



УДК (551.791:551.311.234.3)+551.8(571.1-13)

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ВЕРХНЕПЛЕЙСТОЦЕНОВОЙ ЛЕССОВО-ПОЧВЕННОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ КОЛЫВАНСКОГО УВАЛА ПРЕДАЛТАЙСКОЙ РАВНИНЫ

В. С. Зыкина, А. О. Вольвах, В. С. Зыкин, Н. Е. Вольвах

Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия

Приведен сравнительный анализ стратиграфической лессово-почвенной последовательности позднего и отчасти среднего плейстоцена разреза Петропавловское. Установлено соответствие структуры лессовой толщи предгорий Горного Алтая строению указанной последовательности юга Западной Сибири. Всесторонне охарактеризованы ископаемые почвы, объединенные в педокомплексы, которые свидетельствуют о преобладании с начала и в течение позднего плейстоцена лесостепного, степного и сухостепного суббореального почвообразования, а также отражают климатические условия их формирования и длительность теплых интервалов. Приведены результаты исследований морфоскопии и морфометрии песчаных кварцевых зерен, подтвердившие эоловый генезис формирования лессовых горизонтов в криоаридных условиях.

Ключевые слова: лессово-почвенная последовательность, Предалтайская равнина, Западная Сибирь, плейстоцен, ископаемые почвы, морфоскопия кварцевых зерен, палеогеография, стратиграфия.

STRUCTURAL FEATURES OF THE UPPER-PLEISTOCENE LOESS-SOIL SEQUENCE OF THE KOLYVAN KNAP IN THE PREDALTAI PLAIN

V. S. Zykina, A. O. Volvakh, V. S. Zykin, N. E. Volvakh

V.S.Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia

The article presents a comparative analysis of the stratigraphic loess-soil sequence (LSS) of the Late and partly Middle Pleistocene of the Petropavlovskoye section. The structure of the loessial strata of the submountain region of Gorny Altai is correlated with the LSS structure of the southern West Siberia. Fossil soils combined into pedocomplexes indicating the predominance of forest-steppe, steppe and dry-steppe subboreal soil formation, reflecting the climatic conditions of their formation and the duration of warm intervals from the beginning of and during Late Pleistocene have been thoroughly characterized. Results of morphometry and morphoscopy of sand quartz grains which have confirmed the eolian genesis of loess horizons formed in cryoarid conditions are presented.

Keywords: loess-soil sequence, Predaltai Plain, West Siberia, Pleistocene, fossil soils, morphoscopy of quartz grains, paleogeography, stratigraphy.

DOI 10.20403/2078-0575-2018-3-54-64

Становление современной природной среды и климата является важнейшим событием в позднекайнозойской истории Земли. Наиболее полную информацию об изменениях природной среды и климата в недавнем геологическом прошлом содержит лессово-почвенная последовательность (ЛПП), которая полно отражает последовательность климатических изменений на континентах. Ископаемые почвы и лессы составляют основу расчленения лессовой толщи и, как природные системы, заслуживают тщательного изучения с целью познания их эволюционного развития, восстановления особенностей формирования природной среды и климата различных геохронологических срезов, расчленения и корреляции разрезов. Одним из регионов широкого распространения лессово-почвенной последовательности является Западная Сибирь. Стратиграфическое расчленение лессовой толщи наиболее полно разработано для юга Западно-Сибирской равнины [6, 16]. К настоящему времени начаты исследования по данным отложениям в предгорьях Горного Алтая. Это важная территория, на которой

можно установить последовательность ландшафтно-климатических циклов плейстоцена при переходе от Приобской увалистой равнины к Горному Алтаю (рис. 1).

Для установления надежной последовательности смен лессово-почвенных циклов в интервале верхнего и отчасти среднего плейстоцена в этом районе необходимо было выявить индивидуальные морфотипические признаки ископаемых почв и лессов, установить их пространственно-генетическую выдержанность. Это позволит охарактеризовать ландшафты прошлого, а установленные закономерности использовать как основу прогноза развития природной среды и климата в будущем. Здесь в ряде разрезов рр. Песчаная и Ануй, отражающих строение Ануйского и Колыванского увалов, в нижней части вскрываются субквальные отложения (озерные и аллювиальные), перекрытые субэральными породами лессово-почвенной формации позднего и частично среднего плейстоцена. С целью установления надежной климатостратиграфической последовательности отложений был изучен разрез

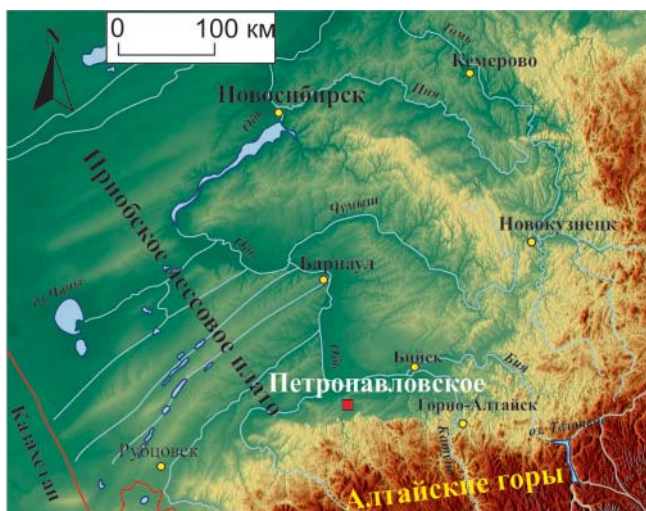


Рис. 1. Расположение разреза Петропавловское, юг Западной Сибири



Рис. 2. Левый берег р. Ануй, Колыванский увал

примерно в 25 км к северу от причленения поверхности увалистой предгорной равнины к резкому уступу (фасу) среднегорий Алтая, представленный береговым обрывом левого склона долины р. Ануй (рис. 2).

При индексации генетических горизонтов ископаемых почв мы следуем традиционной системе, принятой в настоящее время в России [3, 4]. Кроме того, в данной статье мы придерживаемся Международной стратиграфической шкалы (МСШ) четвертичной системы с нижней границей на уровне 2,588 млн лет и делением плейстоцена на нижний, средний и верхний [10]. Граница между нижним и средним плейстоценом проводится на уровне 0,78 млн лет.

Геологическое строение разреза в долине р. Ануй

Нами проведено детальное описание, стратиграфическое расчленение, палеопедологическое и литологическое изучение разреза. В статье будет рассмотрена субаэральная часть разреза.

В береговом обрыве юго-восточной стенки р. Ануй (см. рис. 2) высотой 24 м (северо-восточная окраина пос. Петропавловское, верхняя часть



Рис. 3. Строение Колыванского увала, разрез Петропавловское

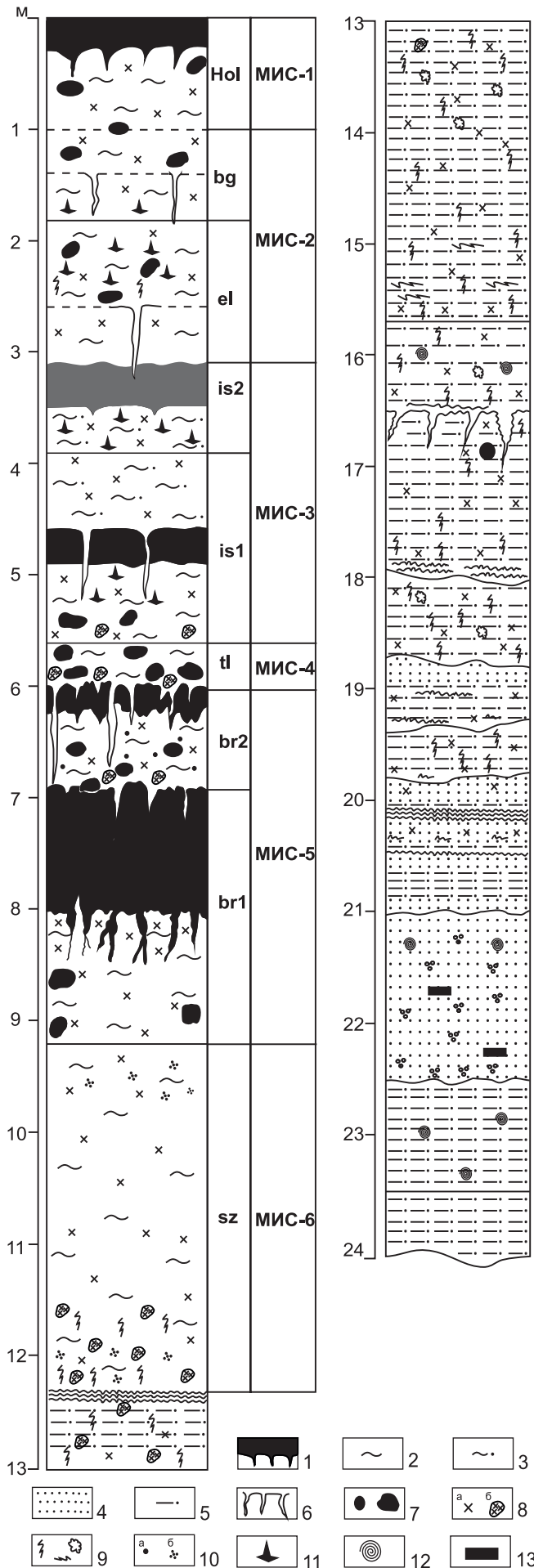
Колыванского увала с координатами N 52°05'069", E 084°08'030", абс. выс. 220 м) под современным черноземом сверху вниз вскрываются следующие слои верхнего плейстоцена (рис. 3, 4):

1. *Баганский лесс* (bg, 1,0–1,8 м) – суглинок лессовидный, серовато-светло-коричневый, слабо уплотненный, пористый, с многочисленными корнеходами и карбонатами в виде псевдомицелия, пропитки; с глубины 1,7 м отмечается гипс с размерами конкреций 1,5–2,0 см. Встречаются норы землероев диаметром 5–7 см. Переход в нижележащий слой заметный (по плотности). Мощность 0,8 м.

2. *Ельцовский лесс* (el, 1,8–3,1 м) – суглинок лессовидный, серовато-коричневый, опесчаненный, уплотненный, пористый, с корнеходами, на глубине 2,1–2,4 м встречаются псевдомицелий, белоглазка и гипсовые конкреции размером от 0,5 до 2,0 см, сконцентрированные в виде окружностей и полос; много нор землероев диаметром 5–10 см. Переход в нижележащий слой слабо заметный (по цвету). Мощность 1,3 м.

3. *Искитимский педокомплекс* (is₁–is₂, 3,1–5,6 м) мощностью 2,5 м – две ископаемые почвы, разделенные слоем лессовидного суглинка мощностью 0,7 м.

Профиль верхней почвы состоит из горизонтов A₁ca, cs и Bca, cs. Гумусовый (A₁ca, cs) горизонт мощностью 0,3 м – суглинок коричневатый-серый, опесчаненный, пористый, ореховато-порошистой структуры, с корнеходами, имеющими стенки бурого цвета, карбонатами в виде псевдомицелия, гипсовыми конкрециями размером 0,5–1,5 см, рассеянно расположенными в горизонте. Встречаются глеевые пятнышки размером 1,5–2,0 см. Верхняя граница слабо выделяется по цвету, нижняя более отчетливая по цвету с редкими мелкими гумусированными затеками. Горизонт (Bca, cs) мощностью 0,5 м – суглинок серовато-коричневый, опесчаненный, комковато-ореховатой структуры, более плотный, менее пористый, много гипсовых конкреций размером до 1,5 см и белоглазки, присутствуют редкие мелкие глеевые



пятнышки. Переход слабо заметный (по цвету). Лессовидный суглинок мощностью 0,7 м, залегающий между почвами, светло-коричневого цвета, опесчаненный, уплотненный, пористый, с корнеходами, мицелярными (псевдомицелий) и единичными сегрегационными (белоглазка) формами карбонатов, редкими мелкими охристыми пятнышками. Переход слабо заметный (по цвету).

Профиль нижней почвы включает горизонты А1са, сс и Вса, сс.

Гумусовый (А1са, сс) горизонт мощностью 0,3 м – суглинок коричневатого-серый со слабым зеленоватым оттенком, опесчаненный, уплотненный, пористый, зернисто-ореховатой структуры, с корнеходами, инкрустированными гумусо-марганцевыми пленками, присутствуют белоглазка и гипсовые конкреции размером до 1,5 см. Верхняя граница отчетливая, разбита трещинами шириной 3 см и глубиной до 0,6 м. Нижняя постепенная, прослеживается по цвету. Горизонт Вса, сс мощностью 0,7 м – суглинок светло-коричневый со слабым зеленоватым оттенком, появляющимся к основанию горизонта, опесчаненный, более плотный, менее пористый, корнеходы с черным гумусо-марганцевым обрамлением, отмечены белоглазка и гипсовые конкреции размером до 3 см. Переход заметный по цвету.

4. *Тулинский лесс* (tl, 5,6–6,0 м) – суглинок лессовидный, желтовато-коричневый, слабо пористый, плотный, с корнеходами, окрашенными в черный цвет, с округлыми карбонатными конкрециями в основании. Встречается много нор землероев диаметром от 7 до 15 см. Нижняя граница резкая, неровная. Мощность неравномерная – от 0,4 до 1,0 м.

5. *Бердский педокомплекс* (br₁–br₂, 6,0–9,3 м) – две ископаемые почвы, разделенные слоем лессовидного суглинка мощностью 0,7 м, который является горизонтом ВСа верхней почвы.

Верхняя почва образована горизонтами АУса и ВСа. Гумусовый (АУса) горизонт мощностью 0,2 м сложен темно-серым суглинком, плотным, слабо пористым, с карбонатным псевдомицелием, мелкими марганцовистыми конкрециями, разбитым трещинами шириной до 5 см и глубиной от 0,2 до 0,6 м, часто секущими оставшуюся часть горизонта. Верхняя граница горизонта резкая, неровная, разбита трещинами, нижняя имеет гуму-

Рис. 4. Геологическое строение разреза Петропавловское 1 – гумусовый горизонт почвы; 2 – суглинок; 3 – суглинок опесчаненный; 4 – песок; 5 – алеврит опесчаненный; 6 – трещины усыхания; 7 – норы землероев; 8 – карбонатные новообразования (а) и конкреции (б); 9 – ожелезнение; 10 – марганцовистые дробовины (а) и крап (б); 11 – гипс; 12 – раковины моллюсков; 13 – скопления остатков млекопитающих; Hol – современная почва голоцена, bg – баганский лесс, el – ельцовский лесс, is – искупимский педокомплекс, tl – тулинский лесс, br – бердский педокомплекс, sz – сузунский лесс

сированные затеки глубиной до 10 см и шириной 2–5 см. Горизонт ВСса мощностью 0,7 м – суглинок лессовидный, коричневато-серый, плотный, слабо пористый, с карбонатным псевдомицелием и корнеходами, с мелкими марганцовистыми конкрециями. В нижней части горизонта встречаются редкие, полые внутри карбонатные конкреции размером от 1 до 2,5 см, присутствуют норы землероев диаметром от 5 до 12 см. Переход в нижележащий слой отчетливый.

В профиле нижней почвы выделены гумусовый (АУса) и карбонатно-иллювиальный (ВСА) горизонты. Первый горизонт мощностью 1,1 м представлен суглинком тяжелым, темно-серым с коричневатым оттенком, плотным, слабо пористым, с псевдомицелием и корнеходами, отмечаются редкий марганцовистый крап и мелкие дробовины размером до 3 мм. Верхняя граница горизонта – в виде округлых и угловатой формы контуров, чередующихся с трещинами шириной от 2 до 10 см и глубиной до 0,6 м. Нижняя часть горизонта – в виде гумусированных языков-затек глубиной до 0,5 м. Переход в иллювиальный горизонт четкий по цвету. Второй горизонт мощностью 1,5 м сложен серовато-коричневым лессовидным, тяжелым, плотным, слабо пористым суглинком с карбонатным псевдомицелием и карбонатными конкрециями в верхней части горизонта. В нем много нор (диаметр 10–15 см) землероев. Переход в нижележащий слой постепенный.

6. *Сузунский лесс* (*sz*, 9,3–12,3 м) – светлый серовато-коричневый суглинок лессовидный, тяжелый, плотный, слабо пористый, с карбонатным псевдомицелием и полыми корнеходами, стенки которых инкрустированы карбонатами. Нижняя граница отчетливая. Мощность 3,0 м.

7. Нижняя часть разреза – субаквальные отложения, представленные озерными суглинками и речным аллювием. Мощность 11,7 м.

Ископаемые педокомплексы

Искитимский педокомплекс представлен двумя слаборазвитыми каштановыми почвами, разделенными суглинком небольшой мощности (см. рис. 4). Обе почвы имеют слабо дифференцированные незначительной мощности профили, нечетко выраженные по цвету гумусовые горизонты, характерные карбонатные новообразования в виде белоглазки, гипсовые конкреции и норы землероев. Аналогичное строение данного педокомплекса установлено в лессово-почвенных разрезах на Предалтайской равнине по р. Песчаная [6], вскрывающих соседний Ануйский увал. По групповому составу органического вещества искитимские почвы близки. Они характеризуются преобладанием фульвокислот над гуминовыми и отношениями $C_{гк}/C_{фк}$ 0,7 (is_1) и 0,8 (is_2) в гумусовом горизонте. Гранулометрический и валовой составы не обнаруживают существенных различий при профильном их распределении. В иллювиальных горизонтах почв отмечается аккумуляция силикатного кальция. Таким образом, несмотря на укороченность почвенных профилей и их слабую дифференциацию, характер строения профиля, наличие белоглазки, гипсовых конкреций и нор землероев достаточно определенно свидетельствуют о формировании ископаемых почв в условиях сухой степи по типу слаборазвитых каштановых. Исследованные почвы отличаются от современных меньшей зрелостью профилей, что обусловлено, вероятно, кратковременностью их формирования в течение эпох почвообразования и существенно усилившейся аридизацией климата в позднем плейстоцене. Почвы сформировались в каргинский интерстадиал, возрастные пределы которого, согласно термолюминесцентным и радиоуглеродным датам, лежат в интервале (24±4)–(53±4) тыс. лет назад [2, 11, 14], который можно сопоставлять с МИС-3 [13].

Бердский педокомплекс состоит из двух черноземов (см. рис. 4). Верхняя почва, представленная слаборазвитым черноземом, значительно отличается от нижней профилем и гумусовым горизонтом небольшой мощности, меньшим по продолжительности временем формирования. Содержание органического углерода в гумусовом горизонте составляет 0,56 % от веса почвы и сокращается до 0,41 % в иллювиальном. В составе органического вещества преобладают гуминовые кислоты, доминирует фракция, связанная с кальцием. Соотношение $C_{гк}/C_{фк}$ равно 1,1 в гумусовом горизонте и 0,6 в карбонатно-иллювиальном. Данные механического состава, равно как и валового, не обнаруживают существенных различий по генетическим горизонтам почвы. Содержание SiO_2 слабо варьирует по профилю, практически не изменяется, Fe_2O_3 по горизонтам стабильно и колеблется в пределах 5,84–5,65 %. Содержание Al_2O_3 близко во всех горизонтах – 14,17–13,85 %. Отмечается накопление силикатного кальция в иллювиальном горизонте, что связано с процессами почвообразования. В профиле почвы в качестве основных процессов проявились гумусонакопление и карбонатизация. Основные педогенетические признаки почвы свидетельствуют об усилении аридизации в позднем плейстоцене. Почва сформировалась в условиях степи в течение одного из теплых интервалов раннезырянской эпохи, который по данным термолюминесцентного датирования [1, 11, 14] соответствует подстадии МИС-5с [13].

Нижняя бердская почва сформировалась в условиях лесостепной зоны. Она имеет хорошо развитый полигенетичный профиль, дифференцированный на мощный гумусовый и карбонатно-иллювиальный горизонты, отмечены норы землероев. По строению профиля это «мощный» чернозем обыкновенный, сформировавшийся по лугово-черноземной почве, развивавшийся длительное время при климате более теплом и достаточно влажном в казанцевское межледниковье – экви-



валент стадии МИС-5е [13]. Содержание органического углерода в гумусовом горизонте до 0,65 %, в иллювиальном – 0,23 %. В составе органического вещества преобладают гуминовые кислоты, причем фракция, связанная с кальцием. Соотношение $C_{гк}/C_{фк}$ равно 1,5 в гумусовом горизонте и 0,5 в карбонатно-иллювиальном. В почве отмечается накопление илливой фракции в основании гумусового горизонта и в иллювиальном. Коррелятно этой фракции распределяются полуторные оксиды. Значительная мощность казанцевских почв, зрелость и оглиненность профилей сближают их с почвами среднего плейстоцена и значительно отличают от вышележащих почв позднего плейстоцена. Эта почва в разрезе Куртак в Средней Сибири датирована в интервале 119–143 тыс. лет назад [11].

Обе почвы педокомплекса имеют черты преобразования в последующую эпоху холодного и влажного климата: неровная поверхность гумусовых горизонтов, осветленная их верхняя часть и гумусированные языки-затеки в основании. Нижняя почва выделяется особенно мощными языками-затеками. Эпохи формирования и преобразования нижней и верхней почв сменялись периодами лессонакопления при аридном холодном климате. Свидетельством этому являются трещины усыхания, секущие поверхности гумусовых горизонтов и заполненные вышележащим суглинком.

Нижний слой субэвральской толщи относится к сузунскому лессовому горизонту ЛПП Сибири и сопоставляется с МИС-6.

Морфометрия и морфоскопия песчаных кварцевых зерен

Метод морфоскопии и морфометрии песчаных кварцевых зерен (ММПКЗ) позволяет определить процессы, которые преобладают во время накопления осадка, и сопровождавшие их палеогеографические условия. Для эоловых отложений характерны преимущественно хорошо окатанные зерна округлой формы III класса окатанности (от 50 до 70 %) [15].

Изучение кварцевых зерен фракции среднего песка (0,25–0,5 мм) проводилось под бинокулярным микроскопом Альтами СМ0870-Т по методике, разработанной в ИГ РАН [15]. Зерна фотографировали на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-6510LV во вторичных электронах (SEI) в ЦКП многоэлементных и изотопных исследований ИГМ СО РАН. Окатанность зерен определялась по трафарету Л. Б. Рухина [7] и пятибалльной шкале А. В. Хабакова [9]; после этого для каждого образца вычислялись коэффициенты окатанности и степень заматованности [15]. Матовость зерен определялась визуально от глянцевой до матовой. Ранее на территории юга Западной Сибири данный метод использовался авторами при изучении лессовых отложений Новосибирского [8, 12] и Барнаульского [5] Приобья. В данной статье приведены данные

ММПКЗ по субэвральской части разреза. Образцы из лессовых горизонтов отбирались из их середины, из палеопочвенных горизонтов взяты из гумусовых.

Для кварцевых зерен **баганского лесса** (МИС-2) коэффициент окатанности составил 54,5 %, степень заматованности 59 %. Преобладают зерна II и III классов окатанности (42 % и 38 % соответственно). Остальная часть приходится на плохо окатанные зерна I класса. Необработанные и превосходно окатанные зерна отсутствуют. Большинство зерен имеют полуматовую (36 %) или матовую (36 %) поверхность, 20 % – четвертьматовую, 8 % – глянцевую (рис. 5).

Основными элементами микрорельефа поверхности зерен баганского лесса являются микроямки, которые развиты на большинстве зерен и образуют так называемую микроямчатую поверхность, являющуюся типичным признаком эоловой транспортировки зерна [15]. Чаще всего ее хорошо видно на выступающих частях зерен (см. рис. 6, а, б). На многих зернах отмечены свежие раковистые сколы – косвенный признак морозного выветривания (см. рис. 6, а) [16]. Зерен, несущих признаки химического выветривания, в данном горизонте нет.

В **ельцовском лессе** (МИС-2) коэффициент окатанности немного выше, чем в вышележащем баганском, – 57,5 %. Степень заматованности 60,5 %. Большая часть зерен относится ко II (38 %) и III (40 %) классам окатанности, плохоокатанных зерен 18 %, превосходно окатанных 4 %. Доминируют полностью матовые зерна (40 %), меньше – с полуматовой поверхностью (32 %), с четвертьматовой (18 %) и глянцевой (10 %) (см. рис. 5). Для зерен характерна микроямчатая поверхность (см. рис. 6, в, г); так же как и в баганском лессе, она лучше сохранилась по «граням и вершинам» зерен (см. рис. 6, г); достаточно широко распространен раковистый скол на зернах. Встречаются признаки химического выветривания в виде травления по микроструктурным отдельностям и растворения (см. рис. 6, в).

Коэффициент окатанности кварцевых зерен из **нижней палеопочвы искимитского педокомплекса** (МИС-3) равен 53,5 %, степень заматованности – 52 %. В слое по-прежнему преобладают зерна II (36 %) и III (30 %) классов окатанности, но их количество меньше, чем в вышележащих лессах; 28 % зерен – плохоокатанные I класса, 6 % – превосходно окатанные. Поровну (по 32 %) зерен с полуматовой и четвертьматовой поверхностями, 28 % – с матовой, 8 % – с глянцевой (см. рис. 5). К наиболее распространенным элементам в морфоскопии зерен горизонта относятся следы химических процессов (травление, растворение, «шероховатость» поверхности) (см. рис. 6, д, е), а также постседиментационные раковистые сколы, свидетельствующие о морозных процессах, скорее всего после почвообразовательных. На ряде зерен по выступающим

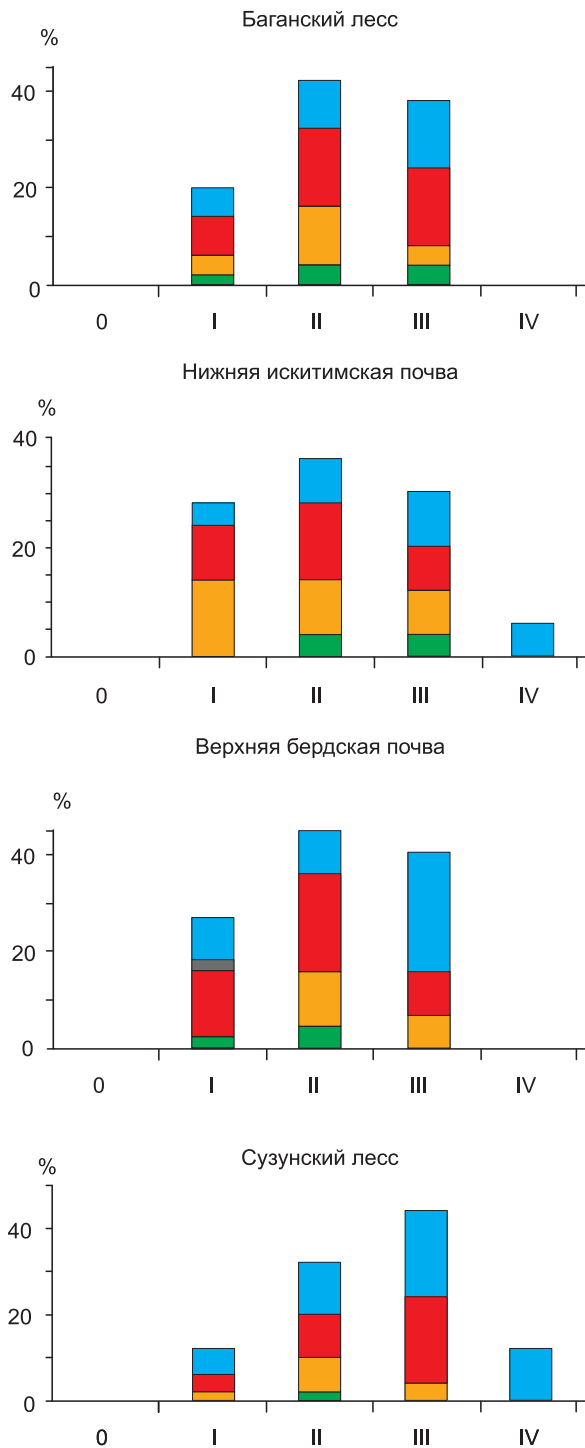


Рис. 5. Распределение песчаных кварцевых зерен из лессово-почвенных слоев разреза Петропавловское по окатанности и заматованности

Поверхность: 1 – глянцевая, 2 – четвертьматовая, 3 – полуматовая, 4 – матовая; 0, I, II, III, IV – классы окатанности по шкале А. В. Хабакова [9]

частям отмечается микроямчатость – признак эолового переноса.

В *тулинском лессе* (МИС-4) коэффициент окатанности кварцевых зерен 52,5 %, степень заматованности 62,5 %. Половина зерен относятся ко второму классу окатанности, 30 % – к III и 20 % – к I. Превалируют зерна с матовой поверхностью (42 %), у 30 % зерен поверхность полуматовая, у 22 % – четвертьматовая, у 6 % – глянцевая (см. рис. 5). Отмечается широкое распространение микроямчатой поверхности (см. рис. 6, ж, з), на некоторых зернах хорошо заметны раковистые сколы.

свидетельствуют «разъедание» зерен и растворение их поверхности, в том числе по поверхности раковистых сколов.

ММПКЗ *бердского педокомплекса* представлена по образцам из нижней (МИС-5е) и верхней (МИС-5с) палеопочв. В *верхней палеопочве* коэффициент окатанности 53 %, степень заматованности 59 %. Преобладают зерна II (40 %) и III (36 %) классов окатанности, плохо окатанных зерен 24 %. Для большей части характерна матовая поверхность (38 %), по 28 % зерен с полуматовой и четвертьматовой поверхностью, 6 % глянцевых (см. рис. 5). На некоторых зернах сохраняются следы переноса зерен в воздушном потоке, выраженные в виде микроям-

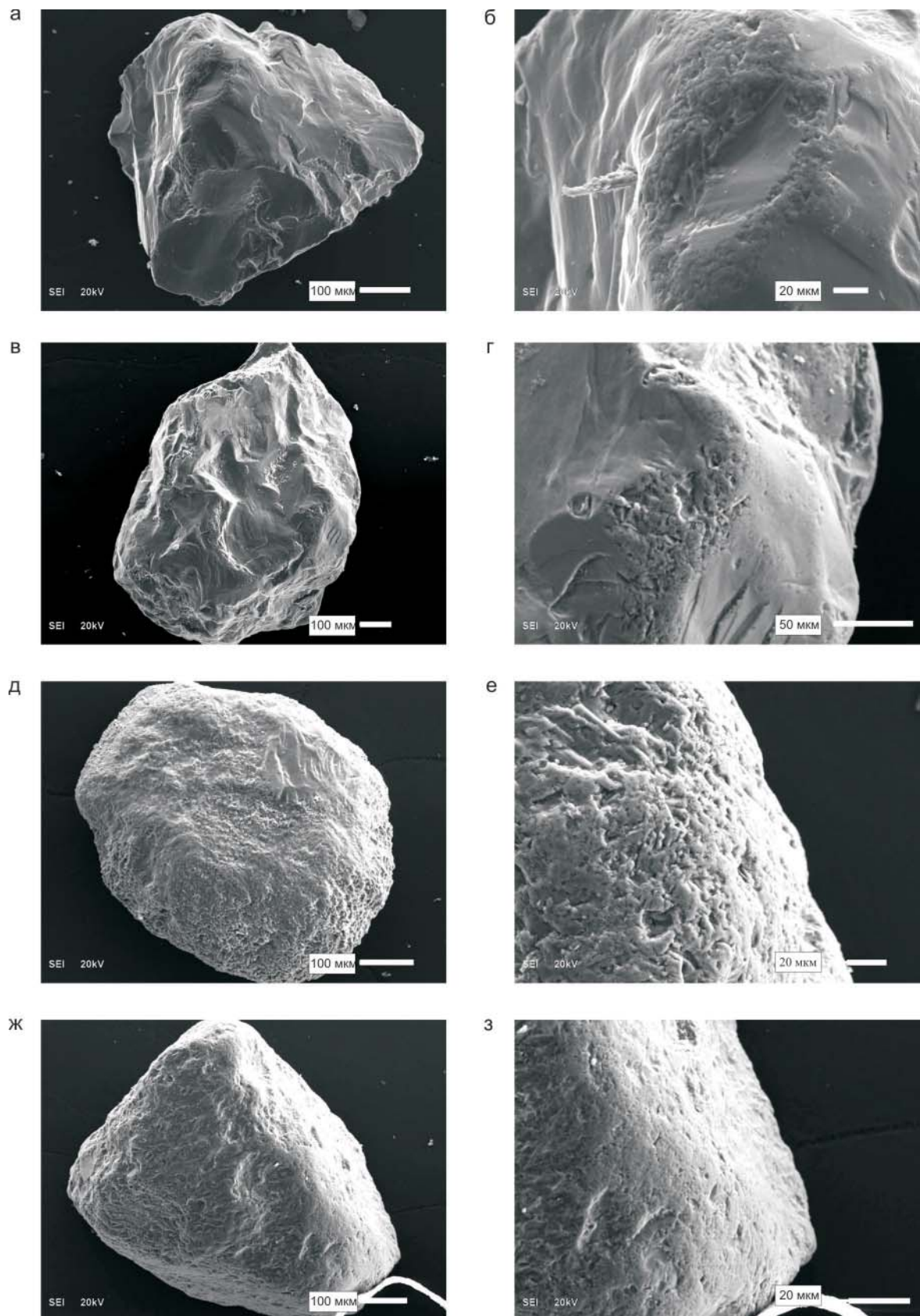


Рис. 6. Кварцевые зерна баганского, ельцовского, тулинского лессов и искитимского педокомплекса: а – баганский лесс, четвертьматовое зерно с микроямчатой поверхностью, сохранившейся по граням и вершинам зерна; б – микроямчатость на зерне «а»; в – ельцовский лесс, четвертьматовое зерно с микроямчатостью по вершинам и граням зерна; г – микроямчатая поверхность на зерне «в»; д – нижняя искитимская палеопочва, матовое сильно выветрелое зерно; е – химически протравленная поверхность зерна «д»; ж – тулинский лесс, матовое зерно с микроямчатостью; з – микроямчатая поверхность и следы соударений на зерне «ж»

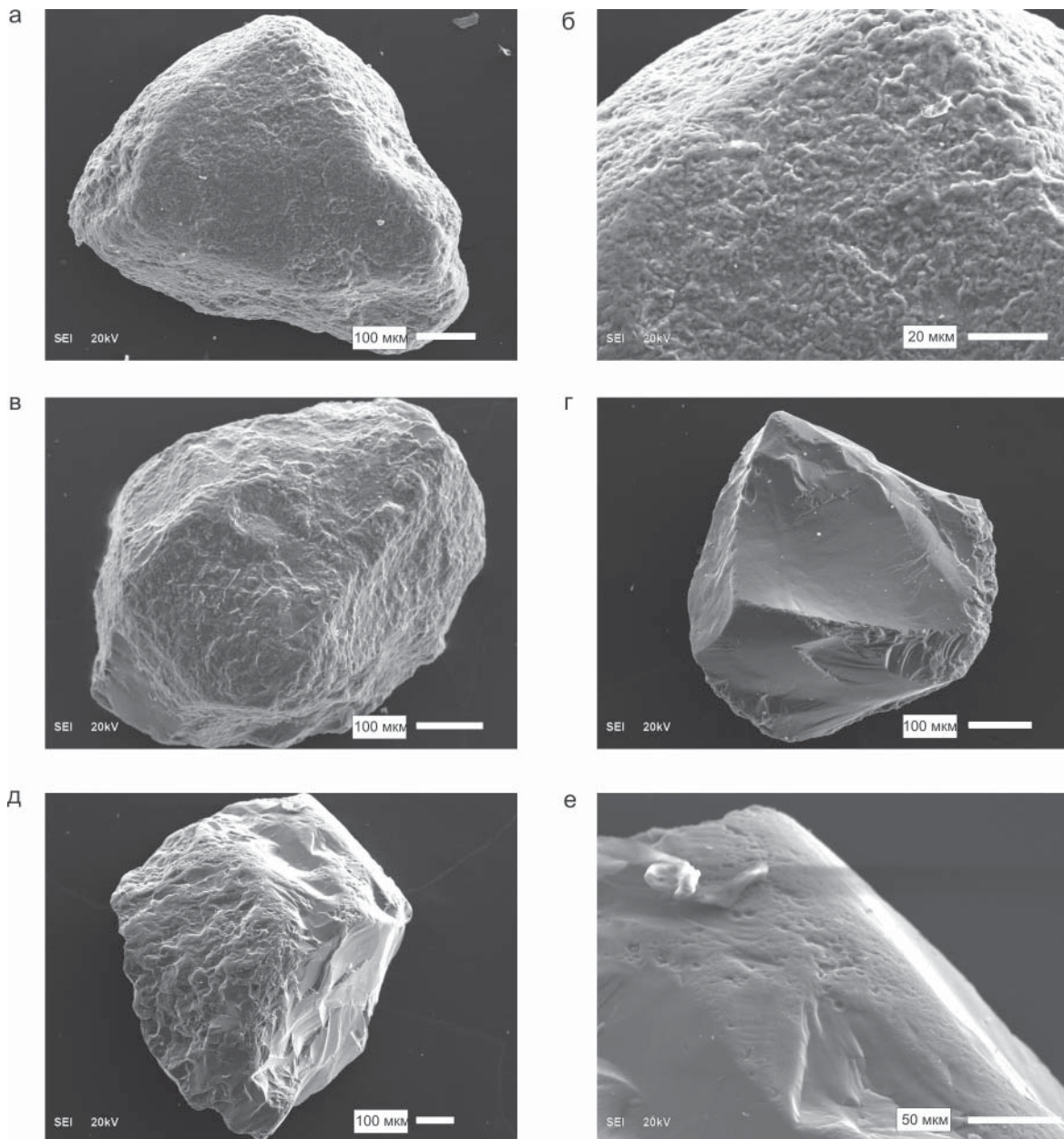


Рис. 7. Фото кварцевых зерен бердского педокомплекса и сузунского лесса: а – верхняя бердская почва, матовое выветрелое зерно; б – растворение кремнезема на поверхности зерна «а»; в – нижняя бердская почва, химически выветрелое матовое зерно; г – сузунский лесс, четвертьматовое зерно с раковистыми сколами и микроямчатостью по граням зерна; д – сузунский лесс, полуматовое зерно с раковистым сколом, микроямчатостью и следами химического травления; е – микроямчатая поверхность на выступающей части зерна «д»

частости. Поверхность зерен претерпела достаточно сильные изменения, связанные с действием химических процессов (рис. 7, а, б), сопровождавших осадконакопление. Ряд зерен имеет постседиментационные раковистые сколы, нарушающие химически протравленные поверхности зерен. В *нижней палеопочве* также преобладают среднеокатанные зерна II класса (42 %), немного меньше хорошо окатанных (36 %), превосходно окатанных 6 %, плохо окатанных 16 %. Больше всего полуматовых зерен (40 %), незначительно меньше матовых (38 %), 22 % четвертьматовых. Коэффициент окатанности 58 %, степень заматованности 63,5 % (см. рис. 5). В морфоскопии зерен основные характеристики этой по-

чвы схожи с таковыми верхней почвы (см. рис. 7, в), однако количество зерен с постседиментационным раковистым сколом гораздо меньше.

В *сузунском лессе* отмечено увеличение значения коэффициента окатанности до 64 % и степени заматованности до 70,5 %. Увеличивается и процентное содержание зерен III (44 %) и IV (12 %) классов. В группу плохоокатанных зерен I класса попадает 12 %. Ровно половина зерен матовые, 34 % полуматовые, 14 % четвертьматовые и 2 % глянцевые (см. рис. 5). Зерна сузунского лесса отличаются уверенными признаками эолового осадконакопления в холодных условиях: широко развиты микроямчатость (см. рис. 7, д, е) и следы соударений



(см. рис. 7, е), часто нарушенные «свежим» раковистым сколом (см. рис. 7, г). Кроме того, выделяются зерна с постседиментационным развитием химического выветривания – растворение поверхности, травление зерен (см. рис. 7, д).

Данные ММПКЗ субаэральной части разреза Петропавловское показали выдержанные близкие значения коэффициента окатанности для горизонтов верхнего плейстоцена (52,5–58 %), в среднеплейстоценовом сузунском лессе оно выше (64 %). Разброс значений степени заматованности в целом также незначителен (59–63,5 %), лишь в почве каргинского времени он равен 52 %. Сузунский лесс выделяется и в отношении матовости – для него характерно значение 70,5 %. Пониженная матовость зерен из искитимской палеопочвы, вероятно, связана с процессами постседиментационного морозного выветривания. В результате десквамации зерна раскалывались на части, тем самым приобретая более глянцевую поверхность. Тот же процесс, по-видимому, повлиял и на более низкую (по сравнению с ельцовским лессом) окатанность и матовость образцов из баганского лесса.

Во всем разрезе отсутствуют неокатанные зерна. Значения коэффициентов окатанности и степени заматованности по горизонтам характерны для отложений, которые формировались за счет эоловой транспортировки. Это подтверждается и наличием микроямчатости на зернах разного класса окатанности во всех горизонтах. Для лессовых горизонтов типичны раковистые сколы, которые косвенно являются признаком морозных процессов, сопровождавших лессонакопление [15]. На примере зерен из лессов, затронутых химическими процессами, видно, что раковистые сколы образованы до действия постседиментационного химического выветривания. В образцах из гумусовых горизонтов изученных палеопочв (искитимский и бердский педокомплексы) видно, что химическими процессами была переработана большая часть поверхности зерен, однако на ряде зерен сохранились признаки эолового переноса. Отмеченный на них раковистый скол, скорее всего, постседиментационный.

В данном разрезе коэффициенты окатанности лессовых зерен ниже, чем в аналогичных слоях Приобского лессового плато (Новосибирское и Барнаульское Приобье). Это, вероятно, связано с различным источником материала, переносимого ветром. В предгорной части Предалтайской равнины в пределах Ануйского и Колыванского увалов уже встречаются отдельные выходы коренных пород. При выветривании и разрушении пород появлялся материал, который в дальнейшем вовлекался в поток и переносился эоловым путем. Наличие подобного местного переноса необработанного материала, который не успевал хорошо окатываться в течение недлительной транспортировки, по-видимому,

повлияло на снижение степени окатанности зерен изученного разреза.

Наличие зерен с глянцевой поверхностью в ряде горизонтов лессов может быть связано либо с участием в процессе лессонакопления зерен с близрасположенных речных долин, либо с раскалыванием исходно захороненных эоловых зерен на несколько осколков, имеющих глянцевых поверхности.

Выводы

Стратиграфические, палеопедологические, литологические данные, полученные при изучении разреза по р. Ануй у пос. Петропавловское, позволили выделить в нем две толщи. Верхняя субаэральная толща, соответствующая верхней части лессово-почвенной последовательности Западной Сибири, формировалась во время позднего плейстоцена – конца среднего плейстоцена. Залегающий в ее основании сузунский лесс соответствует МИС-6 [1, 16]. В лессово-почвенной последовательности выделены два педокомплекса. Каждый представлен двумя почвами, отражающими эволюцию этапов позднеплейстоценового почвообразования от казанцевского межледниковья к каргинскому интерстадиалу. Черноземное почвообразование казанцевского межледниковья в условиях лесостепей при климате более теплом и влажном, чем современный, сменилось в интерстадиал раннезырянской эпохи на степное черноземное в более аридных условиях. Почвенный покров каргинского интерстадиала был представлен каштановыми почвами, формировавшимися уже в условиях сухой степи при дальнейшей аридизации климата во время теплых эпох. Тренд развития почвообразовательных процессов был направлен на усиление аридизации климата. После казанцевского межледниковья амплитуда и частота климатических колебаний существенно изменились. Теплые эпохи этого интервала отличаются значительно меньшей глубиной потепления и кратковременностью. Это выражено в упрощенном строении профилей почв и меньшей мощности их горизонтов.

Данные морфоскопии и морфометрии кварцевых зерен позволили подтвердить эоловый генезис изученных отложений: во всех горизонтах субаэральной части разреза Петропавловское отмечаются признаки переноса в воздушном потоке. Кроме этого, установлены признаки проявления морозного выветривания и следы химических процессов. В разрезе по морфоскопии выделяется среднеплейстоценовый сузунский лесс, в котором отмечаются лучше выраженные следы эоловой транспортировки. Вместе с высокой окатанностью и матовостью это может свидетельствовать о более длительном осадконакоплении в течение МИС-6, чем во время холодных стадий позднего



плейстоцена. По-видимому, накопление лессовых отложений Предалтайской равнины в пределах Колыванского увала происходило в криоаридных условиях.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-05-00371), государственно-го задания (проект № 0330-2016-0017).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Зыкина В. С. Зыкин В. С.** Лессово-почвенная последовательность и эволюция природной среды и климата Западной Сибири в плейстоцене – Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2012. – 477 с.

2. **Зыкина В. С., Волков И. А., Дергачева М. И.** Верхнечетвертичные отложения и ископаемые почвы Новосибирского Приобья. – М.: Наука, 1981. – 204 с.

3. **Классификация** и диагностика почв России / Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 341 с.

4. **Классификация** и диагностика почв СССР / В. В. Егоров, В. М. Фридланд, Е. Н. Иванова, Н. И. Розов. – М.: Колос, 1977. – 223 с.

5. **Комплексное** изучение горизонтов лессов верхнего плейстоцена разреза Белово / А. О. Сизикова, В. С. Зыкина, И. Ю. Овчинников, В. С. Панов // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2015. – № 4 (240). – С. 17–30.

6. **Новые** данные по стратиграфии четвертичных отложений предгорий Горного Алтая (долина р. Песчаная) / В. С. Зыкин, В. С. Зыкина, Л. Г. Смолянинова и др. // Археология, этнография и антропология Евразии. – 2017. – № 3. – С. 3–16.

7. **Рухин Л. Б.** Основы литологии. – Л.: Недра, 1969. – 703 с.

8. **Сизикова А. О., Зыкина В. С.** Морфоскопия песчаных кварцевых зерен и микростроение верхнеплейстоценовых лессов юга Западной Сибири, разрез Ложок // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2014. – № 1 (170). – С. 41–50.

9. **Хабаров А. В.** Об индексах окатанности галечников // Сов. геология. – 1946. – № 10. – С. 98–99.

10. **Head M. J., Gibbard P. L., Salvador A.** The Quaternary: its character and definition // Episodes. – 2008. – Vol. 31, no. 2. – P. 234–238.

11. **Luminescence** chronology of the Upper Pleistocene loess record at Kurtak in Middle Siberia / A. Zander, M. Frechen, V. Zykina, W. Boenigk // Quaternary Science Reviews. – 2003. – Vol. 22. – P. 999–1010.

12. **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.

13. **The astronomical** theory of climate and the age of the Brunhes-Matuyama magnetic reversal / F. C. Bassinot, L. D. Labeyrie, E. Vincent, et al. // Earth and Planetary Science Letters. – 1994. – Vol. 126. – P. 91–108.

14. **The loess** record from the section at Kurtak in Middle Siberia / M. Frechen, A. Zander, V. Zykina, W. Boenigk // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. – 2005. – Vol. 228. – P. 228–244.

15. **Velichko A., Timireva S.** Morphoscopy and morphometry of quartz grains from loess and buried soil layers // GeoJournal. – 1995. – Vol. 36 (2/3). – P. 143–149.

16. **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.

REFERENCES

1. Zykina V.S., Zykina V.S. *Lessovo-pochvennaya posledovatel'nost' i evolyutsiya prirodnoy sredy i klimata Zapadnoy Sibiri v pleystotsene* [Loess-soil sequence and evolution of the natural environment and climate of West Siberia in Pleistocene]. Novosibirsk, Geo Publ., 2012. 477 p. (In Russ.).

2. Zykina V.S., Volkov I.A., Dergacheva M.I. *Verkhnechetvertichnye otlozheniya i iskopaemye pochvy Novosibirskogo Priob'ya* [Upper-Quaternary deposits and fossil soils of the Novosibirsk Ob Region]. Moscow, Nauka Publ., 1981. 204 p. (In Russ.).

3. Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* [Classification and diagnostics of soils of Russia]. Smolensk, Oikumena Publ., 2004. 341 p. (In Russ.).

4. Egorov V.V., Fridland V.M., Ivanova E.N., Rozov N.I. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR* [Classification and diagnostics of soils of the USSR]. Moscow, Kolos Publ., 1977. 223 p. (In Russ.).

5. Sizikova A.O., Zykina V.S., Ovchinnikov I.Yu., Panov V.S. [Comprehensive study of Upper Pleistocene loess horizons of the Belovo section]. *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri – Geology and mineral resources of Siberia*, 2015, no. 4, pp. 17–30. (In Russ.).

6. Zykina V.S., et al. [New data on the stratigraphy of the Quaternary deposits of the foothills of the Gorny Altai (the Peschanaya River valley)]. *Arkheologiya, etnografiya i antropologiya Evrazii – Archeology, ethnology and anthropology of Eurasia*, 2017, no. 3, pp. 3–16. (In Russ.).

7. Rukhin L.B. *Osnovy litologii* [Fundamentals of lithology]. Leningrad, Nedra Publ., 1969. 703 p. (In Russ.).

8. Sizikova A.O., Zykina V.S. [Morphoscopy of sand quartz grains and microstructure of the Upper Pleistocene loesses in the south of West Siberia, Lozhok section]. *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri – Geology and mineral resources of Siberia*, 2014, no. 1, pp. 41–50. (In Russ.).

9. Khabakov A.V. [On the roundness indexes of pebbles]. *Sovetskaya geologiya*, 1946, no. 10, pp. 98–99. (In Russ.).

10. Head M.J., Gibbard P.L., Salvador A. The Quaternary: its character and definition. *Episodes*, 2008, vol. 31, no. 2, pp. 234–238.



11. Zander A., Frechen M., Zykina V., Boenigk W. Luminescence chronology of the Upper Pleistocene loess record at Kurtak in Middle Siberia. *Quaternary Science Reviews*, 2003, vol. 22, pp. 999–1010.
12. 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, pp. 4–14.
13. Bassinot F.C., Labeyrie L.D., Vincent E., et al. The astronomical theory of climate and the age of the Brunhes-Matuyama magnetic reversal. *Earth and Planetary Science Letters*, 1994, vol. 126, pp. 91–108.
14. 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, pp. 228–244.
15. Velichko A., Timireva S. Morphoscopy and morphometry of quartz grains from loess and buried soil layers. *GeoJournal*, 1995, vol. 36 (2/3), pp. 143–149.
16. Zykina V.S., Zykin 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, pp. 171–175.

© В. С. Зыкина, А. О. Вольвах, В. С. Зыкин,
Н. Е. Вольвах, 2018