

Минеральный состав элювиальных и эоловых песков (на примере уникальной коллекции образцов)

Объектом исследований является уникальная коллекция образцов элювиальных и эоловых песков, отобранных в тропической зоне (Вьетнам) и зоне с умеренно гумидным резко континентальным климатом (Тункинская впадина в Прибайкалье). При визуальном просмотре коллекции в лабораторных условиях с применением четырёхкратной лупы установлены следы некоторой структурной связности, поэтому выделены «связные» глинистые (ps*) и обычные (ps) песчаные разновидности. Минеральный состав песков коллекции определялся методом количественного иммерсионного анализа фракции 0,25–0,05 мм, с помощью которого устанавливаются содержание и морфологические признаки различных лёгких и тяжёлых терригенных минералов, рассчитываются специальные коэффициенты. Предварительно проводится гранулометрический анализ образцов методом А. Н. Сабанина, в результате которого выделяется фракция для минералогических исследований и устанавливается содержание песчано-пылеватых и глинистых частиц. Цель исследований заключается в сравнительном анализе минерального состава песков коллекции, степени их химической зрелости и выяснении возможных вариантов формирования структурной связности.

Ключевые слова: коллекция, пески, климатические зоны, минеральный состав, коэффициенты, химическое выветривание, лёссовый литогенез.

РЯЩЕНКО ТАМАРА ГУРЬЕВНА, доктор геолого-минералогических наук, профессор, ведущий научный сотрудник¹, ryashenk@crust.irk.ru

МАКАРОВ СТАНИСЛАВ АЛЕКСАНДРОВИЧ, доктор географических наук, ведущий научный сотрудник²

¹ Институт земной коры СО РАН (ИЗК СО РАН), г. Иркутск

² Институт географии имени В. Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск

Mineral composition of eluvial and aeolian sands (on the example of the unique collection of samples)

T. G. RYASHCHENKO¹, S. A. MAKAROV²

¹ Institute of the Earth's Crust, SB RAS, Irkutsk

² Sochava Institute of Geography, SB RAS, Irkutsk

The object of the research is the unique collection of samples of eluvial and aeolian sands collected in the tropical (Vietnam) zone and the zone with the temperate humid sharply continental climate (the Tunkinsk's depression in the Baikal region). Traces of structural connectivity were established by visual inspection of the samples in laboratory conditions using a four-fold magnifier. "Cohesive" clayey (ps*) and ordinary sandy (ps) varieties were identified. The mineral composition of the collection sands was determined by the method of quantitative immersion analysis of the 0.25–0.05 mm fraction. The composition and morphological characteristics of various light and heavy terrigenous minerals were determined, and special coefficients were calculated using the method of quantitative immersion analysis. Beforehand, the granulometric analysis of samples was carried out using A.N. Sabanin's method. As a result, the fraction for mineralogical studies was isolated, and the content of sandy-pulverescent and clay particles was established. The research goal consists of a comparative analysis of the mineral composition of the sands, the degree of their chemical maturity, and the investigation of possible variants of structural connectivity formation.

Key words: collection, sands, climatic zones, mineral composition, coefficients, chemical weathering, loessial lithogenesis.

Минеральный состав терригенных компонентов элювиальных и эоловых песков исследован на примере уникальной коллекции, которая включала образцы, отобранные в тропической зоне Вьетнама (элювий и эоловый покров пустыни) и зоне с умеренно гумидным резко континентальным климатом в Тункинской впадине в Прибайкалье (эоловые пески). Применялся классический литологический метод количественного иммерсионного анализа [2, 8]. Предварительно определялся гранулометрический состав образцов методом А. Н. Сабанина с целью выделения фракции 0,25–0,05 мм для минералогических исследований и определения содержания пылевато-песчаных и глинистых частиц.

На первом этапе работы с коллекцией визуально описывался каждый образец с применением четырёхкратной лупы. При этом просмотре в песках установлены следы некоторой структурной связности, что позволило выделить «связные» глинистые (ps*) и обычные сыпучие (ps) разновидности. «Связные» или глинистые пески – своеобразный переходный тип между глинами, суглинками и обычными («несвязными») песчаными отложениями [7]. Аналогичные глинистые пески были описаны при изучении плейстоценовых песчаных отложений из обнажения Agrigento (Сицилия, Италия), обладающих связностью за счёт пылеватых и глинистых частиц; каркас этих песков состоит из агрегатов-биокластов, также влияющих на их структурную связность [10].

На основе полученных материалов по минеральному составу песков (фракция 0,25–0,05 мм) с учётом содержания песчано-пылеватых и глинистых частиц выполнены сравнительный анализ элювиальных и эоловых песков различных климатических

зон и оценка степени их химической зрелости; предложены возможные варианты формирования структурной связности, которая наблюдается в песчаном элювии тропической зоны и эоловых песках Прибайкалья.

Первая краткая публикация по материалам коллекции появилась в тезисной форме [6]. В дальнейшем планировалось представить материалы в расширенном варианте, тем более что Станислав Александрович Макаров продолжал работать над статьей, но, к большому сожалению, недавно он ушёл из жизни, поэтому в настоящее время, по мнению его коллег, необходима расширенная публикация по материалам этой уникальной коллекции.

Объекты и методика. *Объекты* – это воздушно-сухие образцы уникальной коллекции элювиальных и эоловых песков различных климатических зон, среди которых выделены «связные» глинистые (ps*) и обычные (ps) разновидности. На рис. 1 представлен общий вид обнажения в каньоне Муйне, а на рис. 2 – момент отбора образцов элювиальных песков для коллекции. Далее приведено визуальное описание каждого образца и его номер.

Элювиальные пески из обнажения в каньоне Муйне (шесть образцов):

КМ-1. Песок среднезернистый, охристого цвета; редкие зёрна имеют следы окатанности, признаки связности отсутствуют (ps).

КМ-2. Песок мелкозернистый (имеются более крупные зёрна со следами окатанности), светло-серого цвета, обладает некоторой связностью – имеются кусочки ненарушенной структуры (ps*).

КМ-2 а. Песок сахаровидный, почти белого цвета, мелкозернистый, встречаются более крупные



Рис. 1. Каньон Муйне (Вьетнам, тропическая зона)



Рис. 2. Отбор проб элювиальных песков из каньона Муйне

слегка окатанные зёрна кварца; основная масса зёрен изометричной формы; кусочки ненарушенной структуры легко растираются в глинисто-песчаную массу (ps*).

КМ-3. Песок светло-коричневый с охристым оттенком; кусочек с некоторым усилием растирается в глинисто-пылеватую массу; в лупу можно рассмотреть очень мелкие «макропоры-соты» и крупные (до 0,5 мм) каверны (ps*).

КМ-4. Песок слабосцементированный, тонкозернистый, жёлтого, слегка белёсого цвета, кусочек можно с некоторым усилием растереть пальцами в пылевато-песчаную массу; на поверхности ненарушенного образца в лупу хорошо видны макропоры округлой формы (диаметр до 0,3 мм) и разводы ожелезнения; встречаются редкие более крупные (до 0,5 мм) песчаные зёрна (ps*).

КМ-5. Песок слабосцементированный, тонко-мелкозернистый, серый, напоминает выветрелый песчаник, с некоторым усилием можно отломить небольшой кусочек этого песчаника, который растирается пальцами в пылевато-песчаную массу; на изломе кусочка видны разводы ожелезнения; на поверхности образца ненарушенной структуры наблюдаются тонкие «макропоры-соты» (ps*).

Таким образом, среди элювия отмечаются только «связные» глинистые пески – ps* (за исключением одного образца – КМ-1). Видны «макропоры-соты» (округлые, диаметром до 0,2–0,3 мм) и «каверны» (диаметр до 0,5 мм).

Эоловые пески пустыни (два образца):

П-1. Песок обычный (сыпучий – без следов связности), мелкозернистый, хорошо отсортированный, цвет – слегка оранжевый (жёлтый с охристым оттенком); песчаные зёрна окатанной формы, представлены в основном кварцем (ps).

П-2. Песок обычный (сыпучий – без следов связности), мелкозернистый, охристого цвета, хорошо отсортированный, песчаные зёрна окатанной формы (ps).

Эоловые пески пустыни следов структурной связности не имеют и представлены хорошо отсортированными разновидностями, при этом песчаные зёрна окатанной формы (ps). На фотографии рядом с каньоном видны красноватые и серовато-жёлтые эоловые формы (рис. 3).

Эоловые пески Тункинской впадины (три образца):

1513. Песок «связный» (имеются небольшие кусочки, которые легко растираются пальцами в пылевато-песчаную массу), тонко-мелкозернистый, отсортированный, цвет – коричневый с охристым оттенком; зёрна с признаками окатанности; на поверхности кусочков видны (в лупу) немногочисленные тонкие макропоры (ps*).



Рис. 3. Эоловые пески пустыни (район каньона Мүйне)

1514. Песок «связный» (в пакете имеются небольшие кусочки, которые легко растираются пальцами в тонкий песок и пыль), мелко-тонкозернистый, хорошо отсортированный, цвет – коричневый с серым оттенком; песчаные зёрна со следами окатанности (ps*).

1515. Песок обычный (сыпучий – без следов связности), мелкозернистый, светло-серый, хорошо отсортированный, зёрна имеют следы окатанности (ps).

На рис. 4 представлена общая картина распространения эоловых песчаных покровов в Тункинской впадине.



Рис. 4. Эоловые пески (Тункинская впадина, Прибайкалье, зона умеренно гумидного резко континентального климата)

Методика. Гранулометрический анализ (предварительная операция). Гранулометрический состав образцов коллекции определяется по методу А.Н. Сабанина [3, С. 42–47], который применяется в качестве предварительной процедуры для дальнейшего изучения минералогии лёгкой и тяжёлой фракций песков. Согласно этому методу, отмывается глинистая фракция, представленная частицами < 0,002 мм, определяется её содержание; остальная часть пробы высушивается, и ситовым методом устанавливается содержание шести фракций (в мм): > 1; 1,0–0,5; 0,50–0,25; 0,25–0,10; 0,10–0,05; < 0,05. Выделение различных типов песка коллекции по гранулометрическому составу выполняется по классификации, применяющейся в инженерной геологии: при содержании определённой фракции > 50% образец получает наименование по её названию [3]. В случае отсутствия монофракции степень крупности песка определяется по двум ведущим фракционным компонентам.

Метод А.Н. Сабанина не предполагает использования каких-либо химических диспергаторов для разрушения агрегатов, поэтому определяется реальное содержание указанных фракций, в том числе и глинистой (< 0,002 мм).

Минеральный состав (фракция 0,25–0,05 мм). Определение минерального состава проводится иммерсионным методом, основанным на сравнении показателя преломления минерала с вмещающей сре-

дой – иммерсионной жидкостью с известным значением этого показателя [2]. Исследуется фракция 0,25–0,05 мм (считается, что там сосредоточены основные минералы), которая с помощью бромформа подразделяется на лёгкую (плотность < 2,9 г/см³) и тяжёлую (плотность > 2,9 г/см³) составные части. Затем эти фракции промываются спиртом, высушиваются и взвешиваются – определяется их масса. На предметном стекле готовится препарат – зёрна лёгких минералов покрываются специальным стеклом, вводится иммерсионная жидкость с определённым показателем преломления (1,540–1,542). На поляризационном микроскопе выполняется просмотр препарата путём количественного определения различных минералов (подсчитываются зёрна и соответственно процентные содержания минералов). Аналогичный препарат готовится из зёрен тяжёлой фракции (показатель преломления иммерсионной жидкости ≥ 1,700), и выполняются те же операции.

Если для лёгкой фракции количество компонентов не превышает четырёх–шести, то тяжёлых минералов может быть более 20. Результаты представляются в виде таблиц и описаний морфологических особенностей представителей минеральных ассоциаций. Определения минерального состава лёгких и тяжёлых фракций образцов коллекции выполнены сотрудником Института земной коры СО РАН инженером И.А. Калашниковой. По результатам лёгкой

1. Гранулометрический состав песков (Вьетнам, Прибайкалье)

Образцы	РЗ	Фракции							Σ (%)
		Содержание фракций (%) после удаления частиц < 0,002 мм						< 0,002	
		> 1,0	1,0–0,5	0,50–0,25	0,25–0,10	0,10–0,05	< 0,05		
Обнажение в каньоне Муйне (элювий), Вьетнам									
КМ-1	ps	–	6,7	60,3	23,7	1,3	1,7	4,7	98,4
КМ-2	ps*	–	12,0	48,0	31,3	2,0	0,3	5,7	99,3
КМ-2а	ps*	–	9,0	44,7	35,0	1,7	1,3	8,0	99,7
КМ-3	ps*	5,7	2,0	23,7	37,7	1,7	1,0	27,0	98,8
КМ-4	ps*	0,3	2,5	28,0	47,0	2,0	2,0	17,0	98,8
КМ-5	ps*	0,3	3,3	20,0	51,0	3,3	5,0	16,3	99,3
Пустыня (эоловые пески), Вьетнам									
П-1	ps	–	3,3	78,3	16,3	0,3	0,3	0,7	99,2
П-2	ps	0,3	0,7	44,0	51,3	1,0	0,7	1,3	99,3
Тункинская впадина (эоловые пески), Прибайкалье									
1513	ps*	–	1,0	13,3	58,0	6,3	8,3	12,3	99,2
1514	ps*	–	1,7	15,0	61,0	7,0	6,3	7,0	98,0
1515	ps	–	0,3	40,3	52,2	2,3	1,5	2,3	98,9

Примечание. РЗ – разновидности песков: ps* – «связные», ps – обычные; Σ – сумма фракций.

фракции рассчитывается коэффициент зрелости (K_z), представляющий отношение содержаний устойчивого к выветриванию кварца и неустойчивых полевых шпатов. Повышенные значения этого коэффициента соответствуют высокой степени химических преобразований отложений.

По результатам тяжёлой фракции можно рассчитать коэффициент устойчивости (K_U) – отношение содержаний устойчивых к выветриванию турмалина и циркона и неустойчивых пироксенов (диопсид + гиперстен) и амфиболов (роговая обманка + тремолит). Повышенные значения этого коэффициента также являются свидетелями химической зрелости отложений.

Результаты и их обсуждение. Гранулометрический состав. Результаты гранулометрического анализа образцов коллекции позволяют следующим образом оценить исследованные пески (табл. 1).

Элювиальные пески (каньон Муйне, тропическая зона). Только один образец (КМ-1) является обычным среднезернистым песком с минимальным содержанием отмытой глинистой фракции (4,7%), при этом сумма фракций 0,10–0,05, < 0,05 и < 0,002 мм составляет всего 7,7%. Остальные образцы, имеющие структурную связность, относятся к мелко-среднезернистым, средне-мелкозернистым и мелкозернистым типам, сумма фракций 0,10–0,05, < 0,05 и < 0,002 мм составляет 8,0–29,7%, в том числе содержание глинистых частиц достигает 27% (см. табл. 1, обр. КМ-3). Общий вид распределения различных фракций в элювиальных связных песках тропической зоны представлен на графике (рис. 5).

Напомним, что на поверхности излома кусочков с ненарушенной структурой наблюдались мелкие «макропоры-соты» и крупные (до 0,5 мм) каверны – признак связности песчаного материала.

Эоловые пески (пустыня – тропическая зона). Чем отличаются пески пустыни (эоловый комплекс) от элювиальных песчаных отложений? Они хорошо отсортированы, зёрна окатанной формы, цвет – жёлтый с охристым оттенком (оранжевый). По гранулометрическому составу они относятся к среднезернистым (П-1) или мелкозернистым (П-2) разновидностям – это монозернистые сыпучие песчаные разновидности почти без глинистой фракции (её содержание 0,7–1,3%), следы связности отсутствуют (рис. 6).

Эоловые пески Тункинской впадины (умеренно гумидный резко континентальный климат). Два образца (1513, 1514) представлены мелкозернистыми «связными» разновидностями с повышенным содержанием глинистой фракции (7,0–12,3%); сумма частиц 0,10–0,05, < 0,05 и < 0,002 мм составляет 20,3–26,9%.

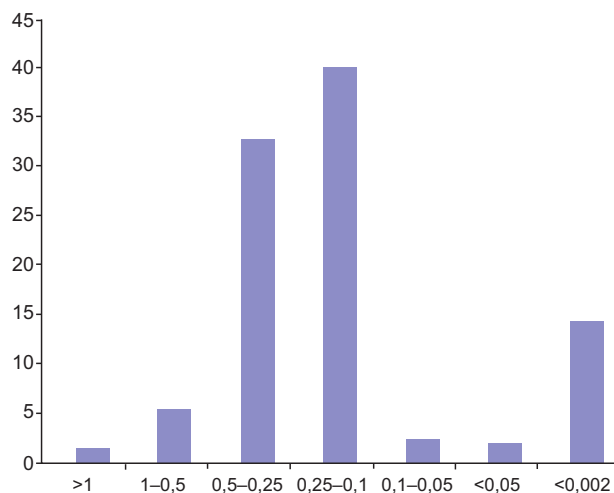


Рис. 5. Содержание фракций в элювиальных песках тропической зоны (Вьетнам, ps*)

Общий вид распределения различных фракций в эоловых «связных» песках Тункинской впадины (иная климатическая зона) почти аналогичен «связным» элювиальным пескам каньона Муйне (рис. 7).

Следовательно, имеется материал, который обеспечивает структурную связность в этих песках; кроме того, на поверхности излома воздушно-сухих кусочков также отмечаются тонкие макропоры.

Один образец (1515) является представителем обычных песчаных разновидностей – резко снижается

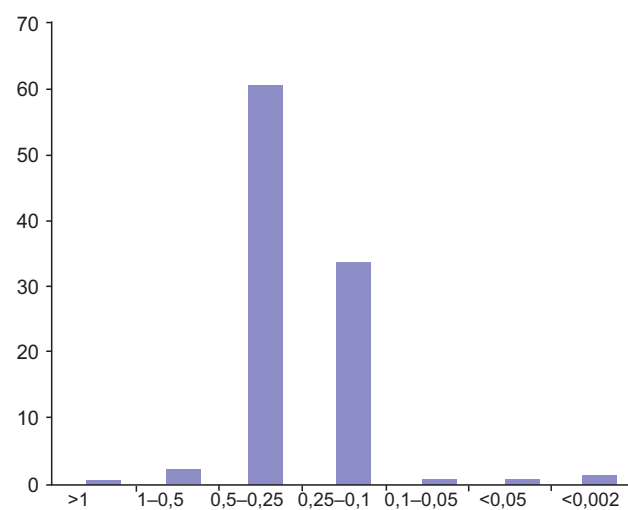


Рис. 6. Содержание фракций в эоловых песках тропической зоны (Вьетнам, ps)

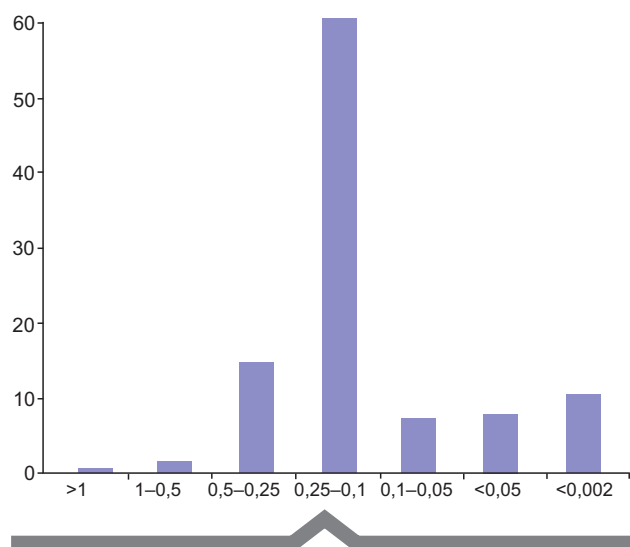


Рис. 7. Содержание фракций в эловых песках умеренно гумидной резко континентальной климатической зоны (Тункинская впадина, Прибайкалье, ps*)

количество глинистых и пылеватых частиц, увеличивается присутствие среднезернистой фракции (40,3%). Если обратимся к эловым пескам Верхнего Приангарья (район р. Белой), также убедимся в отсутствии структурной связности – они являются среднезернистыми (содержание фракции 0,50–0,25 мм достигает 59%), количество глинистых и пылеватых частиц не превышает 3%.

Таким образом, для «связных» песков элювия (тропическая зона) и элового комплекса Тункинской впадины отмечается повышенное содержание глинистой (< 0,002 мм) фракции (ps – 1,5–1,7%; ps* – 5,7–27,0%).

Минеральный состав. Результаты количественного иммерсионного анализа образцов коллекции отражают особенности элювиальных и эловых песков различных климатических зон. Начнём с тропической зоны – это элювий из обнажения в каньоне Муйне и эловые покровы пустыни.

Элювиальные пески (каньон Муйне). Лёгкая фракция. Пески мономинеральные – преобладает кварц (90,4–98,4%); отсутствуют плагиоклазы, но есть калиевые полевые шпаты (0,4–6,8%), при этом их минимальное содержание зафиксировано в образце КМ-1 (песок без признаков связности); биотит отмечен в виде знаков или в количестве 0,4–1,2%; хлорит, графит, карбонат отсутствуют (табл. 2). Встречаются бежевые угловато-окатанные агрегаты (0,4–2,4%), состоящие из изменённых слюд. Редкие компоненты лёгкой фракции – обломки пород и растительные остатки (обнаружены в виде знаков).

Коэффициент зрелости песков (Kz) изменяется от 13,3 до 246,0. Максимальные значения этого коэффициента (246; 82), характеризующие наибольшие химические преобразования отложений, определены для охристого (КМ-1) и сахаровидного (КМ-2 а) песков, остальные образцы («связные» пески и выветрелый песчаник) имеют более низкие значения Kz (13,3–21,6) (табл. 3).

Тяжёлая фракция. Пески имеют циркон-ильменитовую (12–20 и 48,0–66,6 % соответственно) минеральную ассоциацию (указываем две группы минералов, преобладающих по содержанию) (см. табл. 2).

Отмечено заметное присутствие лейкоксена (4,4–10,0%) – вторичного минерала, который развивается по ильмениту (признак элювиального генезиса песков). Масса тяжёлой фракции составляет всего 0,08–0,22 г, несмотря на преобладание ильменита, имеющего повышенную плотность (4,5–5,0 г/см³). По-видимому, это особенность элювиальных песков каньона Муйне. Среди второстепенных минералов преобладает очень устойчивый к выветриванию турмалин (5,2–10,6%). Менее развит силлиманит, содержание которого составляет 2,4–5,0% (этот минерал встречается во всех кристаллических породах мира, видимо, пески унаследовали его из «коренной основы» каньона). Пироксены (диопсид) и амфиболы (роговая обманка), которые являются неустойчивыми к процессам выветривания компонентами, образуют ничтожную по содержанию группировку – < 1%. Отсутствуют гиперстен (группа пироксенов), тремолит (группа амфиболов), гематит, очень мало граната (0,2–1,0%) и магнетита (0,6–2,0%); постоянно в незначительном количестве (0,2–1,2%) встречаются дистен и ставролит. В одном образце (КМ-2 – песок мелко-среднезернистый, светло-серый, с признаками связности) обнаружено повышенное (7,0%) содержание гётита (игольчатая железная руда). Кроме того, это был единственный образец коллекции, в котором зафиксированы единичные частицы *метеоритов* в виде чёрных блестящих шариков. Коэффициенты устойчивости (КУ) в элювиальных песках тропической зоны находятся в пределах 5,7–22,5; пониженные (< 10) значения появляются за счёт некоторого увеличения (до 1,4–2,2%) содержания пироксенов (диопсид).

Эловые пески (пустыня). Лёгкая фракция почти полностью состоит из кварца (96–98%), присутствуют калишпаты (2–4%), плагиоклазов нет, в виде единичных знаков – биотит и обломки пород (см. табл. 2). Коэффициент зрелости (Kz) равен 24–49 (близок Kz элювия, за счёт которого они, видимо, и образовались) (см. табл. 3).

Тяжёлая фракция имеет ильменитовую (65,6%) или циркон-ильменитовую (12,0 и 60,6 % соответственно) минеральную ассоциацию; масса тяжёлых

2. Минеральный состав песков Вьетнама (фракция 0,25–0,05 мм)

Минералы	Образцы песков							
	Обнажение в каньоне Муйне (элювий)						Пустыня	
	КМ-1	КМ-2	КМ-2а	КМ-3	КМ-4	КМ-5	П-1	П-2
Лёгкая фракция (%)								
Кварц	98,4	93,2	98,8	95,2	92,8	90,4	98,0	96,0
Плагиоклаз	–	–	–	–	–	–	–	–
Калишпат	0,4	4,8	1,2	4,4	6,0	6,8	2,0	4,0
Биотит	+	0,8	+	0,4	1,2	0,4	+	–
Мусковит	–	0,8	–	–	–	–	–	+
Обломки пород	+	–	–	+	–	–	+	–
Агрегаты	1,2	0,4	–	–	–	2,4	–	–
Растительные остатки	–	+	–	–	–	–	–	–
Масса лёгкой фракции, г	7,42	9,88	10,85	11,58	14,49	16,09	4,88	15,27
Тяжёлая фракция (%)								
Магнетит	0,6	4,0	+	0,6	2,0	2,0	+	0,6
Ильменит	55,0	49,4	66,6	63,0	48,0	55,0	65,6	60,6
Гранат	0,2	0,6	+	1,0	0,4	0,8	0,2	1,2
Циркон	18,0	16,6	12,0	12,4	20,0	12,0	6,4	12,0
Сфен / брукит	0,4	–	–	–	+	–	0,4	0,2
Рутил	2,0	1,4	1,2	0,2	1,4	0,8	1,0	+
Лейкоксен	9,0	4,4	6,2	6,0	8,0	10,0	6,4	6,0
Роговая обманка	1,0	1,8	0,4	1,0	1,0	0,2	0,8	1,6
Диопсид	0,6	2,2	0,4	1,4	0,4	0,8	0,8	0,8
Гиперстен	–	–	–	–	–	+	–	–
Эпидот	0,8	0,8	0,4	1,4	0,2	2,8	4,4	3,0
Апатит	–	0,4	0,2	–	–	0,2	–	–
Турмалин	5,2	6,0	6,0	7,0	10,6	7,2	6,0	6,0
Ставролит	0,6	0,2	1,2	1,0	1,2	1,0	0,4	1,0
Дистен	0,4	0,4	0,4	0,2	0,8	1,2	0,6	0,8
Силлиманит	5,0	4,8	3,4	2,4	4,6	4,4	4,0	2,0
Андалузит	0,6	–	0,4	2,0	1,0	1,4	2,8	2,2
Гётит	0,6	7,0	0,6	0,4	0,4	0,2	0,2	+
Гематит	–	–	–	–	–	–	+	–
Метеориты	–	+	–	–	–	–	–	–
Масса тяжёлой фракции, г	0,08	0,12	0,16	0,22	0,22	0,21	0,12	0,44

Примечание. Компонент зафиксирован в виде единичных знаков (+), отсутствует (–).

минералов 0,12–0,44 г (она несколько больше, чем в элювии) (см. табл. 2).

К особенностям состава фракции относится заметное (6,0%) присутствие лейкоксена (это вторичный минерал по ильмениту). К числу второстепенных минералов, содержание которых составляет 2,0–6,0%, принадлежат турмалин, эпидот, силлиманит, андалу-

зит. Группа аксессуарных компонентов (содержание 0,2–1,0%) включает роговую обманку, диопсид, ставролит, дистен, гранат, рутил, сфен, редкие знаки гётита.

Таким образом, минеральная ассоциация тяжёлой фракции аналогична песчаному элювию, однако коэффициент устойчивости является пониженным

3. Коэффициенты зрелости (Kz) и устойчивости (Ky) элювиальных и эоловых песков различных климатических зон

Объекты	Элювиальные пески (каньон Муйне)**						Эоловые пески пустыни**		Эоловые пески (Прибайкалье)***		
	КМ-1	КМ-2	КМ-2а	КМ-3	КМ-4	КМ-5	П-1	П-2	1513	1514	1515
Образцы	КМ-1	КМ-2	КМ-2а	КМ-3	КМ-4	КМ-5	П-1	П-2	1513	1514	1515
Вид песка	ps	ps*	ps*	ps*	ps*	ps*	ps	ps	ps*	ps*	ps
Kz	246,0	19,4	82,3	21,6	15,5	19,3	49	24	4,0	4,0	3,7
Ky	14,5	5,7	22,5	8,1	21,9	19,2	7,8	7,5	0,02	0,01	0,01

Примечание. Песок: ps – без структурной связности и ps* – «связный» (глинистый); климатические зоны: ** – тропическая, *** – умеренно гумидная резко континентальная.

(7,5–7,8) за счёт уменьшения содержания турмалина и циркона и некоторого увеличения роговой обманки.

Вероятнее всего, элювиальные пески были источником эолового переноса. Лейкоксен в тяжёлой фракции эоловых покровов, как указывалось выше, также присутствует в заметном количестве, следовательно, можно предположить, что он вместе с ильменитом, по которому развит как вторичный минерал, переносился ветром в пустыню. Здесь также очень мало неустойчивых роговой обманки и пироксенов (диопсид), но имеются, как и в элювиальных песках, в количестве 2–6% турмалин, силлиманит, эпидот, андалузит.

Эоловые пески Тункинской впадины (Прибайкалье). Лёгкая фракция. Состав лёгких минералов песчаного эолового комплекса, распространённого в умеренно гумидной резко континентальной климатической зоне Прибайкалья, существенно отличается от выше описанных комплексов тропической зоны (аналогичная ситуация наблюдается и по составу тяжёлой фракции). Содержание кварца снижается (68,0–78,0%) за счёт увеличения калишпата и плагиоклаза (в сумме они составляют 18,4–19,6%) (табл. 4); в виде знаков появляются хлорит и графит, присутствуют обломки пород (0,8–3,2%) и единичные растительные остатки. Соответственно за счёт полевых шпатов коэффициент зрелости (Kz) оказывается весьма незначительным – 3,7–4,0 (см. табл. 3).

Тяжёлая фракция. Минеральная ассоциация здесь совершенно иная: пироксен-амфиболовая (25,0–32,0 и 31,2–35,6 % соответственно) (см. табл. 4). Фактически почти «на равных» присутствуют те и другие, при этом источниками первых являются трапповые интрузии, вторых – «минералы-пришельцы» эолового происхождения [1]. Значительную роль играют гранаты (12,2–14,0%). К числу второстепенных минералов (2,0–6,4%) относятся магнетит, ильменит, сфен, апатит, ставролит, силлиманит. Группа аксессуарных

компонентов (< 1,0%) включает рутил, турмалин, дистен, андалузит, лейкоксен; в виде единичных знаков отмечаются циркон, гётит, гематит.

Масса тяжёлых минералов здесь значительно больше – 1,49–2,06 г (в элювии и эоловых песках пустыни только 0,08–0,44 г, несмотря на преобладание ильменита с высокой плотностью). Видимо, эту массу обеспечивают многочисленные зёрна пироксенов и амфиболов, плотность которых значительно меньше (3,1–3,4 г/см³) по сравнению с ильменитом (4,5–5,0 г/см³), господствующим в песках тропической зоны.

Следовательно, в эоловых песках иной климатической зоны происходит чёткая замена устойчивых компонентов на неустойчивые, в результате до минимума снижается величина коэффициента Ky, который составляет всего 0,01–0,02. Аналогичная ситуация отмечена для лёгкой фракции, где также степень химической зрелости песков значительно меньше, поскольку кварц «вытесняется» неустойчивыми к химическому выветриванию калишпатами и плагиоклазами. Элювиальные пески тропической зоны – наиболее яркий пример химических преобразований отложений.

Возможные варианты формирования структурной связности в песках различных климатических зон. Предлагается рассмотреть два варианта причин формирования структурной связности в элювиальных и эоловых песках различных климатических зон: воздействие процессов лёссового литогенеза (Прибайкалье, умеренно гумидная резко континентальная зона) и воздействие процессов интенсивного химического выветривания (Вьетнам, тропическая зона).

Лёссовый литогенез рассматривается как особый геохимический тип выветривания, который в плейстоцене представлял грандиозный литолого-геохимический процесс, определивший накопление лёссовых отложений в перигляциальных областях

4. Минеральный состав эоловых песков Тункинской впадины (сокращённый вариант)

Образцы	Лёгкая фракция				Тяжёлая фракция				
	Содержание основных минералов, %								
	Кварц	Калиевый полевой шпат	Плагиоклаз	Слюды	Амфиболы	Пироксены	Эпидот	Гранат	Рудные
1513	76,8	11,3	8,0	2,8	31,2	30,0	5,6	14,0	7,2
1514	78,0	9,6	10,0	0,4	35,6	25,0	4,4	12,8	8,4
1515	68,0	8,4	10,0	2,4	32,0	32,0	5,4	12,2	6,8

Примечание. Слюды – биотит + мусковит; амфиболы – роговая обманка + тремолит; пироксены – диопсид + гиперстен; рудные – магнетит + ильменит.

Восточной Сибири при аккумуляции пылевато-песчаного материала [4, 5]. Разделяя эту точку зрения, авторы, кроме того, признают ведущую роль криогенного фактора на фоне интенсивной карбонатизации осадков, влияние геологического субстрата (характер распространения различных геологических формаций) и возможность развития процессов лёссового литогенеза в голоцене, включая исторический период [9]. Образцы коллекции эоловых «связных» песков, отобранные в Тункинской впадине, являются типичным продуктом воздействия указанных процессов. На стадии седиментогенеза они были обычными песками, но наложенные процессы лёссового литогенеза, действующие в постдиагенетическую стадию «жизни» песчаного эолового покрова позднего плейстоцена–раннего голоцена в условиях перигляциального режима, превратили обычные пески в нестандартную разновидность с признаками связности (ps*).

Результаты минералогического анализа и расчёты специальных коэффициентов (Kz, КУ) показали пониженную химическую зрелость этих песков; господство минералов-пришельцев (амфиболов и пироксенов), появление которых связано с эоловым привнесением материала, также подтвердило слабое влияние процессов химического выветривания.

Элювиальные пески тропической зоны (каньон Муйне), представленные связными разновидностями (ps*), не имеют никакого отношения к лёссовому литогенезу. Их признаки структурной связности определяются, возможно, очень высокой степенью химического выветривания материала, о чём свидетельствуют резкое преобладание устойчивого кварца в лёгкой фракции, турмалина и циркона – в тяжёлой. Несмотря на господство ильменита, масса тяжёлых компонентов весьма незначительна (0,08–0,22 г),

поскольку они оставались на месте без каких-либо дополнительных поступлений «минералов-пришельцев».

Эоловые пески тропической зоны (ps) по минералогии близки элювию, который, видимо, и являлся источником для формирования эоловых покровов пустыни.

Таким образом, при сравнительном анализе элювиальных и эоловых песков двух климатических зон установлены различия их минеральных ассоциаций, определяющие химическую зрелость отложений: увеличение Kz соответствует возрастанию степени химических преобразований, снижение КУ – показатель относительно слабых химических изменений.

В тропической зоне Вьетнама имеет место интенсивное химическое выветривание, которое приводит к формированию «связных» глинистых песков в элювии, но при их эоловой транспортировке формируются классические эоловые покровы. В умеренно гумидной резко континентальной зоне Прибайкалья эоловые пески испытали воздействие наложенных процессов лёссового литогенеза, в результате которых превратились в «связные» (глинистые) разновидности; химическое выветривание в этих климатических условиях весьма незначительно, поэтому отмечаются присутствие и сохранение неустойчивых «минералов-пришельцев» – амфиболов и пироксенов, равно как и полевых шпатов.

«Связные» глинистые пески в Прибайкалье впервые были выделены при изучении грунтов на участке Северомуйск–Таксимо по трассе нефтепровода Восточная Сибирь–Тихий океан [7]. Они принадлежали различным геолого-генетическим комплексам отложений – аллювиальным, делювиальным, делювиально-пролювиальным (Q₄) и озёрно-флювиогляциальным (Q₂₋₃). Для общей группировки «связных»

(ps*) и обычных (ps) песков методом силикатного анализа был определён химический состав, затем по программе кластерного анализа Q-типа выполнено их группирование, которое показало чёткое выделение группы «связных» глинистых разновидностей (ps*).

В заключение можно сделать следующие краткие выводы.

На примере уникальной коллекции элювиальных и эоловых песков, распространённых в тропической и умеренно гумидной резко континентальной климатических зонах, впервые изучен минеральный состав лёгких и тяжёлых компонентов с помощью количественного иммерсионного анализа (фракция 0,25–0,05 мм). Предварительно на основе визуального описания и гранулометрического анализа выделены две разновидности – «связные» глинистые (ps*) и обычные (ps) пески.

Изучение минерального состава лёгкой и тяжёлой фракции образцов коллекции и расчёты специальных коэффициентов показали высокую степень химической зрелости элювия тропической зоны и значительно пониженную для эоловых песков Прибайкалья, обогащённых слабоустойчивыми «минералами-пришельцами» за счёт эолового привноса материала и благодаря климатическим особенностям территории.

В результате сравнительного анализа элювиальных и эоловых песков различных климатических зон предложены два возможных варианта формирования особой разновидности «связных» глинистых песчаных отложений: для тропической зоны в элювии главную роль играли процессы интенсивного химического выветривания, для эоловых песков умеренно гумидной резко континентальной зоны – процессы лёссового литогенеза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лессовые* грунты Монголо-Сибирского региона / Т. Г. Рященко, В. В. Акулова, Н. Н. Ухова, С. И. Штельмах, Н. Н. Гринь. – Иркутск : Институт земной коры СО РАН, 2014. – 241 с.
2. *Логвиненко Н. В.* Петрография осадочных пород (с основами методики исследований). – М. : Высшая школа, 1974. – 400 с.
3. *Ломтадзе В. Д.* Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований. – Л. [СПб.] : Недра, 1990. – 327 с.
4. *Лукашев В. К.* Геохимические индикаторы процессов гипергенеза и осадконакопления. – Минск : Наука и техника, 1972. – 320 с.
5. *Лукашев К. И.* Проблема лессов в свете современных представлений. – Минск : Изд-во АН БССР, 1961. – 218 с.
6. *Рященко Т. Г., Макаров С. А.* Минеральный состав элювиальных и эоловых песков различных климатических зон (сравнительный анализ) // Инженерно-геологическое и эколого-геологическое изучение песков и песчаных массивов. Труды Международной научной конференции. – М. : ООО «СамПринт», 2018. – С. 112–116.
7. *Рященко Т. Г., Ухова Н. Н.* Химический состав дисперсных грунтов: возможности и прогнозы (юг Восточной Сибири). – Иркутск : Институт земной коры СО РАН, 2008. – 131 с.
8. *Татарский В. Б.* Кристаллооптика и иммерсионный метод исследования минералов. – М. : Недра, 1965. – 306 с.
9. *Ryashchenko T. G., Akulova V. V., Ukhova N. N.* Processes of loess lithogenesis during Pleistocene – Holocene // Quaternary International. – 2011. – No. 240. – P. 150–155.
10. *Zimbardo M., Ercoli L., Megna B.* The open metastable structure of a collapsible sand: fabric and bonding // Bulletin Engineering Geology and the Environment. – 2016. – V. 75, No. 1. – P. 125–139.

REFERENCES

1. *Lessovyye* grunty Mongolo-Sibirskogo regiona [Loess soils of the Mongolian-Siberian region]. T. G. Ryashchenko, V. V. Akulova, N. N. Ukhova, S. I. Shtel'makh, N. N. Grin', Irkutsk, Institut zemnoy kory SO RAN publ., 2014, 241 p. (In Russ.)
2. *Logvinenko N. V.* Petrografiya osadochnykh porod (s osnovami metodiki issledovaniy) [Petrography of sedimentary rocks (with the basics of research methods)]. Moscow, Vysshaya shkola publ., 1974, 400 p. (In Russ.)
3. *Lomtadze V. D.* Fiziko-mekhanicheskiye svoystva gornykh porod. Metody laboratornykh issledovaniy [Physical and mechanical properties of rocks. Methods of laboratory research]. Leningrad, Nedra publ., 1990, 327 p. (In Russ.)
4. *Lukashev V. K.* Geokhimicheskiye indikatory protsessov gipergeneza i osadkonakopleniya [Geochemical indicators of hypergenesis and sedimentation]. Moscow, Nauka i tekhnika publ., 1972, 320 p. (In Russ.)

- tors of processes of hypergenesis and sedimentation]. Minsk, Nauka i tekhnika publ., 1972, 320 p. (In Russ.)
5. *Lukashev K. I.* Problema lessov v svete sovremennykh predstavleniy [The problem of loess in the light of modern ideas]. Minsk, AN BSSR publ., 1961, 218 p. (In Russ.)
 6. *Ryashchenko T. G., Makarov S. A.* Mineral'nyy sostav elyuvial'nykh i eolovykh peskov razlichnykh klimaticheskikh zon (sravnitel'nyy analiz) [Mineral composition of eluvial and eolian sands of different climatic zones (comparative analysis)]. Inzhenerno-geologicheskoye i ekologo-geologicheskoye izucheniye peskov i peschanykh massivov. Trudy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. Moscow, SamPrint publ., 2018, pp. 112–116. (In Russ.)
 7. *Ryashchenko T. G., Ukhova N. N.* Khimicheskiy sostav dispersnykh gruntov: vozmozhnosti i prognozy (yug Vo-
stochnoy Sibiri) [Chemical composition of dispersed soils: possibilities and forecasts (south of Eastern Siberia)]. Irkutsk, Institut zemnoy kory SO RAN publ., 2008, 131 p. (In Russ.)
 8. *Tatarskiy V. B.* Kristallooptika i immersionnyy metod issledovaniya mineralov [Crystal optics and immersion method for studying minerals]. Moscow, Nedra publ., 1965, 306 p. (In Russ.)
 9. *Ryashchenko T. G., Akulova V. V., Ukhova N. N.* Processes of loess lithogenesis during Pleistocene – Holocene. Quaternary International, 2011, No. 240, pp. 150–155.
 10. *Zimbaro M., Ercoli L., Megna B.* The open metastable structure of a collapsible sand: fabric and bonding. Bulletin Engineering Geology and the Environment, 2016, V. 75, No. 1, pp. 125–139.

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

Плата с авторов за публикацию (в том числе с аспирантов) не взимается. Гонорар не выплачивается. Автор, подписывая статью и направляя ее в редакцию, тем самым предоставляет редакции право на её опубликование в журнале и размещение в сети «Интернет». Направление в редакцию работ, опубликованных ранее или намеченных к публикациям в других изданиях, не допускается.