 2) делювиальные отложения; 3) отложения комплексного эолово-делювиально-солифлюкционного генезиса; 4) педокомплексы (горизонты ископаемых почв). Озерные отложения в разрезе не установлены.

Изменения петромагнитных характеристик тесно связаны с изменениями гранулометрического состава, что обусловлено общей зависимостью этих двух групп параметров от обстановок формирования и преобразования отложений.

В гранулометрическом составе ярко проявлена специфика эолового осадконакопления, почвообразования с криогенным преобразованием субстрата и делювиального перераспределения материала по склону в условиях краевой части увала, выражающаяся в закономерном изменении гранулометрических параметров в различных литогенетических типах отложений.

Выделенные в субаэральной толще разреза Огурцово фашиально-генетические разновидности обладают своими характерными магнитными свойствами, обусловленными поведением магнитных параметров, их соотношений и составом магнитной фракции.

Авторы выражают признательность к.г.-м.н. С.К. Кривоногову за критические замечания и рекомендации.

Работа выполнена по проекту 11619 программы Рособразования „Развитие научного потенциала высшей школы“ и при поддержке РФФИ (грант 05-05-64221).

### ЛИТЕРАТУРА

- Волков И.А.** Позднечетвертичная субаэральная формация. М., Наука, 1971, 274 с.
- Волков И.А.** Пределы распространения сартанского ледника в Западной Сибири // Геология и геофизика, 1997, т. 38 (6), с. 1049—1054.
- Волков И.А., Архипов С.А.** Четвертичные отложения района Новосибирска (оперативно-информационный материал). Новосибирск, ИГиГ СО АН СССР, 1978, 90 с.
- Волков И.А., Орлова Л.А.** Каргинско-сартанское время и голоцен юго-восточной части Западной Сибири по данным радиоуглеродного метода датирования // Геология и геофизика, 2000, т. 41 (10), с. 1428—1442.
- Волкова В.С., Михайлова И.В.** Природная обстановка и климат в эпоху последнего (сартанского) оледенения Западной Сибири (по палинологическим данным) // Геология и геофизика, 2001, т. 42 (4), с. 678—689.
- Добровольский В.В.** География почв с основами почвоведения. М., Просвещение, 1976, 288 с.
- Зыкина В.С., Волков И.А., Дергачева М.И.** Верхнечетвертичные отложения и ископаемые почвы Новосибирского Приобья. М., Наука, 1981, 204 с.
- Кузьмин Я.В., Зольников И.Д., Орлова Л.А., Зенин В.Н.** Палеогеография Западно-Сибирской равнины во время максимума сартанского оледенения (в связи с находками мамонтов и палеолитических памятников) // Докл. РАН, 2004, т. 398, № 4, с. 542—544.
- Мартынов В.А., Мизеров Б.В., Никитин В.П., Шаевич Я.Е.** Геоморфологическое строение долины р. Оби в районе г. Новосибирска. Новосибирск, ИГиГ СО АН СССР, 1977, 35 с.

**Матасова Г.Г., Казанский А.Ю., Зыкина В.С.** Наложение „аляскинской“ и „китайской“ моделей записи палеоклимата в магнитных свойствах отложений верхнего и среднего неоплейстоцена на юге Западной Сибири // Геология и геофизика, 2003, т. 44 (7), с. 638—651.

**Раукас А.В.** Классификация обломочных пород и отложений по гранулометрическому составу. Таллин, Институт геологии АН Эстонской ССР, 1981, 24 с.

**Справочное руководство** по петрографии осадочных пород, Т. 2: Осадочные породы / Ред. Л.Б. Рухин. Л., Гостоптехиздат, 1958, 520 с.

**Типовые** условные обозначения для карт разного геологического содержания. Карта четвертичных отложений. Л., ИГ МГ СССР, 1986, 14 с.

**Butler R.F.** Paleomagnetism: magnetic domains to geologic terranes. Oxford, Blackwell Sci. Publ., 1992, 319 p.

**Dunlop D.V., Özdemir Ö.** Rock magnetism: fundamental and frontier. New York, Cambridge Univ. Press., 1997, 754 p.

**Heller F. and Evans M.E.** Loess magnetism // Rev. Geophys., 1995, v. 33, p. 211—240.

**Matasova G.G., Kazansky A.Y.** Magnetic properties and magnetic fabrics of Pleistocene loess/palaeosol deposits along west-central Siberian transect and their palaeoclimatic implications // Magnetic fabric. Methods and applications. Geological Society, Special Publication 238, London, 2004, p. 145—173.

**Svendsen J.I., Alexanderson H., Astakhov V.I., Demidov I., Dowdeswell J.A., Funder S., Gataullin V., Henriksen M., Hjort C., Houmark-Nielsen M., Hubberten H.W., Ingolfsson O., Jakobsson M., Kjaer K.H., Larsen E., Lokrantz H., Lunkka J.P., Lysa A., Mangerud J., Matiouchkov A., Murray A., Moller P., Niesse F., Nikolskaya O., Polyak L., Saarnisto M., Siegert C., Siegert M.J., Spielhagen R.F., Stein R.** Late Quaternary ice sheet history of northern Eurasia // Quater. Sci. Rev., 2004, v. 23, № 11—13, p. 1229—1271.

**Yoshida M., Khadim I.M., Ali M., Ahmad M.N.** Magnetic approaches to geological sciences, Part II: Methods in rock magnetism and paleomagnetism. Islamabad, Geoscience laboratory, 1994, 234 p.

*Рекомендована к печати 3 ноября 2005 г.  
А.В. Каныгиным*

*Поступила в редакцию  
15 июля 2005 г.*