

DOI: 10.17746/1563-0102.2019.47.1.003-014
УДК 551.791+550.384(235.222)

**В.С. Зыкина¹, В.С. Зыкин^{1,2}, А.О. Вольвах¹,
Л.Г. Смолянинова¹, И.Ю. Овчинников¹**

¹Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН
пр. Академика Коптюга, 3, Новосибирск, 630090, Россия

E-mail: zykina@igm.nsc.ru; zykin@igm.nsc.ru; sizikova@igm.nsc.ru; smol@igm.nsc.ru;
ivovchinnikov@igm.nsc.ru

²Новосибирский государственный университет
ул. Пирогова, 1, Новосибирск, 630090, Россия

Лессово-почвенная последовательность низкогорий северо-восточной части Горного Алтая в разрезе Красногорское

Лессово-почвенная толща разреза Красногорское может быть использована в качестве основы для реконструкции хронологической последовательности памятников палеолита и изменения природной среды и климата. В статье дается сравнительный анализ стратиграфической лессово-почвенной последовательности позднего и среднего плейстоцена разреза Красногорское, расположенного на северо-востоке низкогорья Горного Алтая. Установлено соответствие структуры лессовой толщи низкогорья Горного Алтая строению лессово-почвенной последовательности равнинной части юга Западной Сибири. Детально изучены пять педокомплексов, почвы которых отражают эволюцию этапов средне- и позднелепистоценового почвообразования от шадрихинского межледникового к каргинскому интерстадиалу. Ископаемые почвы шадрихинской, шипуновской, койнихинской и казанцевской теплых эпох формировались при климате более теплом и влажном, чем современный. После казанцевского межледникового амплитуда и частота климатических колебаний существенно изменились. Доказано, что теплые эпохи этого интервала значительно отличались от предыдущих меньшей глубиной потепления и кратковременностью, климат стал более прохладным и аридным. Выделены семь горизонтов лессов, разделяющих педокомплексы. Приведены результаты исследований морфоскопии и морфометрии песчаных кварцевых зерен, подтвердившие эоловый генезис формирования лессовых горизонтов в криоаридных условиях. Данные гранулометрического состава иллюстрируют тренд усиления динамики лессовой среды в позднем плейстоцене разреза Красногорское. Повышенные значения магнитной восприимчивости в периоды похолоданий и высокие значения частотно-зависимой магнитной восприимчивости в периоды потеплений свидетельствуют о значительных амплитудных колебаниях климата, причем после казанцевского межледникового амплитуда затухает, и механизм записи палеоклиматического сигнала в магнитных свойствах лессов и почв разреза приближается к «алаяскинскому» типу.

Ключевые слова: лессово-почвенная последовательность, Западная Сибирь, ископаемые почвы, плейстоцен, палеоклимат, стратиграфия.

**V.S. Zykina¹, V.S. Zykin^{1,2}, A.O. Volvakh¹,
L.G. Smolyaninova¹, and I.Y. Ovchinnikov¹**

¹Sobolev Institute of Geology and Mineralogy,
Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,

Pr. Akademika Koptuyuga 3, Novosibirsk, 630090, Russia

E-mail: zykina@igm.nsc.ru; zykin@igm.nsc.ru; sizikova@igm.nsc.ru; smol@igm.nsc.ru;
ivovchinnikov@igm.nsc.ru

²Novosibirsk State University,
Pirogova 1, Novosibirsk, 630090, Russia

The Loess-Paleosol Sequence at the Krasnogorskoye Section, the Low-Hill Zone of the Northeastern Altai Mountains

The loess-paleosol sequence of the Krasnogorskoye section in the low-altitude area of the northeastern Altai Mountains, can provide a yardstick for estimating the age of the Paleolithic sites and reconstructing environmental and climatic changes. Its correlation with the respective sequence of the southern part of the West Siberian Plain is evaluated. Five pedocomplexes are studied in detail, evidencing the evolution of the Middle and Late Pleistocene soil formation from the Shadrikha interglacial to the Karga interstadial. Buried soils of the Shadrikha, Shipunovo, Koinikha, and Kazantsevo warm stages formed under a climate that was warmer and more humid than today. After the Kazantsevo interglacial, both the range and the frequency of climatic oscillations show marked changes. It is demonstrated that the warm stages of this interval differ from the earlier ones by lesser warming and shorter duration by a cooler and more arid climate. Seven loess horizons dividing pedocomplexes are established. Nonmetric and metric analyses of quartz sand grains support the eolian origin of loess horizons under cryoarid conditions. The size of grains in the Late Pleistocene portion of the Krasnogorskoye section attests to the intensification of the loess processes. Higher magnetic susceptibility during the cool stages and higher frequency-dependent susceptibility during the warm stages evidence marked climatic oscillations. After the Kazantsevo interglacial, the amplitude fades and the pattern of paleoclimatic signal recorded by the magnetic properties of loess and paleosol in the section are close to the "Alaskan" type.

Keywords: Loess-paleosol sequence, Western Siberia, paleosols, Pleistocene, paleoclimate, stratigraphy.

Введение

В связи с открытием разновозрастных археологических памятников в Горном Алтае изучение четвертичных отложений на данной территории стало очень важным для археологии. Среди этих образований наибольшей полнотой и распространением выделяется лессовая толща, изучение которой способствует установлению хронологической последовательности памятников палеолита и позволяет реконструировать изменения природной среды и климата, игравших важную роль в эволюции первобытного палеолитического общества и его материальной культуры [Деревянко, Шуньков, Болиховская и др., 2005; Деревянко, Маркин, Зыкин и др., 2013; Зыкин и др., 2005; Зыкина, Зыкин, 2012].

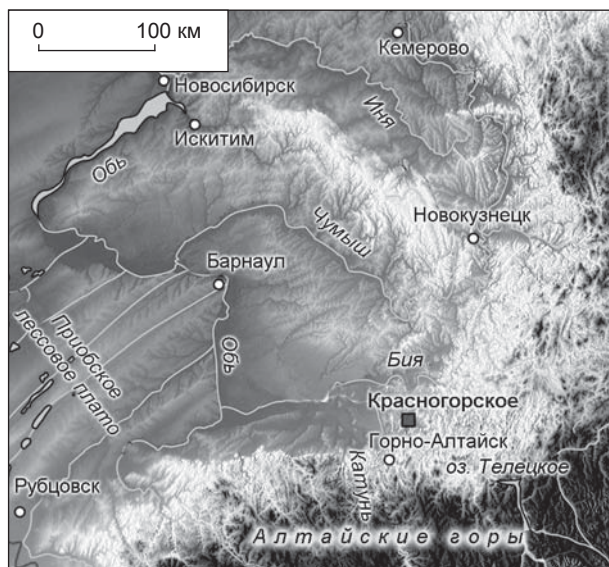


Рис. 1. Расположение разреза Красногорское в низкорельефной зоне Горного Алтая (юг Западной Сибири).

В прифасовой и низкорельефной части северо-востока Горного Алтая было осуществлено исследование лессово-почвенной толщи, распространенной вдоль рек Катунь и Бия и их притоков, а также на горных склонах. На горных склонах мощность этих образований изменяется от 6 до 16 м, на террасах она достигает 26 м. Стратиграфическое расчленение и палеогеографические реконструкции разрезов основывались на результатах комплексных исследований, проводившихся с применением палеопедологического, седиментологического, геоморфологического, радиоуглеродного и палеомагнитного методов. Среди детально изученных лессово-почвенных разрезов Горного Алтая стратиграфически наиболее полным является разрез Красногорское (рис. 1), в котором под современной почвой выделены пять педокомплексов и семь горизонтов лессов. Последовательная корреляция педокомплексов и лессов этого разреза с горизонтами эталонной шкалы лессово-почвенной последовательности Западной и Средней Сибири [Зыкина, Зыкин, 2012] по сходным морфотипическим признакам позволила выделить в нем искигимский (МИС-3), бердский (МИС-5е, с) педокомплексы, относящиеся к верхнему плейстоцену, а также койнихинский (МИС-7), шипуновский (МИС-9) и шадрихинский (МИС-11) педокомплексы, сформировавшиеся в среднем плейстоцене.

Впервые разрез Красногорское был изучен с целью корреляции с разрезом Дольни Вестонице (Чехия) для выяснения проблемы противоположных моделей магнитной восприимчивости и определения немагнитных индикаторов интенсивности почвообразования в лессово-почвенной последовательности [Babek, Chlachula, Grugar, 2011]. Стратиграфическое расчленение разреза было рассмотрено в пределах позднего (МИС-2 – МИС-5) и среднего (МИС-6) плейстоцена по аналогии со стратиграфией разреза Дольни Весто-

нице. Проведенные нами исследования позволили значительно уточнить геологическое строение разреза, провести реконструкцию условий образования горизонтов лессов и почв, радиоуглеродным датированием определить возраст верхнеплейстоценового педокомплекса (МИС-3), получить данные по магнитной восприимчивости отложений.

Генетические горизонты ископаемых почв индексированы согласно используемой сейчас в России классификации почв [Классификация... почв СССР, 1977; Классификация... почв России, 2004]. Для расчленения отложений в работе принята Международная стратиграфическая шкала (МСШ) квартера с подразделением плейстоцена на нижний, средний, верхний с нижней границей 2,588 млн л.н. [Head, Gibbard, Salvador, 2008]. Рубеж между нижним и средним плейстоценом принят на уровне 0,78 млн л.н.

Геологическое строение разреза

Разрез находится в старом карьере бывшего кирпичного завода на северной окраине пос. Красногорское Красногорского р-на Алтайского края. Были изучены десять расчисток по западной стенке карьера, последовательно спускающихся вниз по склону от верхней части увала к р. Барда (рис. 2) ($52^{\circ}18'36,8''$ с. ш., $086^{\circ}11'28,4''$ в. д., высота 300 м над ур. м.). Произведена нивелировка западной стенки карьера, перпендикулярной реке, составлено детальное описание, выполнено стратиграфическое расчленение, проведено палеопедологическое и литологическое изучение разреза (рис. 3). Установлено, что все горизонты лессов и ископаемых почв залегают горизонтально. Мощность сводного разреза составляет 24,5 м; в нем ниже современной черноземной почвы установлены следующие горизонты верхнего и среднего плейстоцена (рис. 3, 4):

1. Баганский лесс (**bg**) представлен лессовидным суглинком мощностью 0,9 м, серовато-коричневым

уплотненным, пористым, с карбонатным псевдомицелием, во второй половине горизонта встречаются новообразования железа в виде полосок и мелких пятен, отмечается редкий марганцовистый крап.

2. Ельцовский лесс (**el**) образован лессовидным суглинком мощностью 1,5 м, в верхней части серовато-желтым, в нижней части пестроцветным за счет чередования слоев серовато-светло-коричневого и серовато-желто-белесого цвета, пористым, уплотненным, с рыхлыми карбонатными стяжениями до 2,0 см и псевдомицелием, частыми новообразованиями железа в виде пятен, полосок, инкрустации по порам и корнеходам.

3. Искитимский педокомплекс (**is₁–is₂**), имеющий мощность 1,9 м, сложен двумя ископаемыми почвами, отделенными друг от друга лессовидным суглинком толщиной 0,3 м, который является ВСса горизонтом верхней почвы.

Профиль верхней почвы представлен горизонтами AUca и BCsa. Гумусовый горизонт (AUca) мощностью 0,6 м состоит из темно-серого с коричневым оттенком пористого суглинка, содержащего редкие зерна глиняного песка, карбонаты в виде псевдомицелия и инкрустаций по корнеходам, редкие угольки и марганцовистый крап. Границы горизонта волнистые, переход в нижележащий горизонт по цвету. Залегающий между гумусовыми горизонтами почв коричневатого-желтый пористый суглинок (BCsa) имеет мощность 0,3 м. Он уплотнен и содержит карбонатные псевдомицелии и инкрустацию по порам и корнеходам, а также редкие мелкие угольки.

Нижняя почва сложена горизонтами AU и BSA. Гумусовый горизонт (AU) мощностью 0,5 м представлен коричневатого-темно-серым пористым, уплотненным, некарбонатным суглинком, который включает редкие зерна глиняного песка, мелкие угольки и норы землероев диаметром 7 см. Вдоль нижней границы присутствуют гумусированные овалы и клинышки. Светлый коричневатого-желтый, пористый, уплотненный суглинок мощностью 0,5 м с корнеходами и кар-



Рис. 2. Латеральный профиль разреза Красногорское.

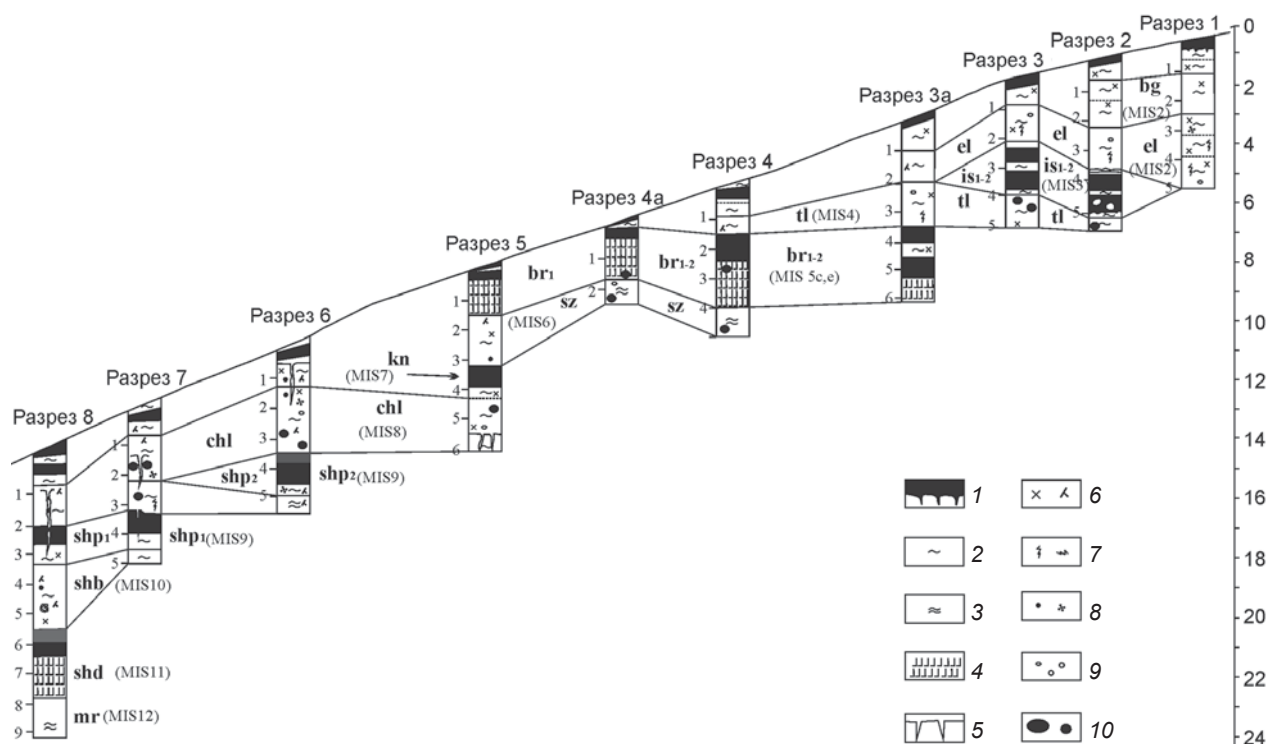


Рис. 3. Корреляция выделенных горизонтов по изученным расчисткам разреза Красногорское.

1 – гумусовый горизонт; 2 – суглинок; 3 – суглинок тяжелый; 4 – иллювиальный горизонт; 5 – трещины усыхания; 6 – карбонатные новообразования; 7 – ожелезнение; 8 – марганцовистый крап; 9 – оглеение; 10 – норы землероев.

бонатными новообразованиями в виде псевдомицелия и инкрустации по порам и корнеходам, с многочисленными норками землероев диаметром от 7 до 10 см является одновременно горизонтом (BCA) почвы и верхней частью тулинского лесса.

4. Тулинский лесс (tl) – серовато-светло-коричневый, слабо-уплотненный лессовидный суглинок с неравномерной мощностью от 1,1 до 2,0 м включает карбонатные рыхлые конкреции размером до 0,8 см и псевдомицелий, большое количество полых корнеходов, марганцовистый крап, пятнышки и полосы ожелезнения, норы землероев размером до 7 см. Нижняя граница неровная.

5. Бердский педокомплекс (br₁–br₂) состоит из двух почв, разьединенных лессовидным суглинком мощностью 0,4 м, являющимся горизонтом BCsa верхней почвы.

В верхней почве (br₂) отчетливо выделяются горизонты AUca и BCsa. Гумусовый горизонт (AUca) мощностью 0,4 м представлен плотным, слабопористым суглинком темно-серого цвета с коричневатым оттенком, в котором встречаются полые корнеходы и карбонатный псевдомицелий. Залегающий ниже суглинок мощностью 0,3 м уплотненный, слабопористый, серовато-светло-коричневого цвета, содержит карбонатный псевдомицелий, корнеходы и мелкие пятна железа, образует горизонт BCsa.

Профиль нижней почвы (br₁) дифференцирован на гумусовый (AU) и глинисто-иллювиальный (BI) горизонты. Горизонт AU, имеющий мощность 0,8 м, состоит из коричневатого-темно-серого, тяжелого, плотного, слабо-пористого, некарбонатного суглинка с мелко-ореховато-крупитчатой структурой, марганцовистым крапом и мелкими железистыми дробовинками. Нижележащий глинисто-иллювиальный горизонт (BI) четко выделяется по цвету и структуре. Он представлен плотным, тяжелым, слабопористым, некарбонатным суглинком серовато-светло-коричневого цвета мощностью 1,6 м, имеющим ореховато-призматическую структуру, которая укрупняется к основанию горизонта. На гранях структурных отдельностей видны глинистые пленки. В нижней части горизонта встречаются норы землероев диаметром 7–10 см.

6. Сузунский лесс (sz) образован светло-коричневым суглинком, плотным, слабопористым, с трещинами глубиной до 40 см от его поверхности, содержащими карбонатные конкреции в виде пластинок и трубочек, а в основании этого уровня – горизонтально сконцентрированные конкреции округлой формы размерами 2 × 3 см, ниже присутствуют карбонатный псевдомицелий, марганцовистые дробовинки и железистая инкрустация по корнеходам. Нижняя граница отчетливая. Мощность 1,7 м.

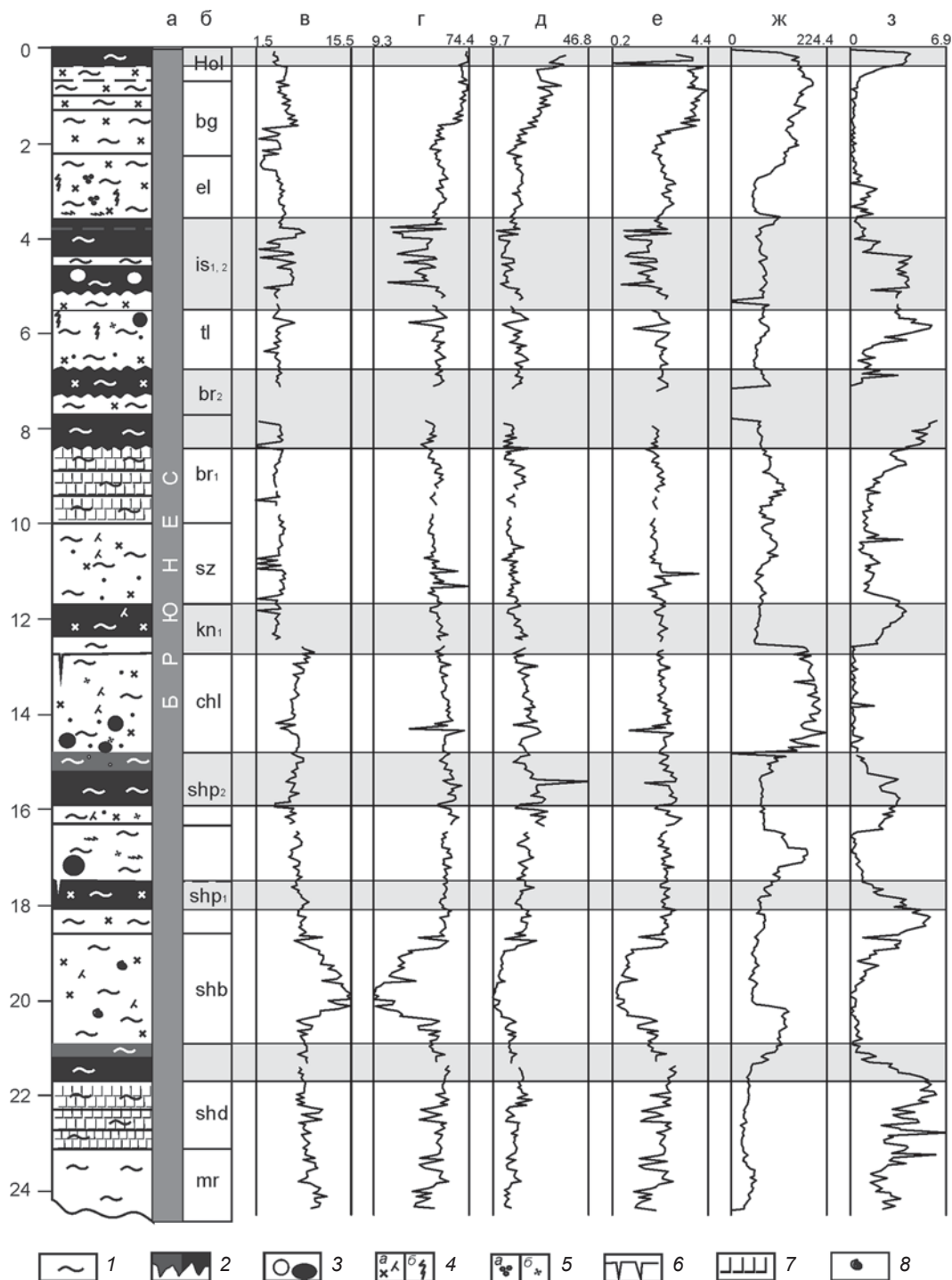


Рис. 4. Геологическое строение, гранулометрическая и петромагнитная характеристики сводного разреза Красногогорское.

а – палеомагнитная эпоха; б – индекс горизонта; в – глинистая фракция < 2 мкм, %; г – фракция крупной пыли (16–63 мкм), %; д – средний размер зерна, мкм; е – U-ratio ($=16-44\text{ мкм}/5,5-16,0\text{ мкм}$); ж – LF MS; з – FD MS.

1 – суглинок; 2 – гумусовый горизонт; 3 – норы землероев; 4: а – карбонатные новообразования, б – ожелезнение; 5: а – оглеение, б – марганцовистый крап; 6 – трещины усыхания; 7 – горизонты глинисто-иллювиальный и структурно-метаморфический; 8 – раковины моллюсков. Педокомплексы: Hol – современная почва голоцена; is – искитимский; br – бердский; kn – койнинский; shp – шипуновский; shd – шадрихинский. Лессы: bg – баганский; el – ельцовский; tl – тулинский; sz – сузунский; chl – чулымский; shb – шибавевский; mr – морозовский.

7. Койнихинский педокомплекс (**kn₁**) представлен только нижней почвой педокомплекса, профиль которой состоит из горизонта AUca и Bca. Гумусовый (AUca) горизонт мощностью 0,7 м – суглинок темно-сери-коричневый, уплотненный, пористый, с корнеходами, карбонатным псевдомицелием и мелкими белыми точками. Повсеместно фиксируются марганцовистый крап, мелкие (0,2 см) марганцевые дробовины, инкрустация по стенкам корнеходов железа. Иллювиальный горизонт (Bca) мощностью 0,5 м сложен серовато-светло-коричневым, уплотненным, пористым суглинком, содержащим карбонатные псевдомицелии и инкрустацию по порам и корнеходам, мелкие марганцевые дробовины и ожелезнение по порам. Встречаются глиняный песок, ходы землероев, имеющие диаметр 5–7 см.

8. Чулымский лесс (**chl**) образован легким желтовато-серым со слабым зеленоватым оттенком, плотным, слабопористым суглинком мощностью 1,45 м с корнеходами, стенки которых иногда инкрустированы карбонатами. Присутствуют редкие карбонатные конкреции размером 0,5–1,0 см, псевдомицелии и марганцовистый крап. Верхняя поверхность волнистая, иногда в виде округлых овалов, разбита редкими трещинами с извилистыми стенками шириной 2 см и глубиной до 60 см, заполненными карбонатными конкрециями, много нор землероев, диаметр которых равняется 5–7 см. Нижняя граница четкая.

9. Шипуновский педокомплекс (**shp₁–shp₂**) состоит из двух почв, разделенных лессовидным суглинком, который относится к горизонту BCsa верхней почвы. Верхняя почва (**shp₂**) дифференцирована на аккумулятивный (AU), иллювиальный (Bmt) и BCsa горизонты. Гумусовый горизонт, имеющий мощность 0,7 м, сложен коричневатосерым, плотным, слабопористым, некарбонатным суглинком. В нем содержатся полые корнеходы, много мелких (0,3 см) и более крупных (до 0,6 см) железомарганцевых дробовин. В верхней части горизонта присутствуют плотные карбонатные конкреции размером до 2 см. Горизонт Bmt мощностью от 0,5 до 0,8 м представлен буровато-коричневым, плотным, слабопористым, некарбонатным суглинком, с порошисто-ореховатой структурой, зернами глиняного песка, карбонатными конкрециями размером до 1 см и железомарганцевыми дробовинами размером до 0,3 см. Горизонт BCsa мощностью 0,8–1,0 м состоит из светлосерого со слабым зеленоватым оттенком, плотного, пористого суглинка, включающего марганцевые дробовины и мелкие железистые пятна, а также тонкие ходы корней растений, стенки которых инкрустированы карбонатами. Присутствуют также единичные округлые размером до 3 см карбонатные конкреции, вытянутые, вертикально ориентированные через весь

горизонт. Имеются норы землероев, диаметр которых составляет до 7 см.

Профиль нижней почвы (**shp₁**) состоит из гумусового (AU) и иллювиального (Bmt) горизонтов. Гумусовый горизонт сформирован коричневатосерым, тяжелым, плотным, слабопористым, с полыми корнеходами, некарбонатным суглинком мощностью 0,7 м с редкими марганцевыми дробовинами до 0,3 см и зернами глиняного песка. Иллювиальный горизонт сложен буровато-коричневым, тяжелым, плотным, некарбонатным суглинком с ореховато-мелкопризматической структурой, большим количеством зерен глиняного песка. Присутствуют марганцевые дробовины размером до 0,2 см, а также округлые и уплощенные карбонатные конкреции размером до 2 см. Его мощность колеблется от 0,5 до 0,8 м.

10. Шибеевский лесс (**shb**) образован палеосерым с зеленоватым оттенком, плотным, слабокарбонатным суглинком мощностью до 2,3 м. Повсеместно присутствуют мелкие марганцевые дробовины, редко встречаются пятна гидроксидов железа, карбонатные мелкие конкреции и мелкие раковины наземных моллюсков.

11. Шадрихинский педокомплекс (**shd**) представлен ископаемой почвой, состоящей из гумусового (AU) и иллювиального (Bmt) горизонтов. Гумусовый горизонт сформирован коричневатотемносерым, плотным, слабопористым, некарбонатным, тяжелым суглинком мощностью 0,8 м, содержащим многочисленные зерна глиняного песка и редкие марганцевые дробовины. Иллювиальный горизонт сложен буровато-коричневым, плотным, некарбонатным тяжелым суглинком мощностью 1,4 м с ореховато-призматической структурой, которая укрупняется к основанию горизонта, и глинистыми пленками на гранях структурных отдельностей, содержит марганцевые дробовины.

12. Морозовский лесс (**mr**) – суглинок тяжелый, светлокоричневый, плотный, некарбонатный, включает марганцевые дробовины. Видимая мощность 1,5 м.

Стратиграфия лессовопочвенной последовательности разреза

Субэральные отложения разреза Красногорское мощностью 24,5 м (см. рис. 3, 4), образованные горизонтами лессовидных суглинков и педокомплексами, на основании строения педокомплексов и морфотипических особенностей ископаемых почв, литологических особенностей горизонтов лессов, результатов радиоуглеродного датирования и палеомагнитных характеристик скоррелированы с горизонтами лессовопочвенной последовательности Западной и Средней

Сибири [Зыкина, Волков, Дергачева, 1981; Зыкина, Зыкин, 2012; Frechen et al., 2005]. Поскольку ее горизонты стратиграфической последовательности отчетливо соответствуют стадиям изотопно-кислородной шкалы океанических осадков и других глобальных записей климата, она служит надежной эталонной шкалой для региональных и глобальных корреляций [Добрецов, Зыкин, Зыкина, 2003; Zykina, Zykina, 2003, 2008]. В изученном разрезе снизу вверх отчетливо выделяются семь горизонтов лессов: морозовский (МИС-12), шибаевский (МИС-10), чулымский (МИС-8), сузунский (МИС-6), тулинский (МИС-4), баганский и ельцовский (МИС-2), и пять педокомплексов: шадрихинский (МИС-11), шипуновский (МИС-9), койнихинский (МИС-7), бердский (МИС-5с,е) и искитимский (МИС-3). Наиболее выразительными по морфотипическим особенностям являются шадрихинский, бердский и искитимский педокомплексы, которые прослеживаются на большие расстояния. Таким образом, лессово-почвенный разрез у пос. Красногорское формировался в течение среднего и позднего плейстоцена.

Искапаемые педокомплексы

Современная почва в окрестностях пос. Красногорское представлена черноземом выщелоченным, который сформировался в лесостепной зоне. Два чернозема искитимского педокомплекса имеют слабо дифференцированные профили незначительной мощности, характерные карбонатные новообразования в виде псевдомицелия и норы землероев. Групповой состав органического вещества почв сходен; характерно преобладание гуминовых кислот над фульвокислотами. Отношение $C_{гк}/C_{фк}$ в гумусовом горизонте верхней почвы равно 1,07, а нижней – 1,05. Различия в гранулометрическом и валовом составе при распределении их по профилям почв не существенны. Следовательно, несмотря на слабую дифференциацию, незначительную мощность почв, особенности строения их профилей, наличие характерных карбонатных новообразований и нор землероев свидетельствуют о формировании искитимских почв по типу черноземных в лесостепных условиях. Слабая дифференциация профилей искитимских почв по сравнению с современными почвами, вероятно, обусловлена кратковременностью их образования и усилением аридизации климата в позднем плейстоцене. Радиоуглеродная дата $23\ 065 \pm 420$ л. н. (СОАН 9484) (калиброванная $27\ 955 \pm 445$ л. н.), установленная по образцу из гумусового горизонта верхней почвы данного разреза, подтверждает правомерность сопоставления педокомплекса со стадией МИС-3. Возрастные пределы формирования искитимского педокомплекса

по радиоуглеродным и термолюминесцентным датам находятся в интервале от 24 ± 4 до 53 ± 4 тыс. л.н. [Зыкина, Волков, Дергачева, 1981; Zander et al., 2003; Frechen et al., 2005], что соответствует стадии МИС-3 [Bassinot et al., 1994].

Бердский педокомплекс представлен двумя черноземами. Верхняя почва характеризуется слабо-развитым профилем незначительной мощности, что обусловлено более коротким периодом ее формирования по сравнению с нижней почвой. Содержание органического углерода в гумусовом горизонте составляет 0,67 % от веса почвы и сокращается в иллювиальном до 0,40 %. В составе органического вещества преобладают гуминовые кислоты, доминирует фракция, связанная с кальцием. Отношение $C_{гк}/C_{фк}$ в гумусовом горизонте составляет 1,1, в карбонатно-иллювиальном – 0,6. Данные механического состава, равно как и валового, не показывают значительных различий по генетическим горизонтам почвы. Отмечается накопление силикатного кальция в иллювиальном горизонте, что связано с процессами почвообразования. В качестве основных почвообразовательных процессов проявились гумусонакопление и карбонатизация. Основные педогенетические признаки почвы свидетельствуют об усилении аридизации в позднем плейстоцене. Почва сформировалась в условиях лесостепи в короткий теплый интерстадиал раннезырянской ледниковой эпохи, который, по данным термолюминесцентного датирования [Зыкина, Зыкин, 2012; Zander et al., 2003; Frechen et al., 2005], соответствует подстадии МИС-5с [Bassinot et al., 1994].

Нижняя бердская почва имеет хорошо развитый профиль, дифференцированный на гумусовый и иллювиальный горизонты, присутствуют норы землероев. По строению профиля это чернозем глинисто-иллювиальный, развивавшийся длительное время в условиях лесостепной зоны при теплом и влажном климате в казанцевское межледниковье – эквиваленте подстадии МИС-5е [Ibid.]. Содержание органического углерода в гумусовом горизонте составляет до 0,65 %, в иллювиальном – 0,23 %. Качественный состав гумуса характеризуется преобладанием гуминовых кислот. Отношение $C_{гк}/C_{фк}$ равно 1,2 в гумусовом горизонте и 0,5 в иллювиальном. По содержанию полуторных оксидов и по гранулометрическому составу в профиле почвы отмечаются незначительные признаки эллювиально-иллювиальной дифференциации, по микроморфологическим данным прослеживается отчетливая миграция илистой фракции. Профиль почвы выщелочен от карбонатов. Существенная мощность казанцевской почвы, оглиненность и зрелость профиля приближает ее к почвам среднего плейстоцена и существенно отделяет от выше расположенных почв верхнего

плейстоцена. Возрастной интервал формирования этой почвы, датированный в Средней Сибири в разрезе Куртак, находится в пределах 119–143 тыс. л.н. [Frechen et al., 2005; Zander et al., 2003].

Койнихинский педокомплекс представлен нижней почвой, имеющей в профиле признаки черноземов и брүниземов. Морфотип профиля, карбонатные новообразования, присутствие нор землероев, микростроение гумусового горизонта (хорошая агрегированность и сложение почвенной массы, скоагулированность гумусово-глинистой плазмы, ее слабая ориентированность) подтверждают развитие почвы по черноземному типу в условиях теплого и влажного климата. Реликты брүниземного почвообразования проявляются в отчетливой буровато-коричневой окраске всего профиля, наличии марганцовистого крапа и мелких марганцевых дробовин, в незначительном уплотнении и обогащении гидроксидами железа и алюминия. Брүниземы, по данным Ф. Дюшофура [1970], характерны для районов с менее континентальным климатом, чем климат черноземной зоны. Они являются переходными типами почв между черноземами и буроземами. Качественный состав гумуса почвы данного разреза гуматно-фульватный, отношение $C_{гк}/C_{фк}$ в гумусовом горизонте равно 0,85. Минеральная масса стабильна, отсутствует перераспределение по профилю илистой фракции и полуторных оксидов. Почва данного педокомплекса в разрезе Куртак имеет даты в интервале 181–236 тыс. л.н. [Zander et al., 2003].

Шипуновский педокомплекс состоит из двух ископаемых почв, имеющих буровато-коричневую окраску профилей, дифференцированных по типу брүниземов, не карбонатных, содержащих марганцевые и железомарганцевые дробовины, свидетельствующие о гидроморфизме, присутствуют норы землероев. Гумус имеет гуматно-фульватный состав, отношение $C_{гк}/C_{фк}$ равно 0,9. По валовому составу почвы слабо дифференцированы. Основные почвообразовательные процессы были лессиваж, оглинивание, больше проявившиеся в нижней почве. Микростроение обеих почв отражает процессы перемещения илистой фракции, гидроксидов железа вниз по профилю. Судя по типовой принадлежности почв, почвообразование происходило в более теплом и влажном климате по сравнению с современным. Структура педокомплекса, степень зрелости его почвенных профилей соответствует МИС-9 [Зыкина, Зыкин, 2012].

Шадрихинский педокомплекс представлен брүниземом с профилем, дифференцированным на гумусовый и иллювиальный горизонты, присутствуют норы землероев. По свойствам он близок черноземам, но имеет выщелоченный профиль, в котором карбонатный горизонт отсутствует, реакция среды слабо-

кислая, присутствует горизонт накопления иллювирированной глины, характерно также глинообразование за счет первичных минералов. Наличие железисто-марганцевых конкреций в профиле свидетельствует о глеевых процессах. Состав гумуса гуматно-фульватный, отношение $C_{гк}/C_{фк}$ равно 0,8. Валовой состав почвы показывает, что дифференциация профиля по содержанию алюминия, кремния, железа слабая, соотношения SiO_2/R_2O_3 незначительно изменяются по профилю. По микростроению устанавливается наличие в иллювиальном горизонте железисто-глинистых кутан по порам и граням структурных отдельностей. Согласно полученным данным, основными процессами, формирующими брүниземы в данном разрезе, являются гумусо-аккумулятивный, оглинение и лессиваж. Наличие зрелой почвенной толщи свидетельствует о ее формировании длительное время при климате более теплом и достаточно влажном, чем современный, в шадрихинское теплое межледниковье – эквивалентное стадии МИС-11 [Bassinot et al., 1994]. Аналогом этой почвы служат бурые лесные почвы ранней половины шадрихинского межледниковья Западной Сибири [Зыкина, Зыкин, 2012].

Гранулометрический состав лессовидных суглинков

Гранулометрический анализ позволяет определить процентное содержание размерных фракций по разрезу и выявить основные тенденции распределения наиболее важных фракций и параметров. Одна из важных задач изучения гранулометрического состава рыхлых отложений – получение возможно более полных сведений о характере и динамике среды, в которой происходила аккумуляция осадка.

Гранулометрический состав определен на лазерном анализаторе размера частиц Fritsch Analysette 22 в диапазоне от 0 до 1 000 мкм в лаборатории геологии кайнозоя, палеоклиматологии и минералогических индикаторов климата Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН. Отбор образцов проводился последовательно от экранирующей поверхности до основания разреза с интервалом в 5 см. В качестве наиболее показательных фракций, отражающих ход накопления изученных отложений, выбраны глинистая (< 2 мкм; см. рис. 4, в) и крупнопылеватая (16–63 мкм; см. рис. 4, г) фракции, а также средний размер зерна (см. рис. 4, д). Дополнительно использован коэффициент U-ratio, представляющий собой отношение фракций 16–44 и 5,5–16,0 мкм (см. рис. 4, е). Он не учитывает мелкозернистые глинистые частицы, большая часть которых накапливалась в результате вторичных процессов, а также крупные частицы, которые могли появиться в резуль-

тате местного переноса [Vandenbergh, 1985; Nugteren et al., 2004]. Таким образом, U-ratio позволяет отразить сам процесс седиментации без влияния вторичных процессов и оценить силу ветрового потока.

Гранулометрический анализ средне- и верхнеплейстоценовых отложений разреза выявил преобладание в их составе фракции крупной пыли (см. рис. 4), что является характерной особенностью лессовых отложений. По сравнению с верхнеплейстоценовыми лессово-почвенными отложениями Приобского лессового плато [Сизикова и др., 2015], в горизонтах аналогичного возраста разреза Красногорское отмечается некоторое увеличение количества крупнопылевой фракции. В целом по разрезу намечается отчетливый тренд уменьшения количества глинистой фракции от МИС-12 к МИС-2: среднеплейстоценовые горизонты оглиненны в 1,5–2 раза больше, чем верхнеплейстоценовые. Однако в них также отмечается возрастание количества алевролита и, следовательно, среднего размера зерна, что в данном случае связано, скорее, с присутствием в отложениях большого количества железомарганцевых новообразований, чем с силой ветрового потока. Разброс минимальных и максимальных значений медианы зерна свидетельствует о колебательном характере скорости ветра в течение каждого этапа лессонакопления. В верхнеплейстоценовой части разреза отмечается тренд увеличения среднего размера зерна (см. рис. 4, д), значения показателя U-ratio также возрастают (см. рис. 4, е), особенно в ельцовском и баганском лессах. Таким образом, ранее выявленное усиление активности динамики среды лессонакопления в течение позднего плейстоцена на территории Барнаульского [Сизикова и др., 2015] и Новосибирского [Sizikova, Zykina, 2015] Приобья в отложениях Предалтайской равнины также сохраняется.

Морфоскопия песчаных кварцевых зерен

Метод морфоскопии и морфометрии песчаных кварцевых зерен позволяет определить процессы, преобладавшие во время накопления осадка и сопровождавшие их палеогеографические условия. Для эоловых отложений характерны преимущественно хорошо окатанные зерна округлой формы с коэффициентом окатанности 50–70 % [Velichko, Timireva, 1995].

Изучение кварцевых зерен фракции среднего песка (0,25–0,5 мм) проводилось под бинокулярным микроскопом Альтами СМ0870-Т по методике, разработанной в Институте географии РАН [Ibid.]. Зерна фотографировали во вторичных электронах (SEI) на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-

6510LV в Центре коллективного пользования многоэлементных и изотопных исследований Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН. Окатанность зерен определялась по трафарету Л.Б. Рухина [1969] и пятибалльной шкале А.В. Хабарова [1946], после этого для каждого образца вычислялись коэффициенты окатанности и степень заматованности [Velichko, Timireva, 1995]. Матовость зерен определялась визуально от глянцевой до матовой. Этот метод использовался ранее при изучении лессовых отложений на территории юга Западной Сибири – Новосибирского [Sizikova, Zykina, 2015] и Барнаульского [Сизикова и др., 2015] Приобья; при изучении территории Предалтайской равнины он применен впервые.

В публикуемой статье приведены данные морфоскопии песчаных зерен только из лессовых горизонтов, поскольку большинство кварцевых зерен из горизонтов палеопочв были сильно подвержены процессам химического выветривания, на их поверхности основными элементами являются следы растворения кремнезема, травления по микроуглублениям и растворения самой поверхности.

Лессовые горизонты разреза Красногорское проявляют сходство по облику, степени окатанности и основным элементам поверхности. Во всех горизонтах преобладают зерна III и IV классов окатанности с матовой или полуматовой поверхностью, в меньшем количестве содержатся зерна II класса, реже встречаются зерна I класса. Значения коэффициентов окатанности по разрезу, рассчитанные по каждому отдельному горизонту, находятся в интервале 60–70 %, степень заматованности варьирует от 68,5 до 80 %. Более низкие значения соответствуют верхнеплейстоценовым лессам (баганский, ельцовский, тулинский). Основными элементами микрорельефа кварцевых зерен во всех лессовых горизонтах являются микроямки, образующие поверхность (рис. 5, 1, 2, 4–15), которая формируется в результате соударений зерен друг о друга в воздушном потоке [Величко, Тимирева, 2002]. Развитие микроямчатости по углублениям (рис. 5, 2, 5, 10, 13) свидетельствует о длительном пребывании зерен в воздушном потоке. Помимо микроямчатости часто отмечаются «ямки» более крупного размера в виде блюдец и борозд. На некоторых зернах, особенно в верхнеплейстоценовых лессах, имеется раковистый скол (рис. 5, 3), который можно рассматривать в качестве признака морозного выветривания [Там же]. Кроме того, некоторые зерна, преимущественно из среднеплейстоценовых лессов, несут признаки химических процессов, выраженные в растворении поверхности зерна или его травлении по углублениям (рис. 5, 10, 11), но они гораздо меньше проявлены, чем в образцах из палеопочвенных горизонтов.

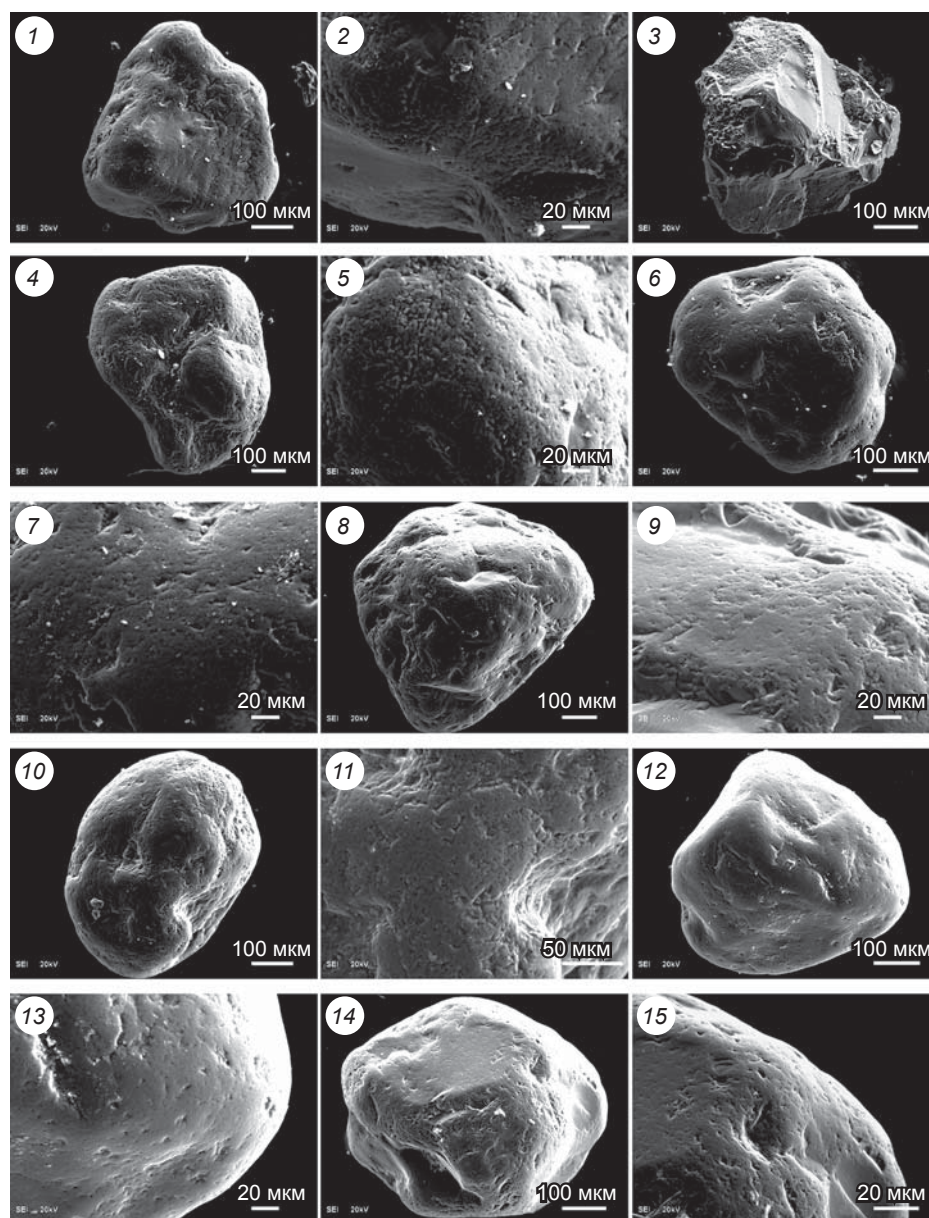


Рис. 5. Морфоскопия песчаных кварцевых зерен из лессовых горизонтов разреза Красногорское. 1, 2, 3 – баганский лесс; 4, 5 – ельцовский; 6, 7 – тулинский; 8, 9 – сузунский; 10, 11 – чулымский; 12, 13 – шибавевский; 14, 15 – морозовский.

Магнитные свойства отложений разреза

В магнитостратиграфическом отношении разрез Красногорское однороден. Магнитная чистка образцов разделила естественную намагниченность на две компоненты: вязкую и детритовую. Вязкая компонента нестабильна, она снимается при нагревах до 200 °С. Детритовая компонента является первичной, вектора намагниченности сохраняют свою направленность при нагревах до 600 °С. Статистическое рассмотрение направлений векторов остаточной намагниченности для вязкой и первичной компонент показало, что обе

компоненты формировались в условиях одной положительной полярности (см. рис. 4, а), синхронной современному магнитному полю.

Петромагнитные характеристики, такие как магнитная восприимчивость (χ) и частотно-зависимая магнитная восприимчивость (FD), во многом зависят от региональных и глобальных климатических параметров. В почвенных слоях разреза Красногорское FD имеет повышенные значения по сравнению с аналогичными значениями в лессах, которые близки к нулю (см. рис. 4, ж). Магнитная восприимчивость, напротив, в лессах больше, чем в почвах (см. рис. 4, з).

Значительное повышение параметра FD в почвах свидетельствует об активном образовании в теплые и влажные периоды тонкодисперсных суперпарамагнитных и однодоменных магнитных материалов в результате педогенеза. Однако значения магнитной восприимчивости в это время были ниже, чем в периоды похолоданий. Видимо, интенсивность деятельности ветра в холодные и сухие периоды была велика, отсюда – большой привнос выветрелого обломочного материала.

Колебания магнитной восприимчивости в разрезе соответствуют «аляскинской» модели [Westgate, 1990], однако высокие значения FD , которые достигают до 7 %, не позволяют принять эту модель полностью. Можно предположить, что полученная картина отражает большую контрастность климата, чем в северных «аляскинских» и южных «китайских» [Liu, 1993] регионах. Особенно это относится к осадкам, соответствующим климатическим периодам МИС-7 – МИС-12.

Заключение

Стратиграфические, палеопедологические, литологические, палеомагнитные данные, а также результаты радиоуглеродного датирования, полученные при изучении разреза Красногорское, позволили установить возрастные интервалы формирования лессово-почвенной последовательности в течение среднего и позднего плейстоцена. Залегающий в основании разреза морозовский лесс относится к стадии МИС-12 [Зыкина, Зыкин, 2012; Zykina, Zykina, 2008]. Структура педокомплексов плейстоцена Горного Алтая аналогична строению педокомплексов юга Западно-Сибирской равнины и отчетливо отражает структуру теплых нечетных стадий непрерывных глобальных последовательностей. Установление достаточно полной лессово-почвенной последовательности низкогорий Горного Алтая в разрезе у пос. Красногорское, которая включает пять педокомплексов и семь горизонтов лесса, и выявление в среднем плейстоцене почвообразования по типу брүниземов позволило определить отчетливый тренд развития процессов почвообразования и эволюции увлажнения климата межледниковых эпох от среднего к позднему плейстоцену, направленный в сторону усиления аридизации климата. Брүниземное почвообразование шадрихинской и шипуновской теплых эпох, брүниземно-черноземное койнихинской и черноземное почвообразование казанцевской эпохи при климатических условиях более теплых и влажных, чем современные, сменились в теплые интервалы раннезырянской и каргинской

эпох на черноземное лесостепное почвообразование при более прохладном и аридном климате. Тренд развития почвообразовательных процессов был направлен на усиление аридизации климата. Амплитуда и частота климатических колебаний после казанцевского межледниковья существенно изменились. Это явилось причиной снижения степени глубины потепления и кратковременности теплых эпох. Климатические условия стали более аридными и прохладными, что нашло выражение в упрощенном строении профилей почв и меньшей мощности их горизонтов. В межледниковые теплые эпохи среднего плейстоцена увлажненность на низкогорьях и среднегорьях Горного Алтая была существенно выше, чем на прилегающей Западно-Сибирской равнине.

По данным гранулометрического состава установлена тенденция усиления динамики лессонакопления в позднем плейстоцене разреза Красногорское. Достаточно высокие показатели степени заматованности и коэффициентов окатанности, а также повсеместное распространение микроамчатости на поверхности зерен во всех горизонтах лессов свидетельствуют о накоплении лессовых горизонтов разреза эоловым путем в условиях криоаридного климата. Выявлены также проявления морозного выветривания и следы химических процессов.

Палеомагнитное исследование показало, что все отложения разреза формировались в положительную эпоху Брүнес. Петромагнитные данные в целом подтверждают вышеизложенные выводы. Повышенные значения магнитной восприимчивости в периоды похолоданий и высокие значения частотно-зависимой магнитной восприимчивости в периоды потеплений указывают на значительные амплитудные колебания климата, причем после казанцевского межледниковья амплитуда затухает, и механизм записи палеоклиматического сигнала в магнитных свойствах лессов и почв разреза приближается к «аляскинскому» типу.

Состав и структура лессово-почвенной толщи разреза Красногорское свидетельствуют о разной интенсивности циркуляции атмосферы в холодные ледниковые интервалы, теплые интерстадиалы и межледниковья плейстоцена. Холодные эпохи характеризовались аридизацией климата, активизацией циркуляции атмосферы, насыщавшейся пылью, которая при осадении образовывала лессовые покровы. Эти процессы приводили к распространению холодных пустынь, возникновению крупных дефляционных поверхностей и замкнутых дефляционных котловин различных размеров [Зыкин, Зыкина, Орлова, 2003]. В теплые эпохи среднего и позднего плейстоцена в разрезе Красногорское происходило образование почвенных горизонтов.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского фонда фундаментальных исследований (проект 16-05-00371), в рамках государственного задания Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, финансируемого Министерством науки и высшего образования Российской Федерации.

Список литературы

- Величко А.А., Тимирева С.Н.** Морфоскопия и морфометрия песчаных кварцевых зерен из лессов и погребенных почв // Пути эволюционной географии (итоги и перспективы) / отв. ред. И.И. Спасская. – М.: ИГ РАН, 2002. – С. 170–185.
- Деревянко А.П., Маркин С.В., Зыкин В.С., Зыкина В.С., Зажигин В.С., Сизикова А.О., Солотчина Э.П., Смолянинова Л.Г., Антипов А.С.** Чагырская пещера – стоянка среднего палеолита Алтая // Археология, этнография и антропология Евразии. – 2013. – № 1. – С. 1–27.
- Деревянко А.П., Шуньков М.В., Болиховская Н.С., Зыкин В.С., Зыкина В.С., Кулик Н.А., Ульянов В.А., Чиркин К.А.** Стоянка раннего палеолита Карама на Алтае. – Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2005. – 86 с.
- Добрецов Н.Л., Зыкин В.С., Зыкина В.С.** Структура лессово-почвенной последовательности плейстоцена Западной Сибири и ее сопоставление с Байкальской и глобальными летописями изменения климата // Докл. АН. – 2003. – Т. 391, № 6. – С. 821–824.
- Дюшофур Ф.** Основы почвоведения. – М.: Прогресс, 1970. – 591 с.
- Зыкин В.С., Зыкина В.С., Орлова Л.А.** Реконструкция изменений природной среды и климата позднего плейстоцена на юге Западной Сибири по отложениям озера Аксор // Археология, этнография и антропология Евразии. – 2003. – № 4. – С. 2–16.
- Зыкин В.С., Зыкина В.С., Чиркин К.А., Смолянинова Л.Г.** Геологическое строение и стратиграфия верхнекайнозойских отложений в районе раннепалеолитической стоянки Карама в верхнем течении долины р. Ануй // Археология, этнография и антропология Евразии. – 2005. – № 3. – С. 2–20.
- Зыкина В.С., Волков И.А., Дергачева М.И.** Верхнечетвертичные отложения и ископаемые почвы Новосибирского Приобья. – М.: Наука, 1981. – 203 с.
- Зыкина В.С., Зыкин В.С.** Лессово-почвенная последовательность и эволюция природной среды и климата Западной Сибири в плейстоцене. – Новосибирск: Гео, 2012. – 477 с.
- Классификация и диагностика почв СССР** / В.В. Егоров, В.М. Фридланд, Е.Н. Иванова, Н.И. Розов. – М.: Колос, 1977. – 223 с.
- Классификация и диагностика почв России** / Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 341 с.
- Рухин Л.Б.** Основы литологии. – Л.: Недра, 1969. – 703 с.
- Сизикова А.О., Зыкина В.С., Овчинников И.Ю., Панов В.С.** Комплексное изучение горизонтов лессов верхнего плейстоцена разреза Белово // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2015. – № 4. – С. 17–30.
- Хабаков А.В.** Об индексах окатанности галечников // Сов. геология. – 1946. – № 10. – С. 98–99.
- Babek O., Chlachula J., Grugar M.T.** Non-magnetic indicators of pedogenesis related to loess magnetic enhancement and depletion: Examples from the Czech Republic and southern Siberia // Quaternary Sci. Rev. – 2011. – Vol. 30. – P. 967–979.
- Bassinot F.C., Labeyrie L.D., Vincent E., Quidelleur X., Shackleton N.J., Lancelot Y.** The astronomical theory of climate and the age of the Brunhes-Matuyama magnetic reversal // Earth and Planetary Science Letters. – 1994. – Vol. 126. – P. 91–108.
- Head M.J., Gibbard P.L., Salvador A.** The Quaternary: its character and definition // Episodes. – 2008. – Vol. 31, N 2. – P. 234–238.
- Frechen M., Zander A., Zykina V., Boenigk W.** The loess record from the section at Kurtak in Middle Siberia // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. – 2005. – Vol. 228. – P. 228–244.
- Liu X.M.** Rock Magnetic Properties and Palaeoclimate of Chinese Loess / eds. X.M. Liu et al. // J. Geomag. Geoelectr. – 1993. – Vol. 45. – P. 117–124.
- Nugteren G., Vandenberghe J., Van Huissteden J., Zhizheng A.** A Quaternary Climate Record Based on Grain Size Analysis from the Luochuan Loess Section on the Central Loess Plateau, China // Global and Planetary Change. – 2004. – Vol. 41. – P. 167–183.
- Sizikova A.O., Zykina V.S.** The dynamics of the Late Pleistocene loess formation, Lozhok section, Ob loess Plateau, SW Siberia // Quaternary International. – 2015. – Vol. 365. – P. 4–14.
- Vandenberghe J.** Paleoenvironment and Stratigraphy During Last Glacial in the Belgian-Dutch Border Region // Quaternary Research. – 1985. – Vol. 24. – P. 23–38.
- Velichko A., Timireva S.** Morphoscopy and morphometry of quartz grains from loess and buried soil layers // GeoJournal. – 1995. – N 36 (2/3). – P. 143–149.
- Westgate J.A.** A 3 m.y. record of Pliocene-Pleistocene loess in interior Alaska / eds. J.A. Westgate, B.A. Stemper, T.L. Pewe // Geology. – 1990. – Vol. 18 (9). – P. 858–861.
- Zander A., Frechen M., Zykina V., Boenigk W.** Luminescence chronology of the Upper Pleistocene loess record at Kurtak in Middle Siberia // Quaternary Sci. Rev. – 2003. – Vol. 22. – P. 999–1010.
- Zykina V.S., Zykina V.S.** Pleistocene warming stages in Southern West Siberia: soils, environment, and climate evolution // Quaternary International. – 2003. – Vol. 106/107. – P. 233–243.
- Zykina V.S., Zykina V.S.** The loess-soil sequence of the Brunhes chron from West Siberia and its correlation to global climate records // Quaternary International. – 2008. – Vol. 179. – P. 171–175.

Материал поступил в редколлегию 17.05.18 г.