

УДК 553.041

## ТИПОМОРФИЗМ ГЛИНИСТЫХ МИНЕРАЛОВ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ В ОСНОВАНИИ ВАЛЬКАРАЙСКОЙ ВПАДИНЫ (Чукотка)

*О. Т. Соцкая, И. С. Литвиненко*

*Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН, г. Магадан  
E-mail: Sotskaya@neisri.magadan.ru*

По результатам электронно-микроскопических исследований глинистой фракции палеогеновой коры выветривания в основании Валькарайской впадины (северное побережье Чукотки) выявлено различие в ее минералогическом профиле и типоморфных свойствах глинистых минералов в зависимости от состава исходных пород. Разрушение глинистых сланцев сопровождалось образованием зеленоваго-синих и желто-зеленых супесчанистых монтмориллонит-гидрослюдистых кор выветривания, с преобладанием среди выделений гидрослюда и монтмориллонита их дисперсных (менее 1 мкм) изометричных разностей со сглаженными выступами. На песчаниках и алевролитах развивалась суглинистая кора выветривания, окрашенная оксидами железа и марганца в красные и синие тона, гидрослюдистого или каолинит-гидрослюдистого состава. Она характеризуется более крупными и более утонченными выделениями глинистых частиц, преобладанием среди них удлиненных разностей и большей долей зерен угловатого облика. Среди образований каолинита здесь отмечается повышенное содержание частиц с кристаллической огранкой и в виде псевдогексагональных пластинок. Выявлено, что формирование коры выветривания происходило комбинированно – главным образом по стадийной модели, при подчиненной роли процессов аутигенного минералообразования. Глинистые минералы в основной своей массе являются продуктами трансформирования исходных слоистых силикатов, осуществлявшегося по следующей схеме: серицит (мусковит) ⊕ гидрослюда ⊕ каолинит; хлорит ⊕ монтмориллонит.

**Ключевые слова:** кора выветривания, глинистые минералы, генезис.

### ВВЕДЕНИЕ

Коры выветривания – одни из важнейших реперов в реконструкции истории тектоно-геоморфологического развития территорий. Несмотря на многочисленные находки реликтов древних кор выветривания на Северо-Востоке России, состав и типоморфные свойства распространенных в них глинистых минералов, являющихся индикаторами физико-химических (и опосредованно ландшафтно-климатических) условий формирования кор выветривания, остаются практически не освещенными, за исключением отдельных публикаций.

В статье рассматриваются результаты электронно-микроскопических исследований глинистой фракции проб из реликтов коры выветривания, сохранившихся в основании Валькарайской впадины (северное побережье Чукотки) под позднеолигоцен-четвертичной толщей морских и аллювиальных отложений (рис. 1). Пробы (36 шт.) отобраны в 1980 г. И. С. Литвиненко.

В 1981 г. препараты глинистой фракции этих проб проанализированы рентгеноструктурным и термическим методами в Центральной лаборатории СВНЦО «Магадангеология» на установках ДРОН-1 (аналитик Т. В. Милова) и ТУ-1М (аналитик А. В. Топильский). Электронно-микроскопический анализ дубликатов 19 проб выполнялся в 1980–1981 гг. в СВКНИИ ДВО РАН на электронном микроскопе УЭМВ-100К (аналитик Т. В. Анисимова), при ускоряющем напряжении 75 кВ, токе 80–120 мкА и увеличениях от 5500 до 43 000. Препараты приготавливали из навесок в несколько граммов методом суспензии (получение суспензии глинистой фракции в дистиллированной воде, нанесение ее на подложку и т. д.). На электронно-микроскопических фотографиях минералы диагностировались по морфологическим особенностям их выделений. Присутствие в глинистой фракции исследованных проб каолинита, монтмориллонита, гидрослюда, гидроксидов железа и дисперсных образований кварца и полевых шпатов согласуется с данными рентгеноструктурного и термического анализов. Наличие в одной из проб выделе-

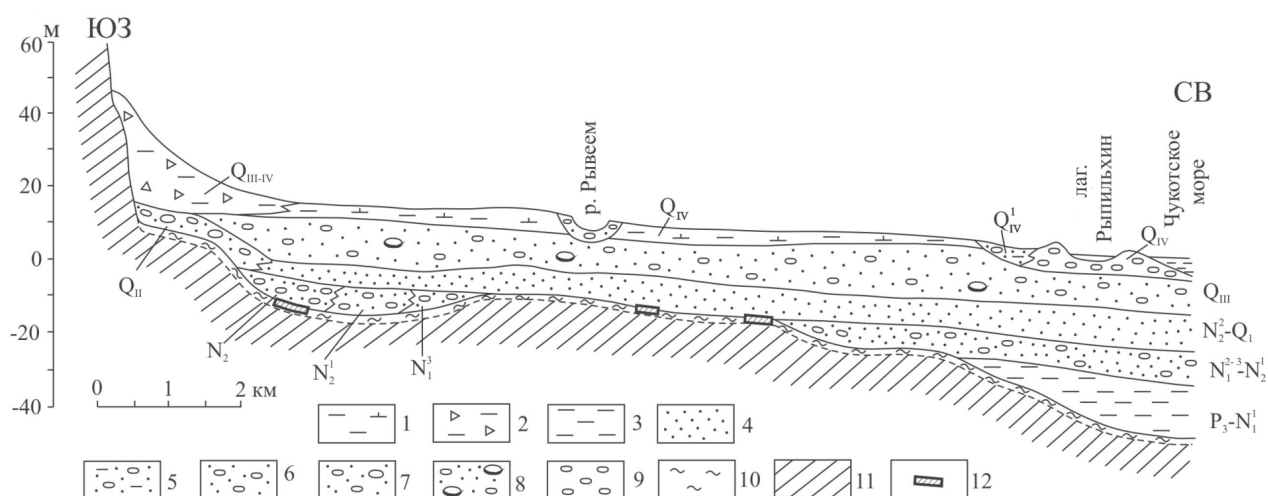


Рис. 1. Схематический разрез Валькарайской впадины (использованы материалы В. Л. Сухорослова, 1978): 1 – льдистые суглинки и алевриты; 2 – щебень с суглинком; 3 – суглинки; 4 – пески и алевриты; 5 – галька, гравий с супесью; 6 – галька, гравий с песком; 7 – галька, гравий с песком и отдельными мелкими валунами; 8 – галька, гравий с песком и валунами; 9 – галька; 10, 11 – щебнево-суглинистые образования коры выветривания (10) и раннекарбоновые песчаники, алевролиты, сланцы (11) основания впадины; 12 – местоположение участков работ

Fig. 1. Schematized Valkarai Depression section; the materials of V. L. Sukhoroslov are used (1978): 1 – icy loam and silt; 2 – rock debris with loam; 3 – loam; 4 – sand and silt; 5 – pebble and gravel with sandy loam; 6 – pebble and gravel with sand; 7 – pebble, gravel with sand and individual small boulders; 8 – pebble, gravel with sand and boulders; 9 – pebble; 10, 11 – rock debris and loam in weathering crust (10), and sandstone, siltstone and shale of the early Carboniferous (11) in the depression bottom; 12 – study areas

ний кристобалита рентгеноструктурным и термическим анализами не подтверждается, поэтому он диагностирован предположительно.

При обработке результатов электронно-микроскопических исследований вместо обычной качественной характеристики для количественной оценки морфометрических разновидностей выделений глинистых минералов применен статистический метод. Сущность его в том, что по фотографиям глинистой фракции подсчитывали частицы глинистых минералов, учитывая их морфометрические свойства, характер контуров и толщину. Несмотря на, очевидно, имевшиеся отдельные ошибки в диагностике глинистых частиц на фотографиях, в целом, на наш взгляд, получена в достаточной степени представительная (описано около 1500 зерен) количественная характеристика состава глинистой фракции и типоморфных свойств глинистых минералов в изученных пробах.

Проведенные исследования позволили не только детально охарактеризовать состав древней (палеогеновой) коры выветривания в основании Валькарайской впадины, который ранее рассматривался только по единичным пробам на качественном уровне (А. П. Валпетер, 1970 г.), но и выявить влияние субстрата на состав парагенетических ассоциаций и типоморфные свойства распространенных в ней глинистых минералов, определить их происхождение и реконструировать

последовательность формирования, т. е. затронуть наиболее сложные, наименее разработанные и дискуссионные вопросы учения о корках выветривания.

### СОСТАВ МАТЕРИНСКИХ ПОРОД

В геолого-структурном отношении рассматриваемая территория приурочена к юго-восточной части Куульского антиклинального поднятия, узлу пересечения Приморского и Рывеевского разломов глубинного заложения.

Породы коренного основания Валькарайской впадины на исследованных участках сложены нижнекаменноугольными терригенными осадочными отложениями. Они представлены темно-серыми, черными или пестро окрашенными глинистыми сланцами, темно-серыми (реже зеленовато-серыми) песчаниками и алевролитами. Породы интенсивно трещиноваты, нередко передроблены и перетерты, в большинстве случаев в той или иной степени метаморфизованы. Довольно широко развита пиритизация. На отдельных участках они подвергнуты гидротермальной проработке (окварцевание).

Накапливавшиеся в раннекарбоновое время на данном участке осадки представляли собой кварцевые пески и илы с глинисто-карбонатным цементом. В дальнейшем, в ходе литификации по-

род и развития процессов регионального метаморфизма, глинистые минералы были преобразованы в серицит, хлорит и мусковит, а сами породы – в песчаники, алевролиты и глинистые сланцы. По результатам изучения 6 шлифов на исследованных участках песчаники сложены в основном кварцем (30%), карбонатными минералами (30%), серицитом (30%) и мусковитом (10%). Глинистые сланцы состоят из кварца (50%), серицита (30%) и хлорита (20%), а алевролиты – из кварца (40%), карбонатов (30%), серицита (25%) и хлорита (5%).

Образование глинистых минералов при выветривании происходило вследствие разрушения серицита, хлорита и мусковита. В исходных породах серицит присутствует в виде мельчайших вытянутых лейст, распадающихся на отдельные еще более мелкие тонкие зерна удлиненной формы. Частицы мусковита и хлорита имеют относительно изометричный облик. Наиболее крупные их выделения встречаются в песчаниках. Они также распадаются на удлиненные мелкие чешуйки.

#### СТРОЕНИЕ И СОСТАВ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ

Реликты некогда площадной коры выветривания, развивавшейся по породам коренного основания Валькарайской впадины, представлены щебнево-глинистым материалом зеленовато-синего, желто-зеленого, охристо-желтого, оранжево-бурого и сизовато-серого цвета. По материалам геологоразведочных работ (А. Ф. Лапин и др., 1973 г.), мощность их обычно составляет от 0,8 до 3,5 м (в пределах зон тектонической проработки исходных пород достигает 8, а в отдельных случаях 30 м). Они перекрываются морскими, прибрежно-морскими и аллювиальными песками, алевритами, суглинками, глинами, имеющими возрастной диапазон от позднего олигоцена до голоцена (Сухорослов, 1978). Образование коры выветривания можно отнести, очевидно, к палеоцен-олигоцен-овому времени (Геология..., 1979).

Основной объем проб отобран в днищах 5 эксплуатационных полигонов и по стенкам расщечек 2 эксплуатационных шахт (пройденных при отработке россыпных месторождений) на высоте примерно 0,5–1,0 м от границы коры выветривания с коренными породами (рис. 2,а). Они характеризуют преимущественно нижние части коры выветривания, состав которой различается в зависимости от состава материнских пород.

#### СОСТАВ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ ПО ГЛИНИСТЫМ СЛАНЦАМ

Кора выветривания, развивавшаяся по глинистым сланцам, представлена песчано-глинистым материалом зеленовато-синего и желто-зеленого цвета. Иногда в нем наблюдаются тонкие (1–3 см)

«жилки», сложенные вязкими, плотными красно-бурыми глинами. Присутствующие в выветрелом горизонте кварцевые прожилки (мощностью 0,5–1,5 см) разбиты на мелкие обломки с полностью выщелоченными сульфидами.

В гранулометрическом составе коры выветривания преобладают зерна песчаной размерности при существенной роли глинистых частиц (табл. 1). Песчаные и алевритовые частицы представлены сростками кварца с серицитом и хлоритом и обломками кварца. Иногда в единичных зернах встречаются выделения слюдястых минералов (мусковит, серицит). Дресва и щебень сложены слабогематитизированными и лимонитизированными обломками пород.

В составе тяжелой фракции преобладают лимонитизированные и гематитизированные обломки пород. В незначительном количестве присутствуют очень мелкие удлиненно-призматические кристаллы циркона и их обломки, ксеноморфные зерна гематита. Изредка встречаются мелкие обломки кристаллов ильменита и турмалина и единичные зерна магнетита, граната, эпидота.

Глинистая фракция коры выветривания, по данным термического и рентгеноструктурного анализов 5 проб, состоит в одних случаях из смеси монтмориллонита (преобладает), мусковита, гидрослюды, каолинита и кварца с незначительной примесью хлорита, в других – из мусковита, гидроксидов, каолинита, монтмориллонита с незначительной примесью кварца, хлорита и гидроксидов железа. Электронно-микроскопический анализ 4 проб показывает преобладание в ней частиц гидрослюды при значительной роли выделений монтмориллонита и несущественной доле зерен каолинита (см. табл. 1; рис. 3).

Основная масса образований *гидрослюды* представлена частицами дисперсной (менее 1 мкм) размерности (табл. 2). По морфологии это в основном изометричные пластинки различной толщины со сглаженными краями (табл. 3). Среди удлиненных разностей преобладают утолщенные частицы также со сглаженными краями. С возрастанием крупности зерен от дисперсных к мелким (1–2 мкм) отмечается возрастание доли изометричных частиц и увеличение сглаженности контуров выделений гидрослюды.

Частицы гидрослюды с кристаллической огранкой присутствуют в очень незначительном количестве среди дисперсных зерен. Характерны их удлиненные разности.

Среди образований *монтмориллонита* преобладают выделения дисперсной размерности. По морфологии это изометричные и удлиненные частицы со сглаженными краями хлопьевидного облика с расплывчатыми контурами, неравномерной плотностью (с уменьшением толщины к периферии) и шиповидными выступами (см. рис. 3 и табл. 2, 3).

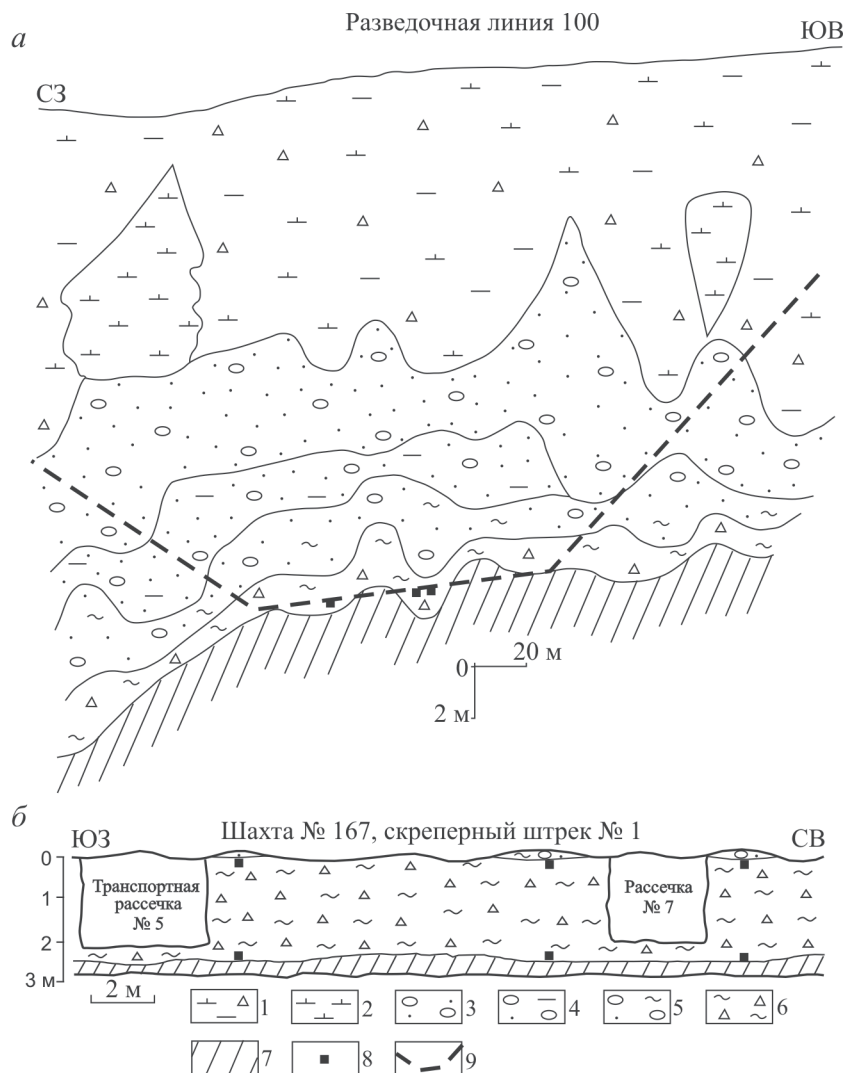


Рис. 2. Местоположение проб в поперечном сечении полигона № 10 в районе разведочной линии 100 (а) и по стенке скреперного штрека № 1 шахты № 167 (б) (с использованием материалов геолого-разведочных работ А. Ф. Лапина и др., 1973 г.): 1 – льдистые алевриты с щебнем; 2 – лед; 3 – галька, гравий с песком; 4 – галька, гравий с супесью; 5 – галька, гравий с суглинком; 6 – суглинок, дресва, щебень; 7 – коренные породы; 8 – местоположение проб; 9 – контур поперечного сечения полигона № 10 на момент опробования

Fig. 2. Sampling sites in a cross-view of area 10, prospecting line 100 (a), and over the wall of drift 1, adit 167 (b), according to prospecting data of A. F. Lapin et al. (1973): 1 – icy silt with rock debris; 2 – ice; 3 – pebble and gravel with sand; 4 – pebble and gravel with sandy loam; 5 – pebble and gravel with loam; 6 – loam, gruss and rock debris; 7 – bedrock; 8 – sampling sites; 9 – a cross-cut view of area 10 through sampling procedure

Выделения с более четкими контурами напоминают очертания частиц гидрослюды и являются переходными разностями в ряду гидрослюда – монтмориллонит.

Образования *каолинита* представлены дисперсными и мелкими выделениями преимущественно изометричной формы. Среди них присутствуют в основном утолщенные частицы округлой формы со сглаженными выступами (см. табл. 2, 3).

### СОСТАВ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ ПО АЛЕВРОЛИТАМ

Кора выветривания, развивающаяся по алевролитам, сложена сизовато-серыми, серо-синими и белесыми суглинками с мелкими угловатыми обломками коренных пород; в ее гранулометрическом составе основная доля приходится на глинистую фракцию (см. табл. 1).

Дресва и щебень представлены обломками пород. Среди песчаных частиц, кроме обломков пород, в незначительном количестве присутствуют зерна кварца. Алевритовая фракция включает в себя обломки пород и кварца; встречаются слюдистые агрегаты.

Тяжелая фракция шлихов, полученных из материала коры выветривания, состоит в основном из пиритизированных обломков пород, в которых пирит замещен гематитом. Иногда значительную долю в шлихах составляют псевдоморфозы гематита по неправильным зернам и кристаллам пирита, мелкие вытянутые кристаллики циркона (или их обломки) и обломки кристаллов ильменита. Встречаются единичные зерна турмалина, граната, эпидота, пирита.

По результатам термического и рентгеноструктурного анализов 9 проб в глинистой фракции присутствуют каолинит, мусковит, гидрослюда и хлорит; отмечается незначительная примесь кварца, плагиоклаза, монтмориллонита, олигонита, лепидокрокита.

Электронно-микроскопическое изучение 2 проб глинистой фракции коры выветривания показывает, что она сложена гидрослюдой и каолинитом с очень незначительной примесью монтмориллонита (см. табл. 1; рис. 4).

По сравнению с корой выветривания по глинистым сланцам наблюдается увеличение размерности выделений глинистых минералов и возрастание степени их кристалличности.

Частицы *гидрослюды* являются в основном дисперсными удлинёнными образованиями с

Таблица 1. Гранулометрический и минеральный состав коры выветривания, %

Table 1. Grain size and mineral composition of weathering crust, %

Материнская порода	Дресва и щебень	Гранулометрический состав					Алевритовые частицы	Глинистые частицы
		Всего	Песчаные частицы					
			В том числе, мм					
		+1-2	+0,5-1	+0,25-0,5	+0,1-0,25			
Глинистые сланцы	2,9	52,7	3,2	5,8	21,2	22,5	8,9	34,8
Алевролиты	12,4	22,5	3,2	3,1	6,7	9,2	8,1	56,9
Песчаники	18,3	31,6	4,3	3,1	10,5	13,5	9,1	41,2
Минеральный состав глинистой фракции								
Материнская порода	Каолинит	Гидрослюда	Монтмориллонит	Кварц	Гидроксиды железа	Полевой шпат		
Глинистые сланцы	6,1	55,3	37,5	1,0	—	—		
Алевролиты	17,5	81,4	1,1	—	—	—		
Песчаники	5,3	87,6	6,4	е. з.	0,5	е. з.		

Примечание. е. з. – единичные зерна; прочерк – не обнаружено.

Таблица 2. Гранулометрический состав частиц глинистых минералов коры выветривания, %

Table 2. Grain size of clay minerals from weathering crust, %

Материнская порода	Каолинит			Гидрослюда			Монтмориллонит		
	Средние	Мелкие	Дисперсные	Средние	Мелкие	Дисперсные	Средние	Мелкие	Дисперсные
Глинистые сланцы	—	42	58	—	7	93	—	40	60
Алевролиты	—	55	45	—	21	79	—	50	50
Песчаники	27	60	13	3	38	59	4	71	25

Примечание. Размер фракций крупности глинистых частиц, мкм: средние – 2-4, мелкие – 1-2, дисперсные – менее 1.

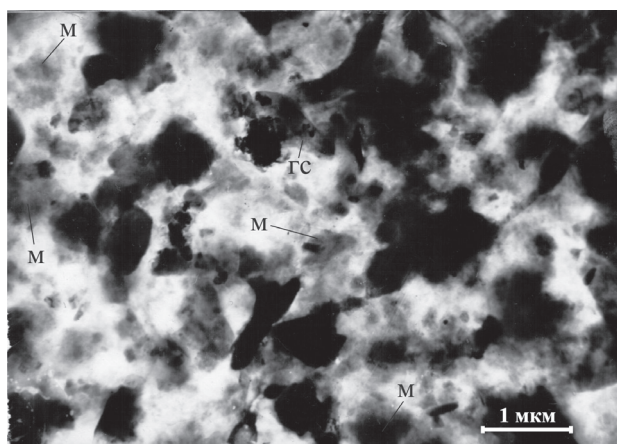


Рис. 3. Электронная микрофотография глинистой фракции коры выветривания по глинистым сланцам. Собранные в агрегаты хлопьевидные с расплывчатыми контурами и неравномерной толщиной, уменьшающейся к периферии, частицы монтмориллонита (м) и удлиненно-пластинчатые с четкими линиями ограничения различной плотности образования гидрослюда (гс). Проба P-11

Fig 3. Electronic photo of clay fraction in weathering crust after shale. Aggregated flocculent montmorillonite particles have indistinct limits and irregular thickness lessening towards the particle edges (м), and hydromica grains are elongated-plate and display distinct limits (гс). Sample P-11

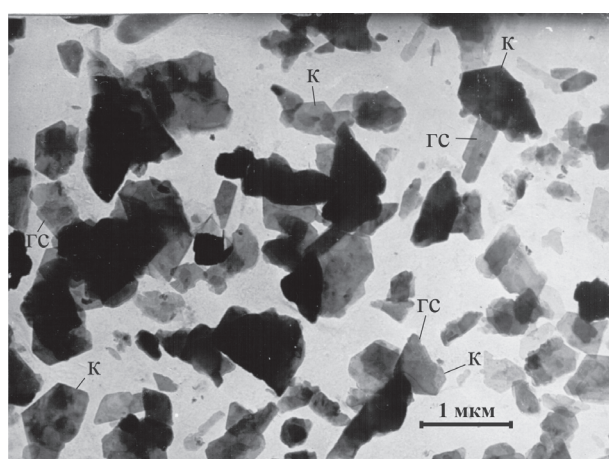


Рис. 4. Электронная микрофотография глинистой фракции коры выветривания по алевролитам. Удлиненно-пластинчатые частицы гидрослюда (гс), близкие к изометричным плотные (темные) и тонкие (серые) с четкими гранями шестиугольной формы кристаллы каолинита (к). Проба B-40

Fig. 4. Electronic photo of clay fraction in weathering crust after siltstone. Elongated-plate hydromica particles (гс) and almost equant thick (dark) and thin (gray) kaolinite crystals (к), which are distinct and hexagonal by shape. Sample B-40

Таблица 3. Морфологические разновидности частиц глинистых минералов коры выветривания, %  
Table 3. Grain morphology of clay minerals from weathering crust, %

По форме частиц										
Материнская порода	Каолинит				Гидрослюда				Монтмориллонит	
	изометричные	удлиненные	кристаллы		изометричные	удлиненные	кристаллы		изометричные	удлиненные
			изометричные	удлиненные			изометричные	удлиненные		
Глинистые сланцы	72	28	–	–	58	42	–	–	50	50
Алевриты	13	10	51	26	34	64	–	2	75	25
Песчаники	38	62	–	–	41	98	–	1	80	20

По контуру частиц						
Материнская порода	Каолинит		Гидрослюда		Монтмориллонит	
	угловатые	сглаженно-угловатые	угловатые	сглаженно-угловатые	угловатые	сглаженно-угловатые
Глинистые сланцы	–	100	34	66	12	88
Алевриты	100	–	58	42	50	50
Песчаники	–	100	39	61	2	98

По толщине частиц									
Материнская порода	Каолинит			Гидрослюда			Монтмориллонит		
	тонкие	утолщенные	неровные	тонкие	утолщенные	неровные	тонкие	утолщенные	неровные
Глинистые сланцы	–	100	–	25	44	31	–	–	100
Алевриты	74	26	–	40	47	13	–	100	–
Песчаники	–	100	–	20	56	24	–	2	98

четкими линиями ограничения, угловатыми контурами и значительной толщиной (см. табл. 2, 3). Среди изометричных частиц преобладают утолщенные разности с угловатыми краями. При переходе от дисперсных выделений гидрослюда к мелким увеличивается количество удлиненных разностей с более высокой долей частиц со сглаженными контурами.

Количество кристаллических выделений гидрослюда возрастает по сравнению с таковыми коры выветривания по глинистым сланцам. Они присутствуют только среди дисперсных частиц и представлены вытянутыми плохо и хорошо выраженными разностями с четкими линиями ограничения (см. рис. 4).

*Монтмориллонит* встречен в виде единичных мелких и дисперсных зерен (см. табл. 2). Его частицы имеют неправильную удлиненную хлопьевидную форму. Толщина частиц неравномерная и уменьшается от центра к периферии, края сглаженные. Отмечаются частицы с более четкими контурами, представляющие собой смешанослойные образования ряда гидрослюда – монтмориллонит.

*Каолинит* представлен частицами мелкой и дисперсной размерности (см. табл. 2). В преобладающем большинстве это изометричные и удлиненные правильной псевдогексагональной формы тонкие кристаллы с четкими гранями и углами между ними, близкими к 120° (см. рис. 4). Заметны двойники. Образования каолинита в виде изометричных и удлиненных пластин имеют угловатые очертания и значительную толщину (иногда это сростки каолинита с гидрослюдой).

#### СОСТАВ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ ПО ПЕСЧАНИКАМ

Кора выветривания, развивавшаяся по песчаникам, представлена красно-рыжими, охристо-желтыми, кирпично-красными суглинками с угловатыми обломками коренных пород преимущественно дресвяной размерности.

В гранулометрическом составе коры выветривания преобладают глинистые частицы при существенной роли зерен песчаной размерности (см. табл. 1). Песчаная и алевритовая фракции состоят в основном из гематитизированных и лимонитизированных, реже окварцованных, обломков пород. Дресва и щебень представлены гематитизированными и лимонитизированными обломками пород.

В составе тяжелой фракции преобладают неправильные зерна гематита. Иногда в значительном количестве присутствуют мелкие кристаллы циркона и их обломки. Незначительную часть шлихов составляют гематитизированные и лимонитизированные обломки пород, а также мелкие зерна турмалина и ильменита, представленные угловатыми обломками кристаллов (иногда встречаются зерна ильменита и турмалина средней и даже хорошей окатанности). В единичных зернах – магнетит, гранат, эпидот, амфиболы и пироксены.

Глинистая фракция по результатам рентгеноструктурного и термического анализов 16 проб сложена мусковитом, каолинитом, гидрослюдой, гематитом с незначительной примесью кварца и монтмориллонита. По данным электронной мик-

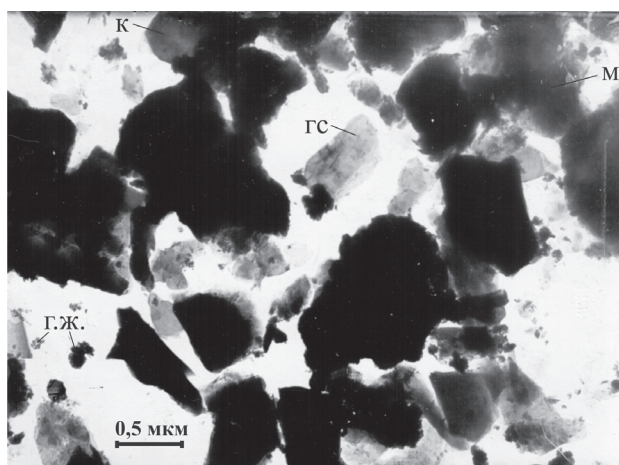


Рис. 5. Электронная микрофотография глинистой фракции коры выветривания по песчаникам. Удлиненно-пластинчатые различной толщины частицы гидрослюда (гс), плотные (темные) псевдогексагонального облика выделения каолинита (к), хлопьевидные с размытыми контурами образования монтмориллонита (м), точечные частицы гидроксидов железа (г. ж.). Проба С-21

Fig. 5. Electronic photo of clay fraction in weathering crust after shale. Elongated-platy hydromica grains (гс), which differ by their thickness, thick (dark) pseudo-hexagonal kaolinite crystals (к), flocculent indistinctly-shaped montmorillonite particles (м), and hydrous ferric oxide dots (г. ж.). Sample С-21

роскопии, в 9 исследованных пробах в ней преобладает гидрослюда при очень незначительной доле монтмориллонита и каолинита (см. табл. 1; рис. 5). По сравнению с корой выветривания по глинистым сланцам и алевролитам отмечается увеличение крупности выделений глинистых минералов при их морфологическом разнообразии (см. табл. 2, 3; рис. 6).

Образования гидрослюда наблюдаются преимущественно в виде дисперсных частиц удлиненной формы со сглаженными выступами (см. табл. 2, 3). Среди удлиненных частиц отмечается одинаковое соотношение угловатых и сглаженных пластинчатых выделений, которые в основном являются утолщенными. Среди изометричных разностей преобладают частицы со сглаженными краями, имеющие значительную толщину. От дисперсных выделений гидрослюда к мелким и средним (2–4 мкм) возрастает количество удлиненных разностей и образований со сглаженными контурами. Многие пластинки гидрослюда обломаны, иногда проявляется ступенчатость, неоднородность толщины и плотности частиц, связанная с выкалыванием и расщеплением пластинок по спайности. Кристаллы отмечаются среди дисперсных и мелких выделений и представлены удли-

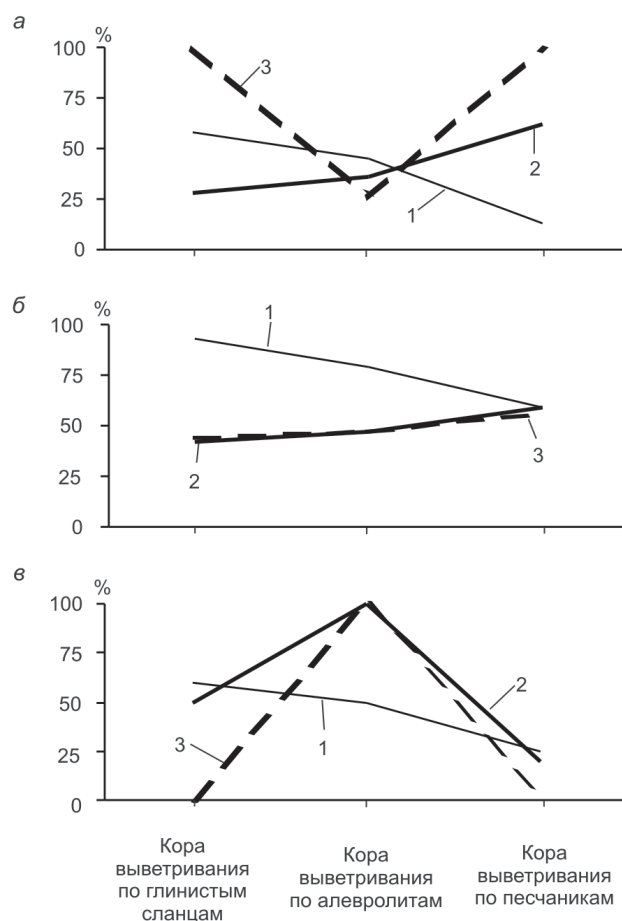


Рис. 6. Изменение морфометрических характеристик выделений каолинита (а), гидрослюда (б) и монтмориллонита (в) в корях выветривания, развивающихся по различным осадочным породам: 1 – дисперсные (менее 1 мкм); 2 – удлиненные; 3 – утолщенные зерна

Fig. 6. Morphometrical changes in kaolinite (а), hydromica (б) and montmorillonite (в) in weathering crusts forming over different sedimentary rocks: 1 – dispersal (less than 1 μm), 2 – elongated, and 3 – thickened grains

ненными плохо выраженными ( проявлены 1–2 грани) разностями.

Монтмориллонит был встречен в единичных пробах в виде образований изометричной формы неравномерной толщины. Края частиц сглажены, а сами частицы имеют хлопьевидный облик.

Каолинит представлен в основном мелкими удлиненными плотными сглаженными частицами с четкими линиями ограничения (см. табл. 2, 3). Реже это относительно изометричные зерна с округлыми очертаниями. Иногда отмечаются кристаллы со сравнительно четкими псевдогексагональными контурами, а порой – со слабо «разломаченными» краями (см. рис. 5).

### ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ В ВЕРТИКАЛЬНОМ СЕЧЕНИИ

Изменение состава коры выветривания в ее вертикальном сечении изучено по пробам, отобранным в стенке штрека эксплуатационной шахты № 167 (см. рис. 2,б). Общая мощность сохранившегося на данном участке разреза коры выветривания по переслаивающимся глинистым сланцам и песчаникам составляет около 2,5 м. Визуально он имеет однородное строение и сложен дресвяно-щебнисто-суглинистым материалом

гидрослюды и уменьшение количества выделений монтмориллонита и исчезновение кристобалита (?) (см. табл. 4).

В нижней части *гидрослюда* наблюдается в виде дисперсных удлиненных пластинок (табл. 5, 6). В большинстве случаев они имеют сглаженные контуры и значительную толщину. Среди угловатых частиц основная доля приходится на разности с неравномерной плотностью.

В верхней части основную массу выделений гидрослюды также составляют удлиненные образования, имеющие в большинстве случаев плотное строение и угловатые очертания.

Таблица 4. Гранулометрический и минеральный состав коры выветривания по сечению, %

Table 4. Grain size and mineral composition of weathering crust, by its cross-section, %

Часть сечения по вертикали	Дресва и щебень	Гранулометрический состав					Алевритовые частицы	Глинистые частицы
		Всего	Песчаные частицы					
			В том числе, мм					
			+1–2	+0,5–1	+0,25–0,5	+0,1–0,25		
Верхняя	16,8	37,9	3,5	3,0	13,6	17,8	11,0	34,3
Нижняя	24,3	37,1	1,8	1,7	15,1	18,5	11,0	27,6

Минеральный состав глинистой фракции				
Часть сечения по вертикали	Каолинит	Гидрослюда	Монтмориллонит	Кристобалит
Верхняя	6	84	10	–
Нижняя	4	44	29	23

желто-бурого цвета. Пробы отобраны в нижней части сечения коры выветривания на границе с коренными породами и в его верхней части на границе с перекрывающимися аллювиальными галечниками (см. рис. 2,б).

Результаты анализа гранулометрического состава коры выветривания по исследованному сечению указывают на увеличение количества глинистых частиц и уменьшение содержания щебня и дресвы в верхней его части. Количество песчаных и алевритовых частиц практически не отличается (табл. 4).

В составе легкой фракции от верхней части к нижней отмечается уменьшение количества гематитизированных и лимонитизированных обломков пород, а в тяжелой фракции – содержания ксеноморфных зерен гематита и лимонита.

Глинистая фракция в исследованном сечении коры выветривания, по данным рентгеноструктурного и термического анализов 6 проб, в нижней части разреза представлена каолинитом, мусковитом, гидрослюдой, монтмориллонитом, хлоритом, кварцем, гетитом, смешанослойными хлорит-монтмориллонитовыми образованиями, плагиоклазом. В верхней части – каолинитом, мусковитом, монтмориллонитом, гидрослюдой, гетитом. По результатам электронно-микроскопических исследований 4 проб в нижней части присутствуют гидрослюда (преобладает), монтмориллонит, кристобалит (?) и каолинит (рис. 7). Вверх по сечению отмечается увеличение содержания каолинита и

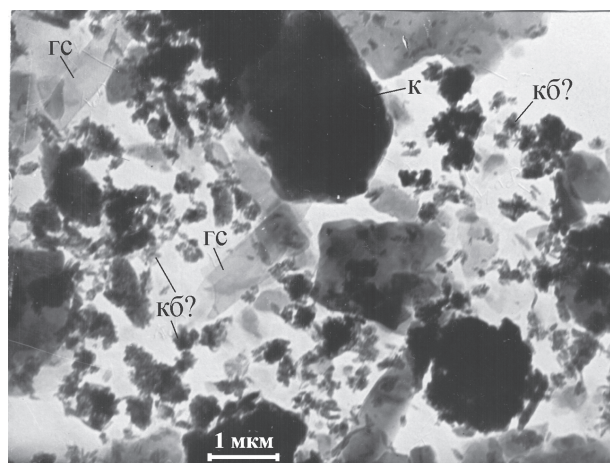


Рис. 7. Электронная микрофотография глинистой фракции из нижних частей коры выветривания по переслаивающимся песчаникам и глинистым сланцам. Удлиненно-пластинчатые образования гидрослюды (гс), плотные (темные) округлых и псевдогексагональных очертаний выделения каолинита (к), мелкие с четкими изрезанными контурами чешуйки предположительно кристобалита и их гроздьевидные скопления (кб?). Проба С-60

Fig. 7. Electronic photo of clay fraction from the lower portion of weathering crust after intercalating sandstones and shales. Elongated-platy hydromica particles (gc), thick (dark) rounded and pseudo-hexagonal kaolinite (k), and small individual cristobalite (?) flakes with well-indented edges and their cluster-shaped aggregates (kb?). Sample C-60



Таблица 5. Гранулометрический состав частиц глинистых минералов по сечению коры выветривания, %

Table 5. Grain size of clay minerals from weathering crust, by its cross-section, %

Часть сечения по вертикали	Каолинит			Гидрослюда			Монтмориллонит		
	Средние	Мелкие	Дисперсные	Средние	Мелкие	Дисперсные	Средние	Мелкие	Дисперсные
Верхняя	29	71	–	4	18	78	–	31	69
Нижняя	–	14	86	–	–	100	–	–	100

Примечание. Размер фракций крупности глинистых частиц, мкм: средние – 2–4, мелкие – 1–2, дисперсные – менее 1.

Таблица 6. Морфологические разновидности частиц глинистых минералов по сечению коры выветривания, %

Table 6. Grain morphology of clay minerals from weathering crust, by its cross-section, %

Часть сечения по вертикали	По форме частиц									
	Каолинит				Гидрослюда				Монтмориллонит	
	изометричные	удлиненные	кристаллы		изометричные	удлиненные	кристаллы		изометричные	удлиненные
изометричные			удлиненные	изометричные			удлиненные			
Верхняя	–	100	–	–	40	60	–	–	46	54
Нижняя	57	43	–	–	20	79	–	1	76	24

Часть сечения по вертикали	По контуру частиц									
	Каолинит			Гидрослюда			Монтмориллонит			
		угловатые	сглаженно-угловатые			угловатые	сглаженно-угловатые	сглаженно-угловатые		сглаженные
Верхняя	–		100	72		28	–		100	
Нижняя	–		100	17		83	39		61	

Часть сечения по вертикали	По толщине частиц									
	Каолинит			Гидрослюда			Монтмориллонит			
		тонкие	утолщенные	неровные	тонкие	утолщенные	неровные	тонкие	утолщенные	неровные
Верхняя	–		100	–	12	63	25	–		100
Нижняя	–		100	–	37	46	17	–		100

Среди изометричных пластин преобладают утолщенные угловатые разности. По сравнению с нижней частью здесь присутствуют выделения мелкой и средней размерности изометричного облика преимущественно со сглаженными контурами.

Образования гидрослюда с кристаллическими гранями встречены только в нижней части сечения среди дисперсных зерен. Представлены они вытянутыми разностями различной толщины.

В целом выявленные морфологические особенности частиц гидрослюда по сечению коры выветривания указывают на то, что от нижних его частей к верхним возрастает крупность и плотность ее выделений.

Каолинит в нижней части представлен преимущественно дисперсными изометричными частицами со сглаженными очертаниями. От нижних частей к верхним наряду с увеличением содержания каолинита отмечается укрупнение его выделений. В верхней части среди образований каолинита преобладают удлиненные мелкие и средние сглаженные зерна.

Размер выделений монтмориллонита снизу вверх по сечению также возрастает. В нижней части он представлен дисперсными преимущественно изометричными сглаженными и угловатыми образованиями. В верхней – дисперсными и мелкими удлиненными и изометричными выделениями со сглаженными контурами.

## ПРОИСХОЖДЕНИЕ ГЛИНИСТЫХ МИНЕРАЛОВ

По происхождению глинистые минералы в корках выветривания подразделяют на унаследованные (остаточные) – перешедшие в материал коры выветривания из первичных пород, трансформированные (трансформационные) – возникшие в результате кристаллохимических преобразований в процессе выветривания силикатных минералов и новообразованные (аутигенные, синтезированные, сформировавшиеся синтетическим путем) – раскристаллизованные из растворов (Милло, 1968; Фролов, 1993; и др.). В зависимости от представлений о ведущей роли в образовании глинистых минералов процесса трансформирования или раскристаллизации\* различные исследователи развивают соответственно стадийную (В. П. Петров, И. П. Герасимов, И. И. Гинзбург и др.) и синтетическую (И. Д. Седлецкий, Б. Б. Полюнов, Ж. Милло и др.) концепции (модели) формирования кор выветривания. Часть геологов (К. К. Никитин, И. В. Витовская, Ю. Ю. Бугельский и др.) рассматривают кору выветривания как метасоматическое образование и считают, что в ней происходит псевдоморфное замещение исходных минералов новообразованными.

\* После работ Ж. Педро (1971 и др.) этот процесс стали называть новосинтезом.

Выявленные типоморфные свойства глинистых минералов в палеогеновой коре выветривания на коренном основании Валькарайской впадины позволяют предполагать, что ее формирование осуществлялось главным образом по стадийной модели.

Высокая степень метаморфических преобразований на исследованных участках исходных нижнекаменноугольных осадочных пород (до кварц-мусковит-серицитовых сланцев и филлитов) указывает на отсутствие в них глинистых минералов, накопившихся в данных осадках в раннекаменноугольное время. Они полностью преобразованы в хлорит, серицит и мусковит. Это предположение подтверждается отсутствием в суспензиях, полученных из порошка исходных пород в процессе его ультразвуковой диспергации, частиц глинистых минералов.

Следовательно, все глинистые минералы в исследованных корах образовались непосредственно при формировании коры выветривания. Для определения их происхождения, очевидно, можно руководствоваться данными, полученными при изучении глинистой составляющей в отложениях осадочных бассейнов и древних кор выветривания. Согласно этим данным, среди выделений каолинита наиболее высокую степень кристалличности имеют зерна аутигенного происхождения (Витовская, 1983; Коссовская и др., 1964; Минералогическая..., 1985; Осипов и др., 1989; Nikitina et al., 1978). Удлиненные хорошо окристаллизованные разности гидрослюда также, вероятно всего, имеют аутигенный генезис (Котельников, 1962; Рекшинская, 1966). Отсюда, в связи с наличием в исследованных корах выветривания правильных псевдогексагональных с четкими гранями пластинок каолинита и вытянутых кристаллов гидрослюда, можно предположить, что некоторая (очень незначительная) часть выделений глинистых минералов была раскристаллизована из растворов, циркулировавших в корах выветривания. Основная же их масса, исходя из приведенных выше морфологических характеристик глинистых частиц, возникла в результате кристаллохимических преобразований исходных слоистых силикатов.

При объяснении минерального состава глинистой фракции обычно опираются на представления о том, что различные глинистые минералы образуются в определенной физико-химической среде (в определенной климатической обстановке (Зхус, 1966; Оллиер, 1987). Исследованные типы кор выветривания располагаются в непосредственной близости друг от друга и перекрываются отложениями одного возраста. Исходные породы, по которым они развивались, имеют примерно одинаковую степень насыщенности сульфидами. Все это, а также геохимические коэффициенты и модули (Соцкая, Литвиненко, 2006) ука-

зывают на то, что рассматриваемые типы кор выветривания формировались в сходных физико-химических условиях. Отмеченные же для них различия в минеральном составе глинистой фракции, очевидно, обусловлены различием минерального состава преобразуемых слоистых силикатов в материнских породах.

На основе установленных схем превращений слоистых силикатов в глинистые минералы (Фролов, 1992) можно предположить, что в процессе формирования изученных кор выветривания хлорит преобразовывался преимущественно в монтмориллонит, а серицит и мусковит – в гидрослюда и каолинит. Это предположение подтверждается широким распространением в коре выветривания по глинистым сланцам (характеризующимся повышенным содержанием хлорита) монтмориллонита, изометричным обликом его выделений, преобладанием среди частиц каолинита удлиненных разностей (монтмориллонит унаследовал изометричный облик зерен хлорита, а каолинит – вытянутых лейст серицита).

На последовательное образование глинистых минералов указывает наличие в изученных пробах выделений, представляющих переходные формы между гидрослюдой и монтмориллонитом, сростков частиц гидрослюда и каолинита (незавершенная каолинитизация гидрослюда), а по данным рентгеноструктурного анализа – зерен хлорит-монтмориллонитового состава\*. Расщепленный (расслоенный) характер строения некоторых кристаллов каолинита и гидрослюда, по представлениям В. Д. Келлера (Keller, 1982), также свидетельствует об их образовании в ходе трансформирования исходных слоистых силикатов.

Таким образом, глинистые минералы в исследованной коре выветривания в основании Валькарайской впадины в большинстве своем являются продуктами трансформирования ранее существовавших силикатов со слоистой структурой: мусковита, серицита и хлорита. Основные преобразования породообразующих минералов происходили по следующей схеме:

серицит (мусковит) ⊕ гидрослюда ⊕ каолинит;  
хлорит ⊕ монтмориллонит\*\*.

Присутствие хорошо ограненных кристаллов каолинита, наличие их двойниковых сростаний, по представлениям И. В. Витовской, А. П. Никитиной (1983) и В. Д. Келлера (Keller, 1982), ука-

\* По заключению Т. В. Миловой, выполнявшей рентгеноструктурный анализ, они представляют собой смешанослойные хлорит-монтмориллонитовые образования. Возможно, это сростки реликтовой хлоритовой фазы в центральных частях зерен с монтмориллонитовыми образованиями по их периферии, возникшими в ходе дегградации хлорита.

\*\* Очевидно, в какой-то мере имел место дальнейший переход монтмориллонита в каолинит.

зывают на длительный характер развития процессов выветривания в исследованных корях.

Более мелкий гранулометрический состав и более утолщенный облик выделений глинистых минералов в коре выветривания по глинистым сланцам объясняется более высоким содержанием в глинистых сланцах железа и магния (по данным рентгенофлуоресцентного анализа (выполнен в 1981 г. в СВКНИИ ДВО РАН на спектрометре СРМ-25, исполнители В. Я. Борходоев, В. И. Мануилова) концентрации  $Fe_2O_3$  общ. и  $MgO$  в глинистых сланцах составляют соответственно 8,4 и 3,3, в алевролитах – 6,7 и 2,8, в песчаниках – 5,8 и 2,0 мас.%). Возрастание в растворах, циркулирующих в коре выветривания, катионов железа и магния отрицательно влияет на рост кристаллов глинистых минералов, в частности каолинита (в корях выветривания по кислым породам отмечаются его крупнокристаллические утонченные разности, а в продуктах разрушения основных и ультраосновных пород – мелкокристаллические утолщенные (Котельников и др., 2006).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гипергенные преобразования в схожих палеогеографических и ландшафтно-климатических условиях пород коренного основания Валькарайской впадины в палеогеновое время сопровождались формированием на них коры химического выветривания различного профиля. При разрушении глинистых сланцев происходило образование зеленовато-синих и желто-зеленых супесчаных кор выветривания монтмориллонит-гидрослюдистого состава, с преобладанием среди выделений гидрослюды и монтмориллонита их дисперсных изометричных разностей со сглаженными выступами. На песчаниках и алевролитах развивалась суглинистая кора выветривания, окрашенная оксидами железа и марганца в красные и синие тона, гидрослюдистого или каолинит-гидрослюдистого состава. Она характеризуется более крупными и более утонченными выделениями глинистых частиц, преобладанием среди них удлиненных разностей и большей долей зерен угловатого облика. Среди образований каолинита здесь отмечается повышенное содержание частиц с кристаллическими гранями и в виде псевдогексагональных пластинок.

Вверх по сечению коры выветривания отмечается уменьшение содержания монтмориллонита, возрастание роли каолинита и укрупнение образований глинистых минералов. Тем самым для кор выветривания получено подтверждение представлений (Котельников, Конюхов, 1986) о существовании взаимосвязи минерального и гранулометрического состава глинистой фракции. При повышенном количестве в глинистой фракции выделений монтмориллонита она характеризуется пре-

обладанием в ней дисперсных зерен глинистых минералов, тогда как присутствие каолинита определяет мелкую или среднюю размерность их частиц.

Формирование коры выветривания имело длительный характер и осуществлялось комбинированно – преимущественно по стадийной модели, при подчиненной роли процессов аутигенного минералообразования. Ее нижние сохранившиеся части характеризуются гидрослюдистым профилем. Глинистые минералы в подавляющей своей массе являются продуктами трансформирования исходных слоистых силикатов. Основные преобразования порообразующих минералов происходили по схеме: серицит (мусковит)  $\oplus$  гидрослюда  $\oplus$  каолинит; хлорит  $\oplus$  монтмориллонит.

Глубина развития процессов выветривания осадочных пород наиболее определенно отражается в типоморфных свойствах частиц каолинита. Чем выше степень каолинизации исходных пород, тем выше уровень кристаллической огранки выделений каолинита. На их морфометрические особенности, так же как и при разрушении интрузивных пород, влияет уровень концентрации в системе минералообразования катионов магния и железа. Повышение содержания этих катионов обуславливает развитие более мелких и более утолщенных выделений каолинита.

### ЛИТЕРАТУРА

- Витовская И. В.* Минералогия коры выветривания // Условия формирования кор выветривания и их минеральных месторождений. – М. : Наука, 1983. – С. 80–88.
- Витовская И. В., Никитина А. П.* Типоморфизм минералов как индикатор условий формирования никеленосных и бокситоносных кор выветривания // Кора выветривания. – 1983. – Вып. 19. – С. 41–43.
- Геология россыпей золота Северо-Востока СССР* / гл. ред. О. Х. Цопанов. – Магадан : Кн. изд-во, 1979. – 200 с.
- Зхус И. Д.* Глинистые минералы и их палеогеографическое значение. – М. : Наука, 1966. – 279 с.
- Коссовская А. Г., Шутов В. Д., Александрова В. А.* Зависимость минерального состава глин угленосных формаций от условий образования // Литология и полезные ископаемые. – 1964. – № 2. – С. 20–38.
- Котельников Д. Д.* О связи морфологических особенностей глинистых минералов с условиями их образования в осадочных породах // ДАН СССР. – 1962. – Т. 146, № 4. – С. 905–907.
- Котельников Д. Д., Конюхов А. И.* Глинистые минералы осадочных пород. – М. : Недра, 1986. – 247 с.
- Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н., Кузьмин В. А.* Морфолого-генетические разновидности каолинита в корях выветривания и осадочном чехле земной коры. Статья 1. Механизм образования каолинита в корях выветривания различных петрохимических типов пород // Геология и разведка. – 2006. – № 5. – С. 19–25.
- Милло Ж.* Геология глин. – М. : Недра, 1968. – 355 с.
- Минералогическая энциклопедия* / под ред. К. Фрея; пер. с англ. – Л. : Недра, 1985. – 512 с.

*Оллиер К.* Выветривание : пер. с англ. – М. : Недра, 1987. – 348 с.

*Осинов В. И., Соколов В. Н., Румянцева Н. А.* Микро-структура глинистых пород. – М. : Недра, 1989. – 211 с.

*Педро Ж.* Экспериментальные исследования геохимического выветривания кристаллических пород : пер. с франц. – М. : Мир, 1971. – 215 с.

*Рекишинская Л. Г.* Атлас электронных микрофотографий глинистых минералов и их природных ассоциаций в осадочных породах. – М. : Недра, 1966. – 230 с.

*Соцкая О. Т., Литвиненко И. С.* Литогенетические условия формирования палеогеновой коры выветривания на коренном основании Валькарайской низменности // Материалы Второй Всероссийской школы по литохимии. – Сыктывкар : Геопринт, 2006. – С. 90–92.

*Сухорослов В. Л.* Кайнозойские отложения Валькарайской низменности // Геология и геофизика. – 1978. – № 11. – С. 82–90.

*Фролов В. Т.* Литология. – М. : Изд-во МГУ; Кн. 1. – 1992. – 336 с.; Кн. 2. – 1993. – 432 с.

*Keller W. D.* Kaolin – a most diverse rock in genesis, texture, physical properties and uses // Bull. Geol. Soc. Am. – 1982. Vol. 943. – P. 27–36.

*Nikitina A. P., Berchin S. I., Zvyagin B. B.* Einige typomorphe Besonderheiten des Kaolinites in bauxit-führenden Restformationen des europäischen Teils der UdSSR // Schriftenreihe für geologische Wissenschaften / V Intern. Symp. «Genese des Kaolins». – 1978. – H. 2. – S. 209–219.

*Поступила в редакцию 05.03.2008 г.*

## TYPOMORPHISM OF CLAY MINERALS FROM WEATHERING CRUST OF THE VALKARAI DEPRESSION BOTTOM (Chukotka)

*O. T. Sotskaya, I. S. Litvinenko*

According to results of electron microscope studies of weathering crust of the Paleogene from the Valkarai Depression basement, its clay minerals differ by their mineralogy and typomorphic character depending on the composition of their source rocks. The processes of shale destruction were associated with formation of blue-greenish and yellow-green sandy-loamy weathering crusts composed of montmorillonite and hydromica minerals dominated by their dispersal equant varieties (less than 1 μm) with flattened edges. Loamy weathering crusts were forming over sandstones and siltstones; these crusts consist of hydromica and kaolinite-hydromica minerals and are red and blue due to iron and manganese oxides. This weathering crust type is characterized by coarse and fine clay particles dominated by elongated-shaped varieties and frequent angular grains. Kaolinite minerals are characterized by frequent crystal-faced grains and pseudo-hexagonal plates. As it was established, the weathering crust was forming by stages and in association with subordinate authigenous mineralization processes. Clay minerals are basically the products of the following alteration of layered silicates, which were their source rocks: sericite (muscovite) ⊕ hydromica ⊕ kaolinite; chlorite ⊕ montmorillonite.

**Key words:** weathering crust, clay minerals, genesis.