



<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-3-59-73>
УДК 624.131.1



МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ТЕРРИГЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ ЛЕССОВЫХ И ГЛИНИСТЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАПАДНОЙ МОНГОЛИИ

Т.Г. РЯЩЕНКО

ФГБУН «Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук»
128, ул. Лермонтова, г. Иркутск 664033, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Рассматриваются результаты изучения минерального состава терригенных компонентов методом количественного иммерсионного анализа для лессовых и глинистых отложений Западной Монголии, полученные в рамках геологических исследований при проведении работ по сейсмическому микрорайонированию территорий некоторых городов.

Цель. Определение и анализ изменений минерального состава терригенных компонентов лессовых четвертичных аллювиальных, эоловых, делювиально-эоловых и делювиально-пролювиальных комплексов, а также неоген-нижнечетвертичных озерно-аллювиальных и мел-палеогеновых озерных «кирпичных» глин.

Материалы и методы. Информационный банк представлен количественными данными по содержанию легких и тяжелых минералов (фракция 0,01—0,25 мм) различных геолого-генетических комплексов отложений, образцы которых были отобраны из обнажений мощностью 6—8 м и опорных скважин глубиной 20—30 м (всего 72 образца). При характеристике состава легкой и тяжелой фракций установлены минеральные ассоциации, рассчитаны коэффициенты зрелости (Kz) и устойчивости (Ky). Выделены четыре территориальные зоны: северная (территория городов Сухэ-Батор, Мурэн), центральная (Дзунмод), западная (Улясутай) и южная (Даланзадгад). При обработке минералогических данных применялась программа кластерного анализа Q-типа.

Результаты. Установлено, что изменения минеральных ассоциаций изученных объектов связаны с их принадлежностью к выделенным геолого-генетическим комплексам и возможностью участия эоловых процессов. К числу факторов влияния относятся климатические условия в период формирования комплексов, состав пород геологических формаций, распространенных на указанных территориях, и современная климатическая зональность.

Заключение. Наиболее представительные материалы получены для центральной и южной зоны, где минеральный состав терригенных компонентов определялся по образцам опорных скважин, в которых четко наблюдались изменения минерального состава отложений при смене геолого-генетического комплекса. Иммерсионный метод до сих пор не утратил своего значения при изучении осадочных пород, поэтому особый интерес с научной и практической точки зрения представляет впервые полученная информация по новому объекту — территории Западной Монголии.

Ключевые слова: минеральный состав, терригенные компоненты, лессовые и глинистые отложения, иммерсионный анализ, геолого-генетический комплекс, эоловые процессы, коэффициенты зрелости и устойчивости

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: В работе задействовано оборудование ЦКП «Геодинамика и геохронология» Института земной коры СО РАН в рамках гранта № 075-15-2021-682.

Для цитирования: Рященко Т.Г. Минеральный состав терригенных компонентов лессовых и глинистых отложений Западной Монголии. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2022;64(3):59—73. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-3-59-73>

Статья поступила в редакцию 26.03.2021
Принята к публикации 11.10.2022
Опубликована 17.10.2022

MINERAL COMPOSITION OF TERRIGENOUS COMPONENTS IN LOESS AND CLAY DEPOSITS OF WESTERN MONGOLIA

TAMARA G. RYASHCHENKO

*Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
128, Lermontov str., Irkutsk 664033, Russia*

ABSTRACT

Introduction. The paper considers the results of a study associated with the mineral composition of terrigenous components in loess and clay deposits of Western Mongolia. The study was performed by the method of quantitative immersion analysis using samples obtained in the framework of geological studies during the seismic microzoning of certain cities.

Aim. Determination and analysis of variations in the mineral composition of terrigenous components of loess quaternary alluvial, eolian, diluvial-eolian and diluvial-proluvial complexes, as well as Neogene-lower Quaternary lake-alluvial and Cretaceous-Paleogene lake “brick” clays.

Materials and methods. The database is represented by quantitative data on the content of light and heavy minerals (0.01—0.25 mm fraction) in various geological and genetic deposit complexes, sampled from outcrops with the thickness of 6–8 m and test wells with the depth of 20–30 m (72 samples in total). During the compositional characterisation of light and heavy fractions, mineral associations were established, as well as maturity (Kz) and stability coefficients (KU) were calculated. Four territorial zones, including northern (territory of Sükhbaatar and Möрөн), central (Zuunmod), western (Uliastai) and southern (Dalanzadgad), were isolated. A Q-type cluster analysis program was applied to process mineralogical data.

Results. Variations in mineral associations of the studied objects were established related both to their belonging to the selected geological and genetic complexes and the possibility of eolian process effects. The factors of influence include climatic conditions during the formation of complexes, the composition of rocks in geological formations abundant in these territories and contemporary climatic zoning.

Conclusion. Representative data were obtained for the central and southern zones, where the mineral composition of terrigenous components was determined using samples from test wells having clearly observed variations in the mineral composition of deposits during the change of a geological and genetic complex. Since the immersion method is still essential for studies of sedimentary rocks, the information on a new object, represented by the territory of West Mongolia, obtained for the first time, appears to be of a particular interest both from scientific and practical points of view.

Keywords: mineral composition, terrigenous components, loess and clay deposits, immersion analysis, geological and genetic complex, eolian processes, maturity and stability coefficients

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: The equipment of the Center for Collective Use “Geodynamics and Geochronology” of the Institute of the Earth’s Crust of the SB RAS was used in this work within the framework of the grant No. 075-15-2021-682.

For citation: Ryashchenko T.G. Mineral composition of terrigenous components in loess and clay deposits of Western Mongolia. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2022;64(3):59—73. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-3-59-73>

*Manuscript received 26 March 2021
Accepted 11 October 2022
Published 17 October 2022*

Введение

При изучении минерального состава лессовых и глинистых отложений в настоящее время применяется преимущественно рентгеновский анализ, когда по валовой пробе определяется содержание всего набора минералов (легких, тяжелых и глинистых) и так называемого рентгеноаморфного вещества [18]. Кроме того, известен метод порошковой дифракции, при котором рентгенограммы идентифицируются с помощью программы поиска фаз (определяется содержание кварца, полевых шпатов и глинистой фракции различного минерального состава), при этом соотношения последних носят приближенный характер ($\pm 5\%$) [22].

В то же время к числу традиционных (классических) методов литологии относится иммерсионный анализ, который позволяет получить количественную информацию о содержании преобладающих, второстепенных и аксессуарных минералов легкой и тяжелой фракций. В 1947 г. была опубликована монография В.П. Батурина «Петрографический анализ геологического прошлого по терригенным компонентам», которая явилась основой нового научного направления, связанного с изучением распределения минеральных ассоциаций в различных отложениях [1]. Известны работы 1990-х годов доктора геолого-минералогических наук Н.С. Окновой по разработке литолого-палеогеографических и геодинамических методов прогноза и поисков залежей нефти и газа на северо-востоке Русской платформы [11], относительно недавно опубликована статья А.В. Милаша по аксессуарным минералам эйфельских, живетских и нижнефранских отложений юго-востока Воронежской антеклизы [10].

Говоря об утерянном классификационном признаке лессовых пород, В.Г. Шлыков и П.В. Трапезников, конечно, имели в виду их минеральный состав, в том числе терригенные компоненты легкой и тяжелой фракций, рассматривая их в качестве корреляционно-генетического критерия при изучении лессовых толщ различных территорий [19].

Представленные материалы по Западной Монголии получены в рамках геологических и инженерно-геологических исследований в период проведения работ по сейсмическому микрорайонированию (СМР) аймачных центров (городов) Институтом земной коры СО РАН и Исследовательским Центром по астрономии и геофизике Академии наук Монголии [16, 21] (рис. 1).

Обращаясь к ретроспективной информации, следует напомнить, что на юге Восточной Сибири материалы по минералогии терригенных

компонентов, полученные иммерсионным методом, занимали одно из ведущих мест в комплексных исследованиях лессовых отложений [6, 13—15].

Следует также сказать, что в более ранних геологических и инженерно-геологических работах, выполненных на территории Монгольской Народной Республики [3, 5], отсутствовали какие-либо сведения о минеральном составе терригенных компонентов лессовых и глинистых пород. Например, в сборнике геологических материалов обнаружена статья с описанием лессовидных суглинков, в толще которых был найден зуб мамонта, что позволило эти отложения отнести к верхнему плейстоцену (условия перигляциального режима); сделаны выводы о формировании в условиях жаркого климата красноцветных озерных глин («кирпичные» глины).

Исследования, материалы которых изложены в представляемой статье, проводились в локально-региональном отношении: выделены четыре широтные зоны, для каждой из которых на примере конкретных городских территорий представляется информация о минеральном составе легкой и тяжелой фракций (0,01—0,25 мм) образцов, отобранных из естественных обнажений и опорных скважин.

Цель исследований заключалась в определении и анализе изменений минерального состава терригенных компонентов четвертичных лессовых аллювиальных, эоловых, делювиально-эоловых и делювиально-пролювиальных комплексов, а также неоген-нижнечетвертичных озерно-аллювиальных и мел-палеогеновых озерных «кирпичных» глин.

Объекты и методы

Объектами исследований являются 72 образца нарушенной структуры лессовых отложений и «кирпичных» глин различных геолого-генетических комплексов (ГГК), распространенных в выделенных территориальных зонах: северной, центральной, западной и южной. Эти образцы были отобраны из обнажений мощностью до 6—8 м и опорных скважин глубиной 20—30 м. Термин «геолого-генетический комплекс» объединяет отложения одного генезиса и возраста и включает определенные литологические группы [7].

На территории Западной Монголии лессовые отложения представляют особую группу опесчаненных лессовидных образований, которые относятся к связным пескам (ps^*) и являются продуктом процессов лессового литогенеза; связные



Рис. 1. Схема расположения городов в Западной Монголии, на территории которых проводились работы по сейсмическому микрорайонированию (обозначены красным цветом)

Fig. 1. Scheme of the cities location in Western Mongolia, on the territory of which seismic microzoning was carried out (indicated in red)

пески обладают агрегированностью, высокой карбонатностью, проявляют просадочность и слабую пластичность [8, 23]. Они относятся к делювиально-эоловым ($d-vQ_{3-4}$), эоловым (vQ_{3-4}) и аллювиальным (aQ_{3-4}) комплексам мощностью 3—5 м, а также являются заполнителем крупнообломочных делювиально-пролювиальных четверичных нерасчлененных толщ, образующих древние конусы выноса — это своеобразная «моласса» с облессованным супесчано-песчаным заполнителем мощностью до 8—10 м (dpQ).

Глинистые отложения представлены особой группой «кирпичных» глин (gln), вскрытых при бурении опорных скважин на глубине 7—16 м в центральной и южной зонах, они относятся соответственно

к озерно-аллювиальным ($l-aN-Q_1$ — gln) и озерным (lK_2-Pg — gln) комплексам, мощность 12—15 м.

Для каждого образца иммерсионным методом получены количественные данные о минеральном составе легкой и тяжелой фракции (анализы были выполнены в литологической лаборатории Иркутского геологического управления в процессе совместных исследований) [2, 9, 17]. Предварительно проводится гранулометрический анализ образца по методу Л.Н. Сабанина: отмывается глинистая фаза ($<0,002$ мм), определяется ее содержание; оставшая часть пробы высушивается, и ситовым способом устанавливается содержание различных песчано-пылевых фракций.

В легкой и тяжелой фракциях по содержанию преобладающих минералов устанавливаются минеральные ассоциации, а также рассчитываются коэффициенты зрелости (K_z) и устойчивости (K_U).

Коэффициент зрелости представляет собой отношение содержания устойчивого к выветриванию кварца и неустойчивых полевых шпатов (кв/пш), устойчивости — отношение содержания устойчивых циркона и турмалина к неустойчивым амфиболом и пироксенам (ц+тур/ам+п). Повышенные значения этих коэффициентов являются свидетелями химической зрелости отложений.

На базе материалов о минеральном составе терригенных компонентов лессовых и глинистых отложений Западной Монголии (северная, центральная, западная, южная зоны) выполнен своеобразный эксперимент по группированию исследованных образцов с помощью программы кластерного анализа Q-типа [6, 15].

Результаты и их обсуждение

Рассматриваются четыре территориальные зоны: северная (районы городов Сухэ-Батор, Мурэн), центральная (Дзунмод), западная (Улясутай) и южная (Даланзадгад).

Северная, центральная и западная аналогичны Прибайкалью с умеренно гумидным резко континентальным климатом, южная — типичная аридная область Южно-Гобийской полупустынной равнины. Осадки для северной зоны максимальны — 228—315 мм/год, для южной минимальны — 125 мм/год. Для каждой зоны приводятся результаты минералогических исследований, при этом предварительно рассматриваются сведения о геоморфологических особенностях территории, развитых здесь геологических формациях и распространении различных ГГК лессовых и глинистых отложений. При анализе минеральных ассоциаций тяжелых фракций использовалась специальная литература [4, 20].

Северная зона

Сухэ-Батор расположен в межгорной впадине; в пределах города выделяются террасы р. Орхон и слабо расчлененные склоны; распространена нижнепротерозойская интрузивно-метаморфическая формация: гранитогнейсы, метаморфизованные песчаники, алевриты и сланцы.

Широко развиты связные пески (ps^*), которые в виде делювиально-эоловых покровов залегают на пологих склонах и поверхности надпойменных террас Орхона ($d-vQ_{3-4}$) или представляют аллювиальный комплекс (aQ_4). Пески со следами

связности характеризуются присутствием агрегатов, в которых заключен резерв глинистых фракций; в зарубежных публикациях агрегированные просадочные пески называются глинистыми [24].

Материалы по минералогии получены для 12 образцов, выявлены следующие особенности. В легкой фракции содержания кварца и полевых шпатов близки (K_z 0,8—1,2), иногда кварц уступает слабоустойчивому компоненту. В тяжелой фракции установлена преимущественно амфиболовая ассоциация (31—61%), всегда присутствуют эпидот (13—34%) и рудные минералы (13—35%), в качестве второстепенной примеси отмечены сфен и гранат (2,2—5,1%); циркон и турмалин относятся к акцессорным (<1—5%) компонентам; коэффициент устойчивости очень низкий — 0,01—0,08; вторичные минералы (лимонит и лейкоксен) не характерны (<1%). В качестве примера представлены основные минералы легкой и тяжелой фракций (табл. 1).

Полученные материалы по ряду позиций позволяют сделать следующее заключение: постоянное присутствие эпидота и рудных минералов предполагает связь с магматическими породами распространенной здесь геологической формации; преобладание амфиболов указывает на существование постороннего источника — это, вероятнее всего, «минералы-пришельцы», принесенные северо-западным ветром (наблюдается аналогия с лессовыми отложениями Прибайкалья); почти полное исчезновение пироксенов (0,4—1,7%) можно объяснить отсутствием на данной территории трапповой формации, которая, как известно, широко распространена в Нижнем Приангарье, где лессовые покровы на террасах имеют пироксен-амфиболовую минеральную ассоциацию [8]; химическая зрелость связных песков очень низкая, поскольку в тяжелой фракции господствуют слабо устойчивые амфиболы ($K_U < 0,10$), в легкой — слабо устойчивые полевые шпаты по содержанию близки или превышают кварц.

Мурэн расположен в районе Хангайского нагорья. Здесь развиты предгорные шлейфы, древние конусы выноса и низкие террасы р. Дэнгэрн. В пределах городской территории распространены нижне-среднедевонская интрузивная (розоватые крупнозернистые граниты) и пермская эффузивная (базальты, базальтовые туфы, андезиты) геологические формации.

Связные пески представлены аллювиальными (aQ_4 — ps^*), эоловыми (vQ_{3-4} — ps^*) и делювиально-эоловыми ($d-vQ_{3-4}$ — ps^*) комплексами.

Таблица 1. Основные минералы легкой и тяжелой фракций, коэффициенты зрелости (Kz) и устойчивости (KU) (Сухэ-Батор — выборочные данные)

Table 1. Main minerals of light and heavy fractions, coefficients of maturity (Kz) and stability (KU) (the Sukhebaator — selected data)

Образец — глубина, м / Sample — depth, m	ГГК / GGC	ЛГ / LG	Содержание минералов, % / Mineral content, %						
			Легкая фракция / Light fraction			Тяжелая фракция / Heavy fraction			
			кв / qtz	пш / flds	Kz	ам / am	руд / ore	эп / ep	KU / KU
74 — 2,5	d-vQ ₃₋₄	ps*	22,7	74,8	0,30	38,6	29,0	21,5	0,05
76 — 1,0	d-vQ ₃₋₄	ps*	50,7	48,7	1,00	44,7	18,6	20,1	0,07
76 — 3,0	d-vQ ₃₋₄	ps*	55,3	43,7	1,2	31,0	20,0	29,2	0,07
85 — 2,0	d-vQ ₃₋₄	ps*	44,5	54,9	0,80	46,2	21,7	23,5	0,03
81 — 1,0	aQ ₄	ps*	50,2	47,9	1,04	40,1	12,9	34,2	0,05

Примечание. ГГК — геолого-генетический комплекс, ЛГ — литологическая группа: ps* — связные пески; кв — кварц, пш — полевые шпаты, ам — амфиболы (роговая обманка + актинолит), руд — рудные минералы (магнетит + ильменит), эп — эпидот.

Note. GGC is geological-genetic complexe, LG is lithological group: ps* is cohesive sands; qtz is quartz, flds is feldspars, am is amphiboles (hornblende + actinolite), ore is ore minerals (magnetite + ilmenite), ep is epidote.

Таблица 2. Основные минералы легкой и тяжелой фракций, коэффициенты зрелости (Kz) и устойчивости (KU) (Мурэн — выборочные данные)

Table 2. Main minerals of light and heavy fractions, coefficients of maturity (Kz) and stability (KU) (the Muren — selected data)

Образец — глубина, м / Sample— depth, m	ГГК / GGC	ЛГ / LG	Содержание минералов, % / Mineral content,%							Масса тяже- лой фракции. г / Weight of heavy fraction, g
			Легкая фракция / Light fraction			Тяжелая фракция / Heavy fraction				
			кв / qtz	пш / flds	Kz	руд / ore	ам / am	ц / z	KY / KU	
34 — 1,0	aQ ₄	ps*	46,8	43,6	1,10	57,9	24,0	1,1	0,05	0,0647
36 — 3,0	vQ ₃₋₄	ps*	49,4	45,2	1,10	72,4	9,6	5,5	0,59	-
35 — 1,0	d-vQ ₃₋₄	ps*	44,7	51,0	0,88	54,6	8,6	3,8	0,44	0,0549
35 — 1,5	d-vQ ₃₋₄	ps*	52,4	44,1	1,19	75,6	9,7	1,3	0,13	0,1000
35 — 4,2	d-vQ ₃₋₄	ps*	55,3	43,1	1,28	65,3	9,2	5,9	0,64	0,0249
35 — 6,0	d-vQ ₃₋₄	ps*	49,8	47,8	1,04	50,2	26,9	2,6	0,11	0,1432

Примечание. ГГК — геолого-генетический комплекс, ЛГ — литологическая группа: ps* — связные пески; минералы: кв — кварц, пш — полевые шпаты, руд — рудные минералы (магнетит + ильменит), ам — амфиболы (роговая обманка + актинолит), ц — циркон.

Note. GGC is geological-genetic complexe, LG is lithological group: ps* is cohesive sands; qtz is quartz, flds is feldspars, ore is ore minerals (magnetite + ilmenite), am is amphiboles (hornblende + actinolite), z is zircon.

Материалы по минералогии получены для 9 образцов. Выявлены следующие особенности: кварц и полевые шпаты по содержанию близки (Kz 0,88—1,28); в тяжелой фракции изменяется минеральная ассоциация — это рудные минералы (магнетит + ильменит), содержание которых составляет 50,2—75,6%; амфиболы присутствуют в заметном количестве (8,6—26,9%); циркона мало (1,1—5,9%); коэффициент устойчивости изменяется от 0,05 до 0,64 в зависимости от количества амфиболов (табл. 2).

Эоловые (vQ₃₋₄ — ps*) и делювиально-эоловые (d-vQ₃₋₄ — ps*) покровы широко развиты в окрестностях города, где они образуют экзотический дюнно-увалистый микрорельеф с участками соснового леса. В этом случае амфиболы, присутствующие в тяжелой фракции, можно рассматривать в качестве минералов-пришельцев (это продукт эолового привноса материала). Кроме того, замечено, что в некоторых образцах делювиально-эоловых связных песков возрастает масса тяжелых компонентов (до 0,1000—0,1432 г) (табл. 2).

Смену минеральной ассоциации (преобладание рудных) в аллювии, эоловых и делювиально-эоловых комплексах можно объяснить влиянием пород «коренной основы» (базальты, андезиты пермской эффузивной формации).

Связные пески в районе Мурэна отличаются незначительной химической зрелостью, поскольку полевых шпатов здесь вполне достаточно и присутствуют амфиболы (причиной является современный умеренно гумидный резко континентальный климат, когда сохраняются слабо устойчивые к выветриванию компоненты).

Общие выводы по северной зоне (Сухэ-Батор, Мурэн) можно сформулировать следующим образом: а) присутствие минералов-пришельцев (это амфиболы) подтверждает периодическое участие эоловых процессов при формировании связных песков; б) слабая химическая зрелость отложений определяется современной климатической зональностью; в) в северной зоне Западной Монголии ситуация по минералогии терригенных компонентов опесчаненных лессовидных отложений (связных песков) аналогична Прибайкалью (Россия).

Центральная зона

Дзунмод (в 60 км на юго-восток от Улан-Батора) расположен в границах раннепалеозойской межгорной впадины; западная часть площади города представляет собой поверхность древнего конуса выноса, центральная и восточная — пойму и первую террасу. Здесь распространены породы осадочно-метаморфической формации карбона (метапесчаники, сланцы) и гранодиориты интрузивной юрской формации.

Лессовые отложения (связные пески) залегают в виде маломощных делювиально-эоловых покровов на поверхности древнего конуса выноса и надпойменной террасы, а также представляют верхнюю часть разреза в центральной части межгорной впадины, где проводилось опорное бурение. На территории города пройдены три скважины (П1, П2, П4). Данные по минералогии терригенных компонентов получены для 18 образцов.

Для скв. П1 (глубина 29 м) установлен следующий разрез: верхний слой ($d-vQ_{3-4}$) — опесчаненные лессовидные отложения (ps^* — до 3 м), средний (dpQ) — красновато-коричневые суглинки с дресвой и щебнем (интервал 3—7 м); особую озерно-аллювиальную фацию в составе неоген-нижнечетвертичного комплекса представляют «кирпичные» глины (интервал 7—22 м), которые в низах разреза (интервал 22—29 м)

сменяются толщей крупнообломочных отложений с суглинистым заполнителем, возможно, неогенового возраста (dpN).

Характерная особенность территории Дзунмода — присутствие линзовидной высокотемпературной ($-0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$) многолетней мерзлоты в глинах и следы ее деградации (в пределах города расположено термокарстовое озеро).

Рассмотрим минералогические данные по разрезу скв. П1 (табл. 3).

Самая верхняя зона — это опесчаненные лессовидные отложения (связные пески) делювиально-эолового комплекса ($d-vQ_{3-4}$ — ps^*), обогащенные амфиболами-пришельцами, пироксены отсутствуют, рудных минералов немного (9,4%), эпидот замечен (27,5%), циркона очень мало, поэтому коэффициент устойчивости $< 0,10$; кварц и полевые шпаты близки по содержанию. Делювиально-эоловый комплекс отличается слабой химической зрелостью и является аналогом лессовых покровов Прибайкалья и северной зоны Западной Монголии; появление эпидота, возможно, связано с «коренной основой» (это гранодиориты интрузивной формации); господство амфиболов — признак участия эоловых процессов при формировании лессовидных покровов. Наблюдается «загадочная» закономерность (табл. 3) — при переходе от делювиально-эолового покрова к красноватым суглинкам с дресвой и щебнем снижается масса тяжелых компонентов (соответственно 0,1280 и 0,0180 г). Почему в эоловом комплексе возрастает масса тяжелой фракции?

В красноватых делювиально-пролювиальных суглинках с дресвой и щебнем (dpQ — cr^*) содержание амфиболов резко сокращается, отмечается эпидотовая минеральная ассоциация, в результате КУ повышается; в легкой фракции кварц иногда меняется по содержанию с полевыми шпатами.

В «кирпичных» глинах отмечаются следующие особенности: обогащение слабоустойчивыми полевыми шпатами (Kz 0,45—0,48); господство в тяжелой фракции эпидота, который иногда вытесняется лейкоксеном (в образце с 18 м его содержание достигает 39%); резко возрастает количество циркона, амфиболов и пироксенов нет, поэтому коэффициент устойчивости достигает 9,8—10,4. Таким образом, в глинистых озерно-аллювиальных отложениях хорошо сохраняются полевые шпаты, но за счет отсутствия слабоустойчивых амфиболов и повышенного содержания циркона (в этом «виноваты», вероятнее всего, источники сноса — породы геологических формаций) коэффициент устойчивости аномально высок.

Таблица 3. Основные минералы легкой и тяжелой фракций, коэффициенты зрелости (Kz) и устойчивости (КУ) (Дзунмод, скв. П1 — выборочные данные)

Table 3. Main minerals of light and heavy fractions, coefficients of maturity (Kz) and stability (KU) (the Dzunmod, reference well P1 — selected data)

Образец — глубина, м / Sample — depth, m	ГГК / GGC	ЛГ / LG	Содержание минералов, % / Mineral content, %							Масса тяже- лой фракции, г / Weight of heavy fraction, g
			Легкая фракция / Light fraction			Тяжелая фракция / Heavy fraction				
			кв / qtz	пш / flds	Kz	ам / am	эп / ep	ц / z	KY / KU	
П1 — 1,0	d-vQ ₃₋₄	ps*	49,8	50,2	1,00	53,2	27,5	3,2	0,06	0,1280
П1 — 3,0	dpQ	cr*	35,6	63,8	0,56	10,7	55,4	7,0	0,65	0,0180
П1 — 6,0	dpQ	cr*	75,6	24,4	3,10	2,8	61,3	2,6	0,93	0,0990
П1 — 9,0	l-aN-Q ₁	gln	30,6	68,7	0,45	1,7	41,2	17,8	10,4	0,0133
П1 — 18,0	l-aN-Q ₁	gln	36,2	63,8	0,57	2,1	13,4	19,7	9,8	0,0510
П1 — 24,0	dpN	cr**	62,1	37,9	1,64	нет / missing	33,8	16,6	-	0,0031
П1 — 29,0	dpN	cr**	68,1	31,9	2,13	нет / missing	66,1	7,6	-	0,0274

Примечание. Здесь и в табл. 4: ГГК — геолого-генетический комплекс, ЛГ — литологическая группа: ps* — связные пески, cr* — красноватые суглинки с дресвой и щебнем, gln — «кирпичные» глины, cr** — супесчано-суглинистый (облессованный) заполнитель в крупнообломочных отложениях; кв — кварц, пш — полевые шпаты, ам — амфиболы (роговая обманка + актинолит), эп — эпидот, ц — циркон; - показатель не определялся.

Note. Here and in table 4: GGC is geological-genetic complexe, LG is lithological group: ps* is cohesive sands, cr* is reddish clayey soils with debris and rubble, gln is «brick clays», cr** is sandy-loam filler in coarse clastic sediments; qtz is quartz, flds is feldspars, am is amphiboles (hornblende + actinolite), ep is epidote, z is zircon; «-» means that the indicator was not determined.

Видимо, водная среда и жаркий климат при формировании глин способствовали сохранению полевых шпатов; циркон и эпидот поступали из метапесчаников карбона (?); амфиболы отсутствовали, значит, не принимал участия и эоловый фактор.

В низах разреза (24—29 м) в составе суглинистого заполнителя крупнообломочных толщ изменяются минеральные ассоциации: в легкой фракции на первое место выходит кварц, в тяжелой преобладают циркон или эпидот. Причина этих изменений заключается в смене геолого-генетического комплекса, возможно, на более древний по возрасту (неогеновый период?). Полевые шпаты успели частично разрушиться в процессе переноса и аккумуляции вещества, амфиболов нет, их заменили циркон или эпидот (из сланцев метаморфической формации и гранодиоритов?).

В разрезе скв. П2 отмечены те же закономерные изменения минералогии терригенных компонентов, в том числе повышение массы тяжелой фракции в делювиально-эоловом комплексе (табл. 4).

В озерно-аллювиальных «кирпичных» глинах зафиксировано резкое уменьшение массы тяжелой фракции в некоторых образцах. Например, в образце П2 — 17 м она составляет 0,0030 г, П2 — 21 м — 0,1300 г. Причина этих колебаний, по всей вероятности, заключается в содержании

лимонита и лейкоксена — в первом случае они отсутствуют, во втором в сумме составляют 20,8%.

В качестве заключения по изложенным материалам можно предложить особую «монгольскую модель», когда при формировании отложений происходила смена типов литогенеза: жаркий аридный климат в период образования «кирпичных» глин (N-Q₁) сменился на холодный аридный (Q₂₋₃).

Западная зона

Улясутай расположен в отрогах Хангайского нагорья на междуречье Чигэстэй-Богдын-гол. Северная и южная части города находятся в пределах древних конусов выноса, центральная представляет собой высокую пойму и первую надпойменную террасу высотой 4—5 м. В районе распространены породы среднепермской интрузивной формации — крупно- и среднезернистые розоватые граниты.

На поверхности древнего конуса наблюдается дюнный микрорельеф, формирование которого связано с эоловыми песчаными покровами, представленными в верхней части разреза (до 4—5 м) связными песками (vQ₃₋₄ — ps*). Аналогичные опесчаненные лессовидные отложения, обладающие агрегированностью и особыми свойствами (пониженный коэффициент фильтрации,

Таблица 4. Основные минералы легкой и тяжелой фракций, коэффициенты зрелости (Kz) и устойчивости (КУ) (Дзунмод, скв. П2)**Table 4.** The main minerals of light and heavy fractions, coefficients of maturity (Kz) and stability (KU) (the Dzunmod, reference well P2)

Образец — глубина, м / Sample — depth, m	ГГК / GGC	ЛГ / LG	Содержание минералов, % / Mineral content, %							Масса тяжелой фракции, г / Weight of heavy fraction, g
			Легкая фракция / Light fraction			Тяжелая фракция / Heavy fraction				
			кв / qtz	пш / flds	Kz	ам / am	эп / ep	ц / z	КУ / KU	
П2 — 1,0	d-vQ ₃₋₄	ps*	49,4	50,0	1,0	41,4	37,2	2,2	0,05	0,1020
П2 — 3,5	dpQ	cr*	48,2	51,8	0,9	нет / missing	38,2	12,8	-	0,0450
П2 — 7,0	dpQ	cr*	56,2	43,8	1,28	4,5	64,1	4,00	0,89	0,0870
П2 — 15,0	dpQ	cr*	23,8	74,7	0,31	4,5	60,1	14,0	3,1	0,0380
П2 — 17,0	l-aN-Q ₁	gln	35,7	64,3	0,56	0,3	25,2	15,2	50,4	0,0030
2 — 21,0	l-aN-Q ₁	gln	44,0	56,0	0,79	нет / missing	26,0	нет / missing	-	0,1300

Таблица 5. Основные минералы легкой и тяжелой фракций, коэффициенты зрелости (Kz) и устойчивости (КУ) (Улясуйтай)**Table 5.** The main minerals of light and heavy fractions, coefficients of maturity (Kz) and stability (KU) (the Uliassutai)

Образец — глубина, м / Sample — depth, m	ГГК / GGC	ЛГ / LG	Содержание минералов, % / Mineral content, %								Масса тяже- лой фракции. г / Weight of heavy fraction, g
			Легкая фракция / Light fraction			Тяжелая фракция / Heavy fraction					
			кв / qtz	пш / flds	Kz	руд / ore	эп / ep	ам / am	ц / z	KY / KU	
20 — 1,5	aQ ₃₋₄	ps*	45,7	47,7	0,96	80,5	5,2	2,5	3,6	1,74	0,0508
24 — 5,0	vQ ₃₋₄	ps*	47,8	49,4	0,97	72,2	4,5	8,0	4,5	0,60	0,8700
16 — 1,5	dpQ	ps**	51,7	46,3	1,12	66,0	10,2	9,5	2,2	0,25	0,0285
20 — 2,7	dpQ	ps**	43,0	51,0	0,84	51,5	15,7	9,4	6,3	0,67	0,0167
20 — 6,0	dpQ	ps**	53,2	43,9	1,22	57,4	11,0	14,0	4,1	0,29	0,0510
20 — 8,0	dpQ	ps**	52,3	45,5	1,15	59,4	11,5	12,1	2,0	0,17	0,0643

Примечание. ГГК — геолого-генетический комплекс, ЛГ — литологическая группа: ps* — связный песок, ps** — связный песок в качестве заполнителя крупнообломочных отложений; минералы: кв — кварц, пш — полевые шпаты, руд — рудные минералы (магнетит + ильменит), эп — эпидот, ам (роговая обманка + актинолит) + п (пироксен — авгит + гиперстен), ц — циркон.

Note. GGC is geological-genetic complexe, LG is lithological group: ps* is cohesive sand; ps** is cohesive sand as a filler of coarse clastic sediments; minerals: qtz is quartz, flds is feldspars, ore is ore minerals (magnetite + ilmenite), ep is epidote, am is amphiboles (hornblende + actinolite) + p (pyroxene-augite + hypersthene), z is zircon.

уменьшение угла естественного откоса под водой, слабое проявление пластичности), отмечаются в составе аллювиального комплекса (aQ₃₋₄ — ps*).

Нерасчлененные четвертичные делювиально-пролювиальные отложения в составе древнего конуса выноса — это крупнообломочные образования с песчаным заполнителем, который также относится к группе связных песков (так называемый облессованный супесчано-песчаный материал — dpQ — cr**).

Для проведения иммерсионного анализа из естественных обнажений с глубины 1,5—8,0 м было отобрано шесть образцов связных пес-

ков, представляющих аллювиальный и золовый комплексы, а также заполнитель крупнообломочных делювиально-пролювиальных толщ (табл. 5).

В аллювии (ps*) кварц и полевые шпаты присутствуют в равных количествах (Kz 0,96); среди тяжелых минералов главенствуют рудные (магнетит + ильменит), в качестве второстепенных компонентов отмечены эпидот, циркон, сфен, гранат и амфиболы (2,3—5,2%). Коэффициент устойчивости, рассчитанный по тяжелой фракции, реальной картины о степени химической зрелости отложений не отражает, в то же время соотношения кварца и полевых шпатов подтверждают слабую

степень химических преобразований в условиях современной климатической зональности.

Эоловый комплекс (ps^*) почти не отличается от аллювиального, но среди тяжелых компонентов появляются (принесенные ветром?) амфиболы, поэтому коэффициент устойчивости отражает реальную ситуацию, которая свидетельствует о пониженной степени химической зрелости. Однако следует снова отметить одну особенность — в эоловых отложениях в 17 раз больше масса тяжелых минералов по сравнению с аллювием. Почему?

В песчаном заполнителе (это те же связные пески) древних (четвертичных нерасчлененных) делювиально-пролювиальных крупнообломочных отложений (dpQ — ps^{**}) изменяются минеральные ассоциации: среди легких компонентов несколько больше кварца (Kz 1,12—1,22), в тяжелой фракции сокращается содержание рудных минералов, больше эпидота, заметно присутствие амфиболов (особенно на глубине 6—8 м). Если в эоловом комплексе появление амфиболов можно объяснить участием эолового фактора, то их присутствие в заполнителе древних делювиально-пролювиальных отложений, вероятнее всего, связано с гранитами среднепермской интрузивной формации, но возможен и эоловый фактор (?). Присутствие амфиболов при незначительном содержании циркона определяет слабую степень химической зрелости заполнителя (KU 0,17—0,29).

Масса тяжелых компонентов в заполнителе делювиально-пролювиального комплекса относительно постоянна (0,0167—0,0643 г) и аналогична аллювию, следовательно, много меньше, чем в эоловых накоплениях.

Как указывалось выше, данные по минералогии были получены по образцам из естественных обнажений до глубины 8 м. Но по фондовым материалам прежних изысканий известно, что в пределах города (район автобазы) проводилось бурение, в результате которого на глубине 24 м были вскрыты «кирпичные» глины озерно-аллювиальной фации, аналогичные распространенным в центральной зоне (Дзунмод). Значит, эти глины являются характерными древними (неоген-нижнечетвертичными) фациями, распространенными в центральной и западной зонах, при этом, вероятнее всего, они заполняют микрограбены, существующие на различных участках монгольской территории. Например, в районе города Эрдэнэ (северная зона) аналогичный микрограбен, заполненный озерно-аллювиальными красноватыми глинами мощностью до 4—6 м, был вскрыт скважинами на глубине 8 м в толще

крупнообломочных отложений нерасчлененного делювиально-пролювиального комплекса [12].

Выводы по западной зоне заключаются в следующем. Во-первых, широко развиты связные пески, представляющие аллювиальный и эоловый комплексы, но амфиболы отмечены только в эоловых покровах, где резко увеличивается масса тяжелых компонентов; во-вторых, распространены толщи крупнообломочных отложений с облессованным супесчано-песчаным заполнителем (это те же связные пески) с амфиболами (эоловый фактор?); в-третьих, фондовые материалы по бурению подтверждают наличие в разрезе (на глубине 24 м) «кирпичных» глин озерно-аллювиального неоген-нижнечетвертичного возраста, аналогичных обнаруженным в центральной зоне (Дзунмод).

Южная зона

Даланзадгад расположен в пределах межгорной котловины в северной части Южно-Гобийской полупустынной равнины, которая представляет собой типичную аридную область, где нет постоянной гидросети, количество осадков составляет всего 125 мм/год.

В геоморфологическом отношении это пологоволнистая денудационно-аккумулятивная равнина с различной глубиной залегания скального «фундамента» (10—115 м).

Широко развита система оврагов-сайров глубиной до 2 м, шириной 2—10 м, с вертикальными стенками, сложенными сцементированным обломочным материалом с линзами и карманами связных песков. Образование этих форм происходит в период редких сильных дождей и связано с эрозионно-суффозионно-обвальными процессами.

На территории распространены породы эффузивной (андезиты) и метаморфической средне-верхнедевонской формации (аргиллиты, кремнистые сланцы бордового и серого цвета).

Четвертичные отложения представлены связными песками делювиально-пролювиального комплекса (dpQ_{3-4} — ps^*) и крупнообломочными более древними (нерасчлененными) делювиально-пролювиальными образованиями с заполнителем в виде того же связного песка (dpQ — ps^{**}).

Мощность молодых делювиально-пролювиальных покровов 1,0—4,0 м; иногда они встречаются в виде карманов и клиньев среди крупнообломочных отложений. Таким образом, и в южной зоне распространены связные пески, представляющие собой опесчаненные лессовидные образования с высоким содержанием карбонатов (до

12%), которые при влажности 13—19% и природной плотности 1,65—1,80 г/см³ проявляют просадочность при вертикальной нагрузке 0,3 МПа (коэффициент относительной просадочности составляет 0,010—0,080).

Кроме того, опорными скважинами были обнаружены озерные «кирпичные» глины мел-палеогенового возраста (IK₂-Pg — gln), вскрытая мощность 14 м. Напомним, что в центральной и западной зонах также описаны «кирпичные» глины озерно-аллювиальных фаций, но более молодого возраста (N-Q₁ — gln).

На территории города пробурены три скважины — Д1 (глубина 28 м), Д2 (25 м), Д3 (22 м). Определения минерального состава терригенных компонентов лессовых (связные пески) и глинистых («кирпичные» глины) отложений выполнены для 23 образцов. Кроме того, изучена минералогия связных песков, заполняющих клинья и карманы в крупнообломочных толщах (четыре образца). Таким образом, для южной зоны получен максимальный набор данных по минеральному составу терригенных компонентов — 27 образцов.

Приводится разрез и, соответственно, минеральный состав терригенных компонентов отложений по скв. Д1 (табл. 6).

Верхняя зона (0—4 м) — опесчаненный лесовидный покров делювиально-пролювиально-

го молодого комплекса, представленный связными песками (dpQ₃₋₄ — ps*). В легкой фракции отмечается явное преобладание кварца; тяжелая фракция имеет цирконо-рудную минеральную ассоциацию, эпидот отсутствует, также практически нет амфиболов; акцессорные минералы — сфен (2,5%), гранат (4,6); к числу особых признаков относится очень небольшая масса тяжелых компонентов (0,0060 г). Отложения отличаются повышенными значениями коэффициентов зрелости (2,61) и устойчивости (13,6), что свидетельствует о высокой степени их химической зрелости. По всей вероятности, состав терригенных компонентов обеспечивается «коренной основой» (рудные и циркон из эффузивов, гранаты — из пород метаморфической формации), минералы-пришельцы (амфиболы) отсутствуют.

Далее (интервал 4—16 м) вскрывается толща крупнообломочных отложений (заполнитель — связный песок) древнего конуса выноса (dpQ — ps**). При смене ГГК решительно изменяется и минералогия: масса «шлиха» (тяжелой фракции) возрастает в 20 раз (0,0060—0,1250 г), в качестве ведущего компонента появляется эпидот (минерал в гранитах, диоритах, габброидах), кварц по содержанию сравнялся с полевыми шпатами (Kz 0,91—1,10); на глубине 14,5 м (на границе с «кирпичными» озерными глинами)

Таблица 6. Основные минералы легкой и тяжелой фракций, коэффициенты зрелости (Kz) и устойчивости (KU) (Даланзадгад, скв. Д1)

Table 6. The main minerals of light and heavy fractions, coefficients of maturity (Kz) and stability (KU) (the Dalanzadgad, reference well D1)

Образец — глубина, м / Sample — depth, m	ГГК / GGC	ЛГ / LG	Содержание минералов, % / Mineral content, %								Масса тяжелой фракции, г / Weight of heavy fraction, g
			Легкая фракция / Light fraction			Тяжелая фракция / Heavy fraction					
			кв / qtz	пш / flds	Kz	руд / ore	эп / ep	ам / am	ц / z	КУ / KU	
Д1 — 2,0	dpQ ₃₋₄	ps*	71,7	23,9	2,61	73,7	нет	0,5	9,5	13,6	0,0060
Д1 — 12,0	dpQ	ps**	46,9	47,8	0,91	21,9	55,2	2,5	4,6	1,6	0,1250
Д1 — 14,5	dpQ	ps**	51,5	40,7	1,10	23,4	30,1	19,2	7,5	0,4	0,0120
Д1 — 17,0	IK ₂ -Pg	gln	83,4	14,9	5,61	50,7	2,0	нет	20,0	6,9	0,0010
Д1 — 19,0	IK ₂ -Pg	gln	53,8	40,6	1,80	28,6	32,4	1,7	10,4	4,5	0,0142
Д1 — 26,0	IK ₂ -Pg	gln	50,7	39,3	1,10	33,4	41,5	1,2	8,5	8,5	0,0878
Д1 — 28,0	IK ₂ -Pg	gln	81,3	16,9	4,50	69,9	4,6	0,2	15,3	79,0	0,0022

Примечание. ГГК — геолого-генетический комплекс; ЛГ — литологическая группа; ps* — связный песок, ps** — связный песок в качестве заполнителя крупнообломочных отложений, gln — «кирпичные глины»; минералы: кв — кварц, пш — полевые шпаты, руд — рудные минералы (магнетит + ильменит), эп — эпидот, ам — амфиболы (роговая обманка + актинолит), ц — циркон.

Note. GGC is geological-genetic complexes, LG is lithological group: ps* is cohesive sand; ps** is cohesive sand as a filler of coarse clastic sediments; gln is «brick clays»; minerals: qtz is quartz, flds is feldspars, ore is ore minerals (magnetite + ilmenite), ep is epidote, am is amphiboles (hornblende + actinolite), z is zircon.

вдруг появляются амфиболы (19,2%). Возможно, при накоплении делювиально-пролювиальной четвертичной (нерасчлененной по возрасту) крупнообломочной толщи некоторое участие принимали эоловые процессы (появились минералы-пришельцы?).

Ниже (Д1 — 17,0 м) снова происходит смена комплекса — залегает толща «кирпичных» озерных глин мел-палеогенового возраста (IK₂-Pg — gln), в результате изменяется минеральный состав терригенных компонентов: резко увеличивается содержание кварца (Kz 5,61), в тяжелой фракции «пропадают» эпидот и амфиболы, фиксируется цирконо-рудная минеральная ассоциация и, соответственно, высокий коэффициент устойчивости; резко снижается масса «шлиха». Однако далее по разрезу (обр. Д1 — 19 м, Д1 — 26 м) среди тяжелых компонентов опять господствуют эпидот (32—51%) и рудные минералы (28,6—33,1%), сохраняется высокий коэффициент устойчивости. В образце Д1 — 28 м сохраняется цирконо-рудная ассоциация в тяжелой фракции (очень высок коэффициент устойчивости — 79, возрастает коэффициент зрелости — 4,5), эпидот исчезает, но появляются аутигенные лимонит (7,0) и лейкоксен (2,1%), встречен барит (0,5%).

Кроме того, в образце отмечается резкое (в 40 раз) снижение массы тяжелых компонентов — соответственно 0,0022 (28 м) и 0,0878 г (26 м). Почему? Можно рассмотреть вариант о влиянии эпидота на изменение массы «шлиха». Эпидот имеет плотность 3,25—3,38 г/см³, основные компоненты химического состава включают оксиды кальция

(23,5%), алюминия (24,1%), железа (12,6%) [20], но при возрастании содержания железа до 17% происходит увеличение плотности минерала, поэтому при его повышенном содержании увеличивается масса тяжелой фракции. Возможно, «наш» эпидот имеет повышенную плотность по причине высокого содержания железа, поэтому происходят резкие изменения массы «шлиха». Например, в образце Д1 — 26 м масса тяжелой фракции 0,0878 г, Д1 — 28 м — 0,0022 г; в первом случае содержание эпидота 41,5%, во втором — 4,6%. Аналогичная ситуация наблюдается по скв. Д2: образец с глубины 11 м имеет массу «шлиха» 0,1190 г, 16 м — 0,0070 г; в первом случае содержание эпидота 56,4%, во втором — 9,6%.

По скв. Д2 вскрыт аналогичный разрез. При анализе минералогических данных установлено, что в заполнителе крупнообломочных отложений конуса выноса (интервал 5—9 м) фиксируются амфиболы, значит, подтверждается наше предположение об участии эолового фактора при накоплении этой толщи. Кроме того, для «кирпичных» глин (интервал 15—25 м) выявлены критерии их озерного генезиса — высокое содержание барита (до 91%) и лимонита (до 30%).

Связные пески в «клиньях и карманах». Данные о минеральном составе этих песков (d-vQ₃₋₄ — ps^{***}) представлены в таблице 7. В легкой фракции преобладает кварц (Kz 1,5—2,7); среди тяжелых минералов фиксируется рудная ассоциация, но в заметном количестве присутствуют амфиболы и эпидот, циркона очень мало, в результате коэффициент устойчивости снижается до 0,10—0,17.

Таблица 7. Основные минералы легкой и тяжелой фракций, коэффициенты зрелости (Kz) и устойчивости (КУ) связных песков из клиньев и карманов в крупнообломочных отложениях

Table 7. The main minerals of light and heavy fractions, coefficients of maturity (Kz) and stability (KU) of cohesive sands from wedges and pockets in coarse clastic sediments

Образец — глубина, м / Sample — depth, m	ГГК / GGC	ЛГ / LG	Содержание минералов, % / Mineral content, %							
			Легкая фракция / Light fraction			Тяжелая фракция / Heavy fraction				
			кв / qtz	пш / flds	Kz	руд / ore	эп / ep	ам / am	ц / z	КУ / KU
116 — 0,7	d-vQ ₃₋₄	ps ^{***}	59,6	39,2	1,5	41,2	25,0	18,3	3,1	0,17
125 — 2,0	d-vQ ₃₋₄	ps ^{***}	48,7	23,4	2,1	56,0	19,5	14,1	1,4	0,10
126 — 1,0	d-vQ ₃₋₄	ps ^{***}	55,5	19,6	2,7	50,0	19,6	19,7	10,9	0,12
115 — 1,0	d-vQ ₃₋₄	ps ^{***}	64,8	32,7	2,0	60,6	10,2	8,2	3,7	0,46

Примечание. ГГК — геолого-генетический комплекс; ЛГ — литологическая группа: ps^{***} — связный песок из клиньев и карманов в крупнообломочных отложениях нерасчлененного четвертичного делювиально-пролювиального комплекса (dpQ); минералы: кв — кварц, пш — полевые шпаты, руд — рудные минералы (магнетит + ильменит), эп — эпидот, ам — амфиболы (роговая обманка + актинолит), ц — циркон.

Note. GGC is geological-genetic complexes, LG is lithological group: ps* is cohesive sand; ps** is cohesive sand from wedges and pockets in coarse clastic sediments of undivided Quaternary deluvial-proluvial complex (dpQ); minerals: qtz is quartz, flds is feldspars, ore is ore minerals (magnetite + ilmenite), ep is epidote, am is amphiboles (hornblende + actinolite), z is zircon.

Таким образом, форма залегания связанных песков и появление в тяжелой фракции «знаменитых» амфиболов-пришельцев позволяют предположить при их накоплении действие эоловых процессов в условиях перигляциального режима плейстоцена-голоцена. По величине коэффициентов зрелости и устойчивости оценить степень химических преобразований «заполнителя клиньев и карманов» можно как достаточно слабую.

По материалам южной территориальной зоны можно сделать следующие выводы:

а) формирование своеобразной «молассы» в виде континентальной делювиально-пролювиальной древней четвертичной толщи с опесчаненным лессовидным заполнителем, вероятнее всего, происходило при участии эоловых процессов, свидетелем которых являются амфиболы; б) присутствие амфиболов обнаружено также в молодых связанных песках клиньев и карманов в «молассах», что подтверждает продолжение развития эоловых процессов в верхнем плейстоцене-голоцене в условиях перигляциального режима (этап эоловой седиментации относится к периоду Q_{2-3} — Q_{3-4}); в) установлены особые минералогические критерии для озерных «кирпичных» глин (IK_2 -Pg — gln), формирование которых происходило в условиях жаркого аридного климата (амфиболов здесь нет).

Результаты эксперимента по материалам Западной Монголии

Составляется матрица по результатам таблиц (№ 1—7) о содержании минералов легкой и тяжелой фракций в образцах различных геолого-генетических комплексов отложений; строится график-дендрограмма в Excel, которая представляет группирование объектов (образцов) по степени сходства между ними относительно анализируемых признаков. По горизонтали указывается «евклидово расстояние» (r) — мера сходства между объектами (от 0 до 1), вертикальная ось — номера образцов (по мере увеличения «евклидова расстояния» степень близости объектов уменьшается). К признакам-показателям относятся Kz (коэффициент зрелости), ам (содержание амфиболов), руд (рудных минералов — магнетит + ильменит), ц (циркона), эп (эпидота), КУ (коэффициент устойчивости) ($m = 6$); объекты включали 41 образец ($n = 41$). Программа классифицирует (группирует) образцы по степени близости выбранных показателей.

Первая группа включает 7 образцов северной и центральной зоны; отмечается высокий

уровень сходства между объектами ($r = 0,1$ — $0,2$) по причине постоянного присутствия амфиболов, которые можно считать минералами-пришельцами, свидетельствующими об участии эолового фактора.

Вторая группа объединяет 13 образцов различных комплексов центральной и южной зоны, имеет незначительную степень близости с первой группой ($r = 0,4$), поскольку в некоторых образцах амфиболов нет, но появляются характерные минералы в озерных глинах и увеличивается степень химической зрелости отложений.

Третья группа включает 18 образцов. По причине разнообразия геолого-генетических комплексов лессовых и глинистых отложений (соответственно, и минерального состава терригенных компонентов) эта группа имеет меньшее сходство с первой и второй (евклидово расстояние увеличивается до 0,45); именно сюда попали связанные пески с амфиболами из «клиньев и карманов» в качестве «эксклюзивного» объекта южной зоны. Три образца на графике занимают самостоятельное положение.

Заключение

1. Лессовые и глинистые отложения в западной Монголии представлены особыми литологическими группами — первые являются связными песками различных геолого-генетических комплексов или заполнителем в крупнообломочных толщах древних конусов выноса, вторые — «кирпичными» глинами озерно-аллювиального ($N-Q_1$) и озерного (K_2 -Pg) комплексов. Выводы по материалам северной, центральной, западной и южной зон подтверждают зависимость минерального состава исследованных отложений от их принадлежности к выделенным геолого-генетическим комплексам.

2. Представленные материалы позволяют предложить особую «монгольскую модель»: смена жаркого аридного климата, при котором формировались озерно-аллювиальные и озерные «кирпичные» глины, на холодный аридный (Q_{2-3}) привела к образованию в глинистой толще многолетней мерзлоты, которая затем деградировала. В дальнейшем в условиях холодного аридного климата (Q_{3-4}) наступило время формирования лессовых покровов при периодическом участии эоловых процессов.

3. Появление амфиболов, которые рассматриваются в качестве минералов-пришельцев в составе тяжелой фракции связанных песков, указывает на участие эоловых процессов при формировании делювиальных, собственно эоловых

и «молассовых» образований, признаком такого участия можно считать резкое увеличение массы тяжелых компонентов. Среди тяжелых минералов «кирпичных» глин озерно-аллювиального и озерного комплексов, залегающих на глубине 15—24 м, амфиболов практически нет.

4. Наиболее представительные материалы получены для центральной и южной зоны, где минеральный состав терригенных компонентов определялся по образцам опорных скважин, в которых четко наблюдались изменения минерального состава отложений при смене геолого-генетического комплекса. В южной зоне установлены особые признаки озерных «кирпичных» глин, формирование которых происходило в условиях жаркого аридного климата, о чем свидетельствует

присутствие в тяжелой фракции барита, лейкоксена и лимонита.

5. Иммерсионный метод до сих пор не утратил своего значения при изучении осадочных пород, поэтому особый интерес с научной и практической точки зрения представляет впервые полученная информация по новому объекту — территории Западной Монголии. По этой причине можно рекомендовать использование предложенной методической схемы при проведении геологических и инженерно-геологических работ, а также признать необходимость продолжения исследований в указанном направлении (можно вспомнить классическую монографию В.П. Батурина «Петрографический анализ геологического прошлого по терригенным компонентам»).

ЛИТЕРАТУРА

1. Батурин В.П. Петрографический анализ геологического прошлого по терригенным компонентам. М.—Л. 1947. 339 с.
2. Белоусова О.Н., Михина В.В. Общий курс петрографии. М.: Недра, 1972. 344 с.
3. Болотова Н.Я. К стратиграфии кайнозойских отложений Северо-Восточной Монголии // Материалы по геологии Монгольской Народной Республики. М.: Недра, 1966. С. 79—85.
4. Булах А.Г. Минералогия с основами кристаллографии. М.: Недра, 1989. 351 с.
5. Васильев В.И., Шешеня Н.Л., Чеховский А.Л. Формирование инженерно-геологических условий Центральной Монголии. М.: Наука, 1987. 142 с.
6. Данилов Б.С. Кластерный анализ в EXCEL // Строение литосферы и геодинамика. Иркутск, 2001. С. 18—19.
7. Инженерная геология СССР. Т. 3. Восточная Сибирь / Под ред. Г.А. Голодковской. М.: Изд-во МГУ, 1977. 659 с.
8. Рященко Т.Г., Акулова В.В., Ухова Н.Н. и др. Лессовые грунты Монголо-Сибирского региона. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2014. 241 с.
9. Логвиненко Н.В. Петрография осадочных пород (с основами методики исследований). М.: Высшая школа, 1974. 400 с.
10. Милаш А.В. Акцессорные минералы эйфельских, жигулевских и нижефранских отложений юго-востока Воронежской антеклизы // Вестник Воронежского ун-та. Серия Геология. 2017. С. 31—42.
11. Окнова Н.С. Литолого-палеогеографические и геодинамические реконструкции при поисках неантиклинальных ловушек углеводородов (на примере Тимано-Печорской провинции). СПб.: Изд-во СПбГУ, 1998. 108 с.
12. Джурик В.И., Серебренников С.П., Рященко Т.Г. и др. Районирование сейсмической опасности территории города Эрдэнэца. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2011. 122 с.
13. Рященко Т.Г. Вещественный состав и свойства пород // Богучанское водохранилище. Подземные воды и инженерная геология. Новосибирск: Наука, 1979. С. 61—83.
14. Рященко Т.Г. Группирование геологических объектов методом кластер-анализа (на примере минералогических данных четвертичных пород Среднего Приангарья) // Методические аспекты прогнозирования природных явлений Сибири. Новосибирск: Наука, 1980. С. 92—102.
15. Рященко Т.Г. Литогенез и инженерно-геологическая оценка четвертичных отложений (Восточная Сибирь). Новосибирск: Наука. 1984. 164 с.
16. Джурик В.И., Потапов В.А., Кочетков В.М. и др. Сейсмическое микрорайонирование аймачных центров Монголии. Улан-Батор: Издательский центр по астрономии и геофизике, 1998. 248 с.
17. Татарский В.Б. Кристаллооптика и иммерсионный метод исследования минералов. М.: Недра, 1965. 306 с.
18. Шлыков В.Г., Харитонов В.Д. К методике количественного рентгеновского анализа минерального состава грунтов // Геоэкология. 2001. № 2. С. 129—140.
19. Шлыков В.Г., Трапезников П.В. Утерянный классификационный признак лессовых грунтов // Геоэкология. 2002. № 2. С. 156—162.
20. Юбельт Р. Определитель минералов (пер. с нем.). М.: Изд-во «Мир», 1978. 325 с.
21. Complex geophysical and seismological investigations in Mongolia / Eds. V.I. Dzhurik, T. Dugarmaa. Ulaanbaatar-Irkutsk, 2004. 315 p.
22. Hubbard C.R., Snuder R.I. RIR — Measurement and Use in Quantitative XRD // Powder Diffraction. 1988. V. 3. P. 74—77.
23. Ryashchenko T.G., Akulova V.V., Ukhova N.N. Processes of loess lithogenesis during Pleistocene — Holocene // Quaternary International. 2011. № 240. P. 150—155.

24. *Zimbardo M., et al.* The open metastable structure of a collapsible sand: fabric and bonding // *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 2016. V. 75. № 1. P. 125—139.

REFERENCES

1. Baturin V.P. Petrographic analysis of the geological past on terrigenous components. Moscow—Leningrad. 1947. 339 p. (In Russian).
2. Belousova O.N., Mikhina V.V. General course of petrography. Moscow: Nedra. 1972. 344 p. (In Russian).
3. Bolotova N.Ya. On the stratigraphy of the Cenozoic deposits of Northeastern Mongolia // *Materials on the geology of the Mongolian People's Republic*. Moscow: Nedra. 1966. P. 79—85 (In Russian).
4. Bulakh A.G. Mineralogy with the basics of crystallography. Moscow: Nedra. 1989. 351 p. (In Russian).
5. Vasiliev V.I., Sheshenya N.L., Chekhovskiy A.L. Formation of engineering-geological conditions of the Central Mongolia. Moscow: Nauka. 1987. 142 p. (In Russian).
6. Danilov B.S. Cluster analysis in EXCEL // *Structure of the lithosphere and geodynamics*. Irkutsk, 2001. P. 18—19 (In Russian).
7. *Engineering geology of the USSR. T. 3. The Eastern Siberia* / Ed. by Golodkovskaya G.A. Moscow: Publishing House of Moscow State University. 1977. 659 p. (In Russian).
8. Ryashchenko T.G., Akulova V.V., Ukhova N.N., et al. Loess soils of the Mongolian-Siberian region. Irkutsk: Institute of the Earth's Crust, SB RAS. 2014. 241 p. (In Russian).
9. Logvinenko N.V. Petrography of the sedimentary rocks (with the basics of research methods). Moscow: Higher school. 1974. 400 p. (In Russian).
10. Milash A.V. Accessory minerals of the Eifelian, Givetian and the Lower Frasnian deposits of the southeast of the Voronezh anticline // *Bulletin of the Voronezh University. Series Geology*. 2017. P. 31—42 (In Russian).
11. Oknova N.S. Lithological-paleogeographic and geodynamic reconstructions in the search for non-anticlinal hydrocarbon traps (on the example of the Timan-Pechora province). St. Petersburg: Publishing House of St. Petersburg State University. 1998. 108 p. (In Russian).
12. Dzhurik V.I., Serebrennikov S.P., Ryashchenko T.G., et al. Zoning of the seismic hazard of the territory of the city of Erdenet. Irkutsk: Institute of the Earth's Crust, SB RAS. 2011. 122 p. (In Russian).
13. Ryashchenko T.G. Material composition and properties of rocks // *The Boguchanskiy reservoir. Groundwater and engineering geology*. Novosibirsk: Nauka. 1979. P. 61—83 (In Russian).
14. Ryashchenko T.G. Grouping of geological objects by cluster analysis (on the example of mineralogical data of the Quaternary rocks of the Middle Angara region) // *Methodological aspects of forecasting natural phenomena in Siberia*. Novosibirsk: Nauka. 1980. P. 92—102 (In Russian).
15. Ryashchenko T.G. Lithogenesis and engineering-geological assessment of the Quaternary deposits (the Eastern Siberia). Novosibirsk: Nauka. 1984. 164 p. (In Russian).
16. Dzhurik V.I., Potapov V.A., Kochetkov V.M., et al. Seismic microzoning of the aimag centers of the Mongolia. Ulaanbaatar: Publishing Center for Astronomy and Geophysics. 1998. 248 p. (In Russian).
17. Tatarskiy V.B. Crystal optics and immersion method for studying minerals. Moscow: Nedra, 1965. 306 p. (In Russian).
18. Shlykov V.G., Kharitonov V.D. On the method of quantitative X-ray analysis of the mineral composition of soils / *Geoecology*. 2001. No. 2. P. 129—140 (In Russian).
19. Shlykov V.G., Trapeznikov P.V. Lost classification feature of loess soils // *Geoecology*. 2002. No. 2. P. 156—162 (In Russian).
20. Yubelt R. Determinant of minerals (translated from German). Moscow: Publishing house "Mir". 1978. 325 p. (In Russian).
21. Complex geophysical and seismological investigations in the Mongolia / Eds. V.I. Dzhurik, T. Dugarmaa. Ulaanbaatar—Irkutsk. 2004. 315 p.
22. Hubbard C.R., Snuder R.I. RIR. Measurement and Use in Quantitative XRD // *Powder Diffraction*. 1988. V. 3. P. 74—77.
23. Ryashchenko T.G., Akulova V.V., Ukhova N.N. Processes of loess lithogenesis during Pleistocene — Holocene // *Quaternary International*. 2011. No. 240. P. 150—155.
24. *Zimbardo M., et al.* The open metastable structure of a collapsible sand: fabric and bonding // *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 2016. V. 75. No. 1. P. 125—139.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT AUTHOR

Рященко Тамара Гурьевна — доктор геолого-минералогических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории инженерной геологии и геоэкологии Института земной коры СО РАН. 128, ул. Лермонтова, г. Иркутск 664033, Россия
e-mail: ryashenk@crust.irk.ru
тел.: +7 (914) 885-43-75
SPIN-код: 8791-2620
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5839-3471>

Tamara G. Ryashchenko — Dr. of Sci. (Geol.-Min.), Professor, Leading Researcher of the Laboratory of Engineering Geology and Geoecology of the Institute of the Earth Crust, SB RAS. 128, Lermontov str., Irkutsk 664033, Russia
e-mail: ryashenk@crust.irk.ru
tel.: +7 (914) 885-43-75
SPIN-code: 8791-2620
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5839-3471>