

УДК 551.24; 118.1(5)(4)

DOI: 10.24930/1681-9004-2019-19-1-5-29

Литогенез на пенеппенизированной платформенной суши Казахстана и Сибири в пограничную мел-палеогеновую эпоху

© 2018 г. Ю. Г. Цеховский¹, Б. А. Богатырев², В. В. Жуков²¹Геологический институт РАН,

109017, Москва, Пыжевский пер., 7, e-mail: tsekhovsky@mail.ru

²Институт рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии,

115017, Москва, Старомонетный пер., 35, e-mail: zvv@igem.ru

Поступила в редакцию 27.07.2017 г., принята к печати 26.10.2017 г.

Цель исследований. На примере пенеппенизированной платформенной суши пограничной мел-палеогеновой эпохи Казахстана и Сибири рассматриваются строение, состав и условия образования пока еще слабо изученной формации коры выветривания, содержащей многие ценные полезные ископаемые: бокситы, железные руды, огнеупорные глины и др. **Материалы и методы.** В процессе работы привлекались результаты многолетних исследований авторов, а также все доступные новые данные по формации коры выветривания на территории Казахстана и Сибири. В работе использовались методы литолого-фациального и формационного анализов, а также раздельное изучение элювиальных образований: кор выветривания в областях денудации и внутриформационных горизонтов выветривания в областях аккумуляции. **Результаты.** В пределах изученной территории формация коры выветривания представлена двумя толщами: кремнисто-каолиновой, слагающей эрозионно-тектонические впадины, и каолинит-бокситовой, залегающей в карстовых депрессиях. Подробно рассмотрены строение, состав и условия образования обеих толщ и детально охарактеризованы все звенья процессов формирования данных парагенезов: от подготовки материала в корях выветривания областей денудации до его осаждения, а также постседиментационные преобразования (преимущественно с участием субаэрального диагенеза) во впадинах. **Выводы.** В статье впервые детально охарактеризованы строение, состав и условия образования древней формации коры выветривания при жарком гумидном климате на пенеппенизированной суши. Доказано, что все звенья ее образования (от подготовки материала до аккумуляции во впадинах) отличались от традиционно принимаемых, характерных для современной орогенной эпохи. С учетом этого вывода следует расширить представления о формах и характере проявления древних процессов литогенеза.

Ключевые слова: литогенез, пенеппен, пограничная мел-палеогеновая эпоха, суша, районы с субтропическим гумидным палеоклиматом, Северный Казахстан, Сибирь

Lithogenesis on peneplaned continent platform of Kazakhstan and Siberia during the Cretaceous-Paleogene boundary epoch

Yurii G. Tsekhovskii¹, Boris A. Bogatyrev², Vladimir V. Zhukov²¹Geological Institute of RAS, 7 Pyzhevsky lane, Moscow 109017, Russia, e-mail: tsekhovsky@mail.ru²Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineral and Geochemistry RAS, 35 Staromonetny lane, Moscow 115017, Russia, e-mail: zvv@igem.ru

Received 27.07.2017, accepted 26.10.2017 г.

Research subject. The inner structure, composition, and genesis of the poorly studied formation of weathering crusts are studied with reference to peneplaned platform territories in Kazakhstan and Siberia during the Cretaceous-Paleogene boundary epoch. This formation hosts many valuable minerals, such as bauxite, iron ores, refractory clays, etc., thereby attracting much research attention. **Materials and methods.** The results were obtained following a series of long-term studies and a review of available data recently obtained on the weathering crust formation in the territories of Kazakhstan and Siberia. The methods of lithological facies and formation analysis were used, along with the separate studies of the eluvial material – weathering crusts in erosion areas and intra-formation weathering horizons in accumulation areas. **Results.** The weathering crust formation in the study area is shown to comprise two kinds of rock mass: siliceous-kaolinite ones forming erosion-tectonic depressions and kaolinite-bauxite ones forming karst depressions. The inner structure, composition, and genesis of both rock mass units are studied in detail, with all their sedimentation stages being analyzed. The sedimentation process is traced from the preparation of the material in weathering crusts at erosion areas to the deposition of this material

Для цитирования: Цеховский Ю.Г., Богатырев Б.А., Жуков В.В. (2019) Литогенез на пенеппенизированной платформенной суши Казахстана и Сибири в пограничную мел-палеогеновую эпоху. *Литосфера*, **19**(1), 5-29. DOI: 10.24930/1681-9004-2019-19-1-5-29

For citation: Tsekhovskii Y.G., Bogatyrev B.A., Zhukov V.V. (2019) Lithogenesis on peneplaned continent platform of Kazakhstan and Siberia during the Cretaceous-Paleogene boundary epoch. *Litosfera*, **19**(1), 5-29. DOI: 10.24930/1681-9004-2019-19-1-5-29

and its post-sedimentation transformations (mostly with the involvement of subaerial diagenesis) in depressions. Detailed information is presented on subaerial diagenesis, which deserves further studies. *Conclusions.* This publication is the first to present detailed information on the inner structure, composition and genesis of the ancient formation of weathering crusts produced in hot humid climate on peneplained land territories. It is confirmed that the processes underpinning this formation – starting with the preparation of the material and ending with its accumulation in depressions – were different from those typical of modern orogenic environments. This conclusion extends the current understanding of the forms and nature of ancient lithogenetic processes.

Keywords: *lithogenesis, peneplain, boundary Cretaceous-Paleogene epoch, land, areas with subtropical humid paleoclimate, Northern Kazakhstan, Siberia*

Acknowledgments

The authors are grateful to Yu.O. Gavrilov for valuable counsels and professional advice.

The work was performed on the state budget theme of the Federal State Unitary Enterprise GIN RAS No. 0135-2014-0067.

При разработке теории литогенеза отмечалось существенное изменение процессов осадконакопления и литификации осадков для ряда эпох геологической истории Земли [Страхов, 1963]. Причиной этого являлись изменения климата, состава атмосферы, интенсивности вулканизма и ряд других факторов. К их числу, по мнению авторов настоящей статьи, следует отнести и выявленное своеобразие процессов континентального литогенеза в эпохи пенеппенизации рельефа. Характеристике пенеппленов (поверхностей выравнивания) и условий их образования посвящены публикации многих геологов и геоморфологов, считающих их важными индикаторами тектонического режима. При этом большинство авторов возникновения данного рельефа связывают с ослаблением интенсивности тектонических движений в эпохи тектонического покоя.

Однако в отдельных публикациях [Никонова, Худяков, 1982; Никонова, 1987; Милановский, 1995; Цеховский, 2015б] отмечается, что при формировании пенеппленов стабилизировались лишь вертикальные тектонические движения, но при этом усиливались процессы растяжения земной коры. Они способствовали не только выравниванию суши, но и активизировали рифтообразование, базальтовый вулканизм и гидротермальную деятельность в тектонически подвижных участках континентов. Их предложено именовать эпохами деструктивного (экспансионного) тектогенеза и противопоставлять эпохам конструктивного (контракционного) тектогенеза, когда господствовали обстановки сжатия земной коры. Для последних характерно интенсивное горообразование, появление складчато-надвиговых деформаций, а также гранитообразование и широкое развитие продуктов кислого вулканизма на подвижных окраинах континентов.

В настоящее время продолжается одна из орогенных эпох конструктивного тектогенеза. Процессы ее осадконакопления с привлечением метода актуализма хорошо изучены, и справедливо их распространение на древние аналоги. Значительно ху-

же обстоит дело с познанием закономерностей литогенеза древних эпох деструктивного тектогенеза с ландшафтами пенепплена. Обычно отмечается, что в условиях выравнивания рельефа происходило формирование мощных площадных каолиновых или латеритных кор выветривания и накапливались зрелые по составу продукты их перемыва – кварцево-каолиновые или каолинит-бокситовые толщи, выделяемые вслед за В.П. Казариновым [1958, 1973] в составе формации коры выветривания.

Начатое их детальное изучение (на примере пограничной мел-палеогеновой эпохи ряда платформенных районов Центральной Евразии) свидетельствует о сложных и многообразных процессах литогенеза в эту эпоху, резко отличных от современных [Цеховский, 1973, 1987; Ерофеев, Цеховский, 1983]. Важные данные о минералообразующих процессах в формации коры выветривания ряда регионов рассматриваемой территории содержатся в публикациях многих геологов.

В настоящей статье проведен анализ и обобщение накопленных материалов в целях рассмотрения всех звеньев цепи литогенеза (подготовка материала в областях его транспортировки и накопления в областях аккумуляции) в пограничную мел-палеогеновую эпоху выравнивания с субтропическим гумидным палеоклиматом на Севере Казахстана и в Южной Сибири. Она датируется в диапазоне времени от конца кампана или начала маастрихта до середины эоцена. Для краткости она именуется пограничной мел-палеогеновой.

ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА В КОНЦЕ МЕЛА И НАЧАЛЕ ПАЛЕОГЕНА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЕВРАЗИИ

Согласно палеогеографической схеме (рис. 1), на рубеже мела и палеогена пенеппенизированная суша в пределах рассматриваемой территории была представлена возвышенными и низменными равнинами, которые были развиты в пределах Ка-

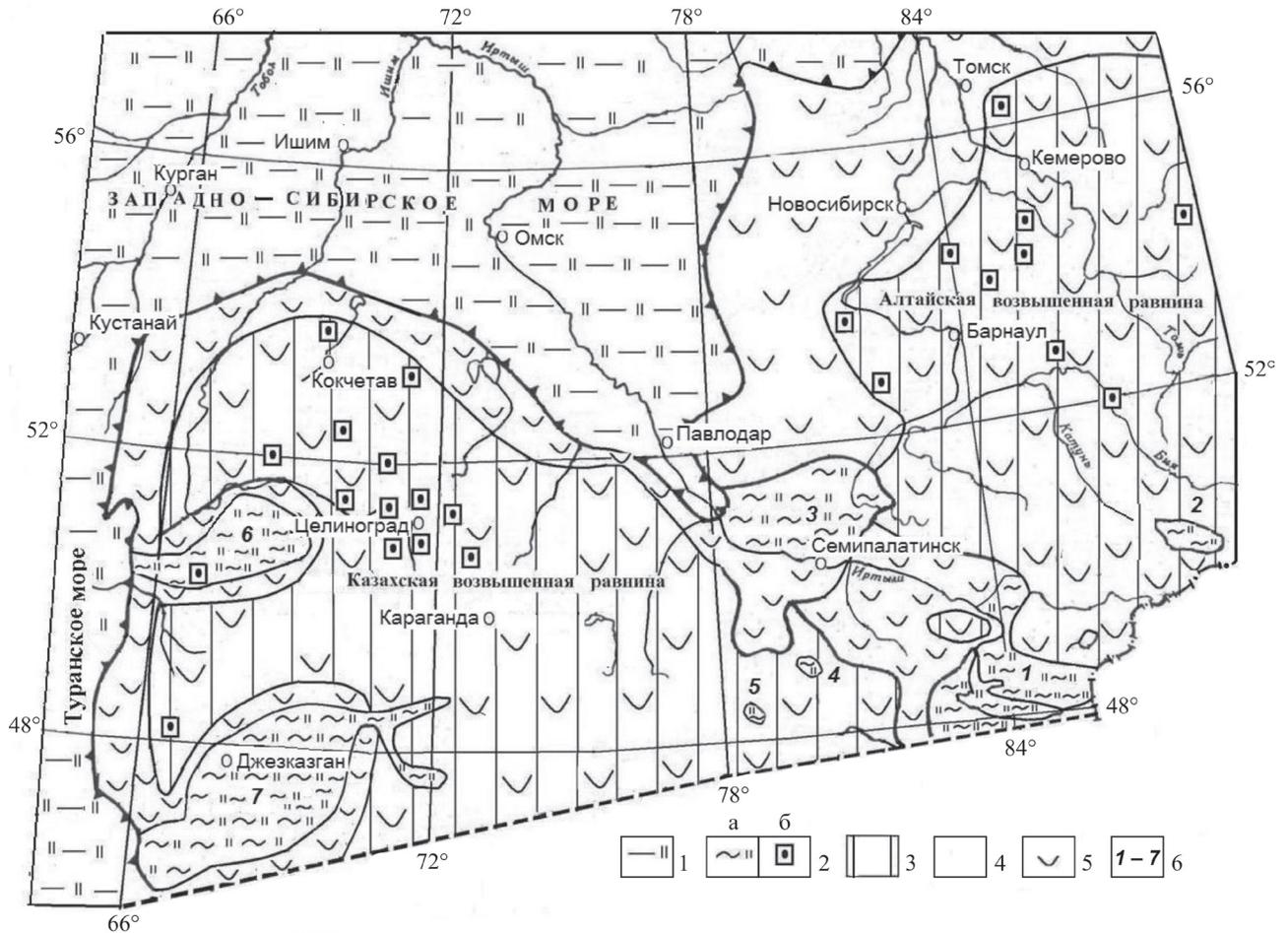


Рис. 1. Палеогеографическая схема северной части Казахстана и прилегающих районов Южной Сибири в пограничную мел-палеогеновую эпоху, по [Цеховский, 2015а, б].

1 – морская глауконитово-кремнистая формация; 2 – формация коры выветривания (а – кремнисто-каолиновая толща в эрозионно-тектонических впадинах, б – бокситоносная толща в карстовых воронках); 3 – пенепленизированная возвышенная равнина; 4 – пенепленизированная низменная равнина; 5 – площадная кварц-каолиновая кора выветривания; 6 – номера эрозионно-тектонических депрессий: 1 – Зайсанская, 2 – Чуйская, 3 – Семипалатинская, 4 – Баканаская, 5 – Причингизская, 6 – Тургайская, 7 – Сарысуйская.

Fig. 1. Schematic paleogeographic map of northern Kazakhstan and adjacent areas of southern Siberia during the Cretaceous-Paleogene boundary epoch, by [Tsekhovskii, 2015a, б].

1 – marine glauconite-silicic formation; 2 – formation of weathering crust (a – silicic-kaolinite rocks in erosion-tectonic depressions, б – bauxite in karst craters); 3 – peneplained highland plain; 4 – peneplained lowland plain; 5 – areal quartz-kaoline weathering crust; 6 – the numbers of erosion-tectonic depressions: 1 – Zaisan, 2 – Chu, 3 – Semipalatinsk, 4 – Bakanskaya, 5 – Prichingizskaya, 6 – Turgay, 7 – Sarsu.

захского щита, на месте зарождающегося Алтай-Саянского эпиплатформенного орогена, а также в прилегающих районах Сибирской платформы. С северо-запада и запада эта суша омывалась Западно-Сибирским и Туранским морями. В пользу существования на характеризуемой территории гумидного субтропического климата свидетельствуют многочисленные находки в породах формации флоры и определения спорово-пыльцевых комплексов, а также литологические индикаторы (латеритно-каолиновые коры выветривания и бок-

ситы), образующиеся при жарком влажном климате и развитые на всей рассматриваемой территории [Цеховский, 1973, 1987; Ерофеев, Цеховский, 1983]. Установлено два типа областей аккумуляции осадков, различающихся строением и составом накопившихся отложений: 1) эрозионно-тектонические впадины (с каолиновыми корами выветривания и кремнисто-каолиновыми осадочными толщами); 2) области карстообразования с латеритным элювием и бокситоносными осадочными толщами, заполняющими карстовые воронки.

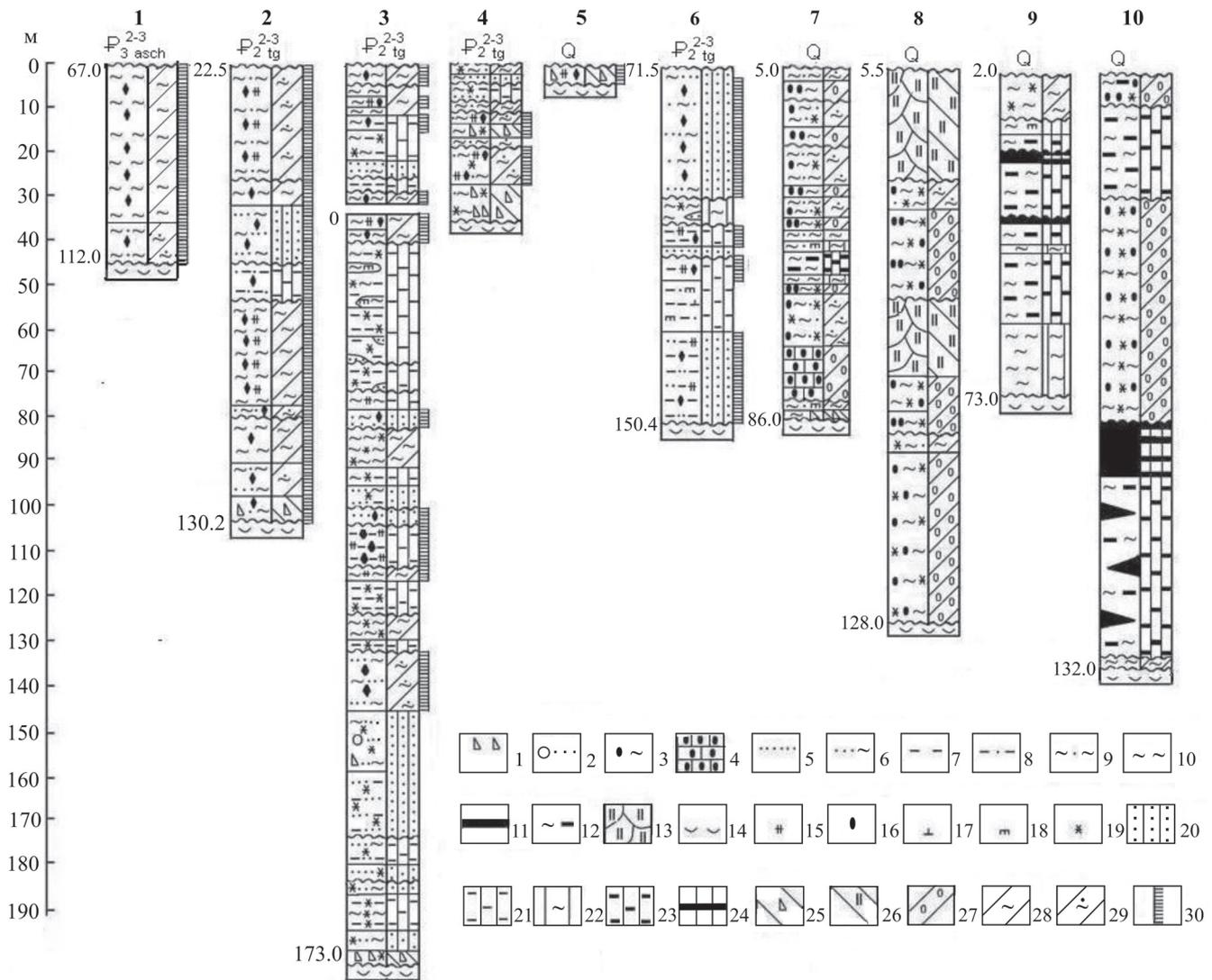


Рис. 2. Литолого-фациальные колонки формации коры выветривания пограничной мел-палеогеновой эпохи пеплензации рельефа на севере Казахстана и в прилегающих районах Сибири, по [Ерофеев, Цеховский, 1983].

1–6 – места расположения разрезов кремнисто-каолиновой толщи. *Северозайсанская свита в Зайсанской впадине:* 1 – скв. 15, низовье р. Буконь; 2 – разрез у сопки Чакельмес; 3 – разрез у сопки Киин-Кериш и пробуренная здесь же скв. 259. *Карачумская свита в Чуйской впадине Горного Алтая:* 4 – разрез на левом берегу р. Кызыл-Чин. *Северозайсанская свита в Причингизье:* 5 – разрез у сопки Уш-Кызыл в верховьях р. Баканас. *Северозайсанская свита в Семипалатинской впадине:* 6 – скв. 52 на правом берегу р. Иртыш у пос. Известковый. 7–10 – разрезы бокситоносной толщи (аркалыкской свиты) в Центральном Казахстане. *Красноцветные отложения:* 7 – скв. 1202, месторождение Кайнарлы; 8 – скв. 1170, месторождение Кайнарлы. *Угленосно-бокситоносные отложения:* 9 – скв. 1197, месторождение Кайнарлы; 10 – скв. 1072, месторождение Белоярковское.

1–14 – *породы:* 1 – щебни силикатных пород в кремнисто-каолиновой толще или латеритные обломки в бокситоносной толще, 2 – песчано-галечные отложения, 3 – переслаивание полурыхлых бобовых бокситов и глин, 4 – каменные бобовые бокситы, 5 – пески, 6 – глинистые пески, 7 – алевриты, 8 – алевриты с линзами и прослоями песков, 9 – песчаные глины, 10 – глины, 11 – бурые угли, 12 – углистые глины, 13 – бокситово-глинистые породы (обвалльно-оползневые и солифлюкционные), 14 – каолиновые коры выветривания. 15–17 – *аутигенные минералы:* 15 – выделения опала или халцедона (окремненные глины, кремнистый цемент в песчаниках); 16 – вертикально ориентированные гетит-гематитовые пятна, прожилки и конкреции; 17 – конкреции сидерита; 18 – включения обугленного растительного детрита; 19 – красноцветная окраска пород. 20–29 – *фации:* 20 – песчаных осадков русел равнинных рек; 21 – тонкослоистых алевритистых пойменных осадков; 22 – глинистых осадков пойменных озер; 23 – углисто-глинистых осадков заболоченных карстовых озер; 24 – углстых осадков торфяных болот в карстовых депрессиях; 25 – дресвяно-щебнистых осадков делювия; 26 – бокситовых и глинистых обвалльно-оползневых и солифлюкционных осадков в карстовых воронках; 27 – бобовых бокситовых и глинистых осадков карстового пролювия; 28 – глинистых осадков равнинного пролювия плоскостного смыва; 29 – глинистых песчаных осадков с линзами и маломощными прослойками песков равнинного пролювия плоскостного смыва. 30 – интервалы развития пород, интенсивно преобразованных процессами постседиментационного выветривания. Толщи, перекрывающие формацию коры выветривания: $P_2^{2-3}_{tg}$ – турангинская свита, $P_3^{2-3}_{asch}$ – ашутасская свита, Q – четвертичные отложения.

Fig. 2. Lithological-facies columns of the weathering-crust formation produced during the Cretaceous-Paleogene boundary epoch of peneplainization in northern Kazakhstan and adjacent areas of southern Siberia, by [Erofeev, Tsekhovskii, 1983].

1–6 – geologic sections of the siliceous-kaolinite unit. *Northern Zaisan Formation in the Zaisan depression*: **1** – Hole 15, lower reaches of the Bukon River; **2** – geologic section near Mount Chakelmes; **3** – geologic sections near Mounts Kiin-Kerich and Hole 259. *Karachum Formation in the Chuya depression, Gornyi Altai Range*: **4** – geologic section in the left-hand bank of the Kyzyl Chin River. *Northern Zaisan Formation in Prihcingizie*: **5** – geologic section near Mount Ush-Kyzyl at the upper reaches of the Bakanas River. *Northern Zaisan Formation in the Semipalatinsk depression*: **6** – Hole 52 in the right-hand bank of the Irtysh River, near the Izvestkovyi settlement. **7–10** – vertical sections through the bauxite-bearing unit (Arkalyk Formation) in central Kazakhstan. *Red beds*: **7** – Hole 1202, Kainarly deposit; **8** – Hole 1170, Kainarly deposit. *Coal- and bauxite-bearing rocks*: **9** – Hole 1197, Kainarly deposit; **10** – Hole 1072, Beloyarovskoe deposit.

1–14 – *rocks*: **1** – rubble of silicate rocks in the silicic-bauxite unit or laterite fragments in the bauxite-bearing unit, **2** – sand-pebble rocks, **3** – alternating semiloose pisolitic bauxite and clay beds, **4** – stony pisolitic bauxites, **5** – sands, **6** – clayey sands, **7** – siltstone, **8** – siltstones with sand lenses and beds, **9** – sandy clays, **10** – clays, **11** – brown coals, **12** – coaly clays, **13** – bauxite-clayey rocks (landslide-landfall and soliflual rocks), **14** – kaolinite weathering crusts. **15–17** – *authigenic minerals*: **15** – opal and chalcedony (silicified clay and silicic cement of sandstone); **16** – vertical goethite-hematite patches, veinlets, and nodules; **17** – siderite nodules; **18** – charred floral detritus; **19** – red color of rocks. **20–29** – *facies*: **20** – sandy sediments in the courses of lowland rivers, **21** – finely bedded silty floodplain sediments, **22** – clayey sediments in floodplain lakes, **23** – coaly-clayey sediments in bogged karst lakes, **24** – coaly sediments of peat bogs in karst depressions, **25** – debris-rubble diluvium, **26** – bauxite and clay landfall-landslide and soliflual sediments in karst potholes, **27** – pisolitic bauxite and clay sediments in karst proluvium, **28** – clayey sediments of lowland rainwash proluvium, **29** – clayey sandy sediments with lenses and thin beds of lowland rainwash proluvium, **30** – intervals of rocks intensely modified by post-sedimentation weathering. Rocks overlying the weathering-crust formation: $P_2^{2-3}_{lg}$ – Turaginskaya Formation $P_3^{2-3}_{asch}$ – Ashutasskaya Fm., Q – Quaternary rocks.

Ниже последовательно охарактеризуем особенности строения, состава и условия образования этих толщ.

КРЕМНИСТО-КАОЛИНОВАЯ ТОЛЩА

Сформировавшиеся в диапазоне от маастрихта до среднего эоцена отложения кремнисто-каолиновой толщи развиты в нескольких крупных эрозионно-тектонических депрессиях – Зайсанской, Чуйской, Сарысуйской, Семипалатинской, Тургайской и в ряде мелких впадин [Цеховский, 1973, 1987]. Эти парагенезы выделяются в составе свит: северозайсанской (Зайсанская впадина), карачумской (Горный Алтай), а также джартагской, сарысуйской, косакальской, джезинской и акжарской свит – в западной части Казахского щита. В равнинных ландшафтах областей денудации при слабо выраженной эрозии возникли практически сплошной покров мощного глинистого элювия с верхней кварц-каолиновой зоной. При неглубоких врезках эрозионно-речной сети в области аккумуляции осадков поступали красноцветные преимущественно зрелые по составу глинистые (каолиновые) с примесью кварцевого песка и алеврита продукты перемыва верхних зон коры выветривания, местами содержащие небольшую примесь невыветрелых алюмосиликатных минералов.

Во впадинах характеризуемой эпохи формировался необычный для областей с гумидным климатом набор фаций, что рассмотрено ранее на примере северо-зайсанской свиты Зайсанской впадины [Цеховский, 1973, 1987]. Здесь преобладали отложения временных потоков, выделенные в составе своеобразной фации “равнинного пролювия плоскостного смыва”. В отличие от обычного пролювия его формирование не было связано с горным рельефом.

В областях с гумидным климатом они формировали своеобразный тип пролювия – равнинный, связанный с плоскостным смывом. Это красноцветные или пестроцветные преимущественно глинистые (нередко с примесью песчаных зерен) отложения, часто включающие линзы или прослойки кварцевых песков. В их основании иногда встречаются маломощные делювиальные отложения. Это скопления мелкого щебня и дресвы кремнистых или железистых пород, сцементированные глиной, поступившие из кор выветривания. Их накопление происходило среди равнинного рельефа на склонах небольших поднятий или вдоль бортовых участков врезок эрозионно-речной сети. Для данных отложений (местами содержащих в основании линзы делювия) характерна плохая сортировка терригенного материала. Они наиболее широко развиты в прибортовых участках впадины (рис. 2, разрез 1).

В центральных ее частях отмечается чередование равнинных фаций пролювия и равнинного элювия (см. рис 2, разрез 2), и лишь в единичных случаях аллювиальные отложения становятся доминирующими (см. рис. 2, разрез 3). Фации руслового элювия – это обычно тонкообломочные песчаные или песчано-алевритовые осадки, окрашенные в серовато-белые, красные и пятнисто-красные цвета. В пойменных (глинисто-алевритовых) отложениях красные и пестро-красные окраски пород становятся преобладающими. В характеризуемой толще отсутствуют угли и редко встречаются углистые породы с обугленным растительным детритом. Большая часть органического вещества окислена, и часто наблюдаются трубчатые псевдоморфозы гетит-гематита по корням растений. Широкое развитие красноцветных окрасок свидетельствует в пользу наличия маловодных, периодически пересыхающих рек, где основная часть органического вещества (субтропической

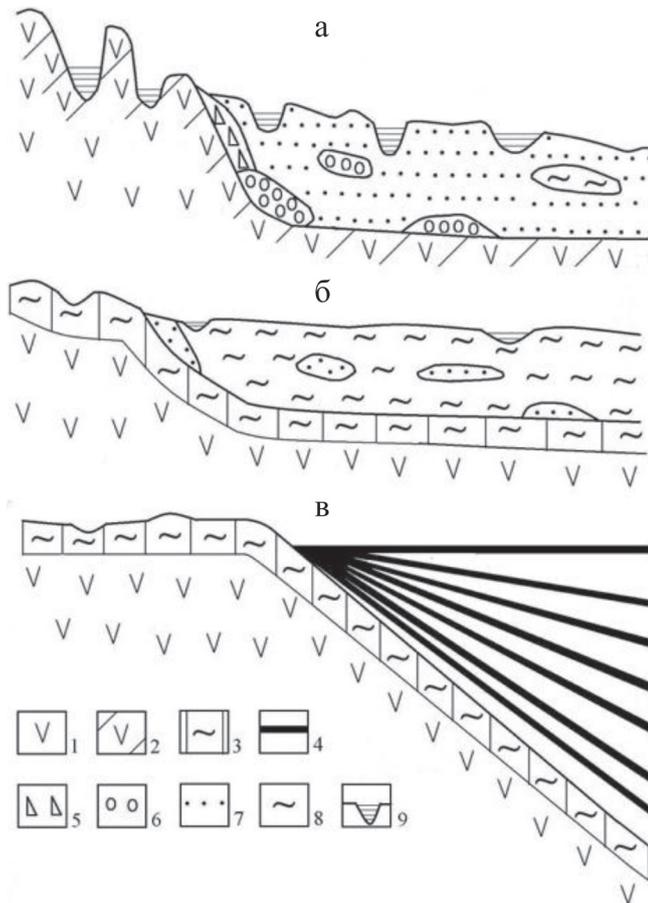


Рис. 3. Схемы строения ландшафтов в эпохи орогенеза (а), пенеппенизации рельефа (б) и распределение горизонтов выветривания в кремнисто-каолиновой толще (в), по [Цеховский, 2015а].

1 – кристаллические породы фундамента; 2 – крупно-обломочные глыбово-щебнистые элювиально-делювиальные образования и выветрелые трещиноватые породы фундамента; 3 – глины верхней зоны коры выветривания; 4 – горизонты выветривания в кремнисто-каолиновой толще; 5 – глыбово-щебнистые отложения; 6 – песчано-гравийно-галечные отложения; 7 – преимущественно песчаные отложения; 8 – существенно глинистые отложения; 9 – реки и озера.

Fig. 3. Schematic representations of landscape structures during (a) orogenesis and (б) peneplainization and a schematic map of the distribution of weathered beds in the silicic-kaolinite unit (в), by [Tsekhovskii, 1987].

1 – crystalline basement rocks; 2 – rudaceous block-rubble eluvial-diluvial rocks and weathered and shattered basement rocks; 3 – clay in the upper zone of the weathering crust; 4 – weathered beds in the silicic-kaolinite unit; 5 – block-rubble rocks; 6 – sand-gravel-shingle rocks; 7 – mostly sandy rocks; 8 – clay-rich rocks; 9 – rivers and lakes.

растительности) разрушалась на земной поверхности в субэаральных обстановках.

Возникает вопрос о причинах появления на рубеже мела и палеогена в областях с гумидным кли-

матом необычных для современной эпохи обстановок осадконакопления: резкое сокращение фаций рек, озер и болот и доминирование пролювиальных отложений, а также преобладание пестро-красных окрасок пород. Причиной этого являлась пенеппенизация древнего рельефа и связанное с этим формирование на древней суше мощных площадных кор выветривания и продуктов их перемыва. Известно, что на возникновение рек, а также связанных с ними озер и болот влияет ряд факторов. К их числу в современную эпоху относят: наличие горного рельефа (где возрастает роль атмосферных осадков), появление снежного покрова и ледников, увеличение наземного и подземного стока [Гидрогеология, 1984]. Причем если наземный сток про-являлся кратковременно, то подземный сток постоянно подпитывал озерно-болотно-речную сеть и разгружался в многочисленных родниках.

Величина подземного стока во многом определялась широким развитием водопроницаемых пород в областях денудации, а также в древних впадинах, которые аккумулируют дождевую воду. В горных областях денудации современной орогенной эпохи конструктивного тектогенеза (рис. 3а) к подобным водопроницаемым породам относится элювиально-делювиальный щебнисто-глыбовый покров на поверхности массивно-кристаллических пород фундамента, а также сами эти породы (которые при выветривании становились трещиноватыми и пористыми). Кроме того, они представлены валунно-галечно-песчаными отложениями горного аллювия. В пределах впадин осадочный чехол, обогащенный грубым песчано-гравийно-галечным материалом, также служил прекрасным аккумулятором атмосферных осадков. Поэтому и после прекращения дождей подземные воды в местах их выхода на земную поверхность формировали родники, которые постоянно подпитывали водотоки и водоемы.

В пенеппенизированных ландшафтах пограничной мел-палеогеновой эпохи роль перечисленных факторов, участвующих в образовании озерно-болотно-речной сети, существенно снижалась (рис. 3б). Здесь отсутствовали горный рельеф (где возрастала роль атмосферных осадков), а также ледники и снежный покров. При этом в областях денудации на поверхности пород формировался практически сплошной водонепроницаемый глинистый покров коры выветривания (из-за существенно глинистых продуктов их перемыва). Они препятствовали аккумуляции в осадочном чехле и трещиноватых породах фундамента больших объемов дождевых вод.

В древних впадинах, где накапливались преимущественно глинистые водонепроницаемые продукты перемыва коры выветривания, они также не содержали значительных объемов дождевых вод и препятствовали их поступлению в подстила-

ющие грубообломочные отложения, сформировавшиеся в более древние орогенные эпохи. Все это резко снижало вклад подземного стока в образование наземных водотоков и водоемов.

Следует отметить, что наличие существенно глинистого водонепроницаемого чехла на поверхности областей денудации и в древних впадинах затрудняло приток и разгрузку в древних пенеппенизированных ландшафтах восходящих артезианских (катагенетических) и ювенильных подземных вод. Однако восходящие воды (включая и их термальные разности), достигая основания глинистой зоны коры выветривания, начинали испытывать горизонтальную циркуляцию в трещиноватых и пористых каменистых породах нижней элювиальной зоны. Здесь они смешивались с грунтовыми водами и активизировали элювиальное глинообразование. Причем, согласно гипотезе В.Н. Разумовой [1977], предполагается важный вклад гидротерм в образование кор выветривания. Известно, что каолинизация пород с участием гидротерм является характерным процессом. Причины активного притока термальных вод для ряда платформенных участков Центральной Евразии в пограничную мел-палеогеновую эпоху пенеппенизации суши рассмотрены в публикации [Цеховский, 2015а]. Поэтому нельзя исключить участие этого процесса в образовании каолиновых кор выветривания на рассматриваемой территории. Таким образом, в пенеппенизированных ландшафтах атмосферные осадки, попадая на существенно глинистый и водонепроницаемый покров, не проникали в осадочный чехол или в трещиноватые породы фундамента. Они быстро заполняли понижения рельефа (включая небольшие неглубокие речные долины) и разливались на поверхности аллювиальных равнин, образуя временные потоки пролювия плоскостного смыва.

Малые объемы терригенного материала, поступающего из равнинных областей денудации, и небольшие скорости осадконакопления приводили к возникновению перерывов осадконакопления. Согласно существующей классификации [Барабошкин и др., 2002], с выделением многочисленных типов (синседиментационных, эрозионных, диагенетических, постдиагенетических), для формации коры выветривания наиболее характерны были субаэральные синседиментационные осадки, связанные с перерывами, сопровождающиеся возникновением “горизонтов конденсации”.

На характеризуемой древней суше, где господствовали субаэральные обстановки осадконакопления, проявлялись кратковременные или длительные перерывы осадконакопления. При кратковременных (сезонных) перерывах происходило осушение осадков (иногда с их растрескиванием) и окисление закисных форм железа, содержащихся в растворах, а также разрушение органического вещества.

При более продолжительных перерывах осадконакопления в условиях субтропического климата на поверхности осадка возникали фульвоферраллитные, по М.А. Глазовской [1972], почвы мощностью до 1 м, в которых усиливалось преобразование осадков под воздействием почвенно-грунтовых вод. Однако наиболее интенсивное проявление элювиальных процессов осуществлялось при длительных перерывах осадконакопления, когда почвенные горизонты превращались во внутрiformационные коры выветривания. Данные образования именуется также неоэлювием [Полынов, 1956; Казаринов, 1973] или горизонтами выветривания [Цеховский, 1973, 1987; Ерофеев, Цеховский, 1983]. Они широко развиты в континентальных пограничных мел-палеогеновых отложениях Казахстана и Сибири.

В упомянутых публикациях доказано широкое развитие горизонтов выветривания в характеризующей кремнисто-каолиновой толще, что иллюстрируется рис. 3в. Показано также, что перечисленные выше процессы, связанные с осушением осадков и последующим преобразованием в почвах и горизонтах выветривания, приводят к литификации отложений с их превращением в породу и поэтому включаются в состав субаэральное диагенеза. Последний в формации коры выветривания подменял обычный (субаквальный) диагенез осадков, который играл здесь второстепенную роль и проявлялся локально в аллювиальных отложениях.

Горизонты выветривания в кремнисто-каолиновой толще

Ранее нами было установлено, что элювиальные процессы, протекающие в горизонтах выветривания аккумулятивных равнин и в корах выветривания областей денудации, проявлялись неоднотипно и имели различную направленность [Цеховский, 1973, 1987; Ерофеев, Цеховский, 1983]. В первом случае при выветривании полиминеральных массивно-кристаллических пород фундамента (на приподнятых участках суши) под воздействием нисходящих поверхностных вод формировались коры выветривания. При этом породы разрыхлялись, глинизировались и служили поставщиком материала в области осадконакопления.

В горизонтах выветривания областей осадконакопления повторными элювиальными преобразованиями подвергались зрелые по составу кварц-каолиновые продукты перемиыва кор выветривания пород фундамента. Они поступали из областей денудации и содержали небольшую примесь не измененных выветриванием минералов: полевых шпатов, слюд, гидрослюдисто-сметитовых глин и других алюмосиликатов. Наличие резко различного по составу материнского субстрата коры выветривания и горизонтов выветривания

во многом определяли различную направленность процессов минералообразования в этих объектах. Для горизонтов выветривания (в отличие от кор выветривания) выделяются две охарактеризованные ниже стадии образования. Привлекая исследования почвоведов [Дюшофур, 1970; Глазовская, 1972], можно выделить участки с автоморфными и гидроморфными почвами. В первом случае (для автоморфных почв на приподнятых участках аккумулятивной суши) отмечается промывной режим, сопровождающийся выветриванием породы и перераспределением или выносом элементов с почвенно-грунтовыми водами. Во втором случае (для гидроморфных почв в понижениях рельефа) осуществляется боковой привнос компонентов и их аккумуляция в породах.

Во впадинах характеризуемой эпохи пенепленизации на повышенных участках с автоморфным режимом осуществлялось довыветривание (каолинизация) примеси незрелых по составу минералов в кварц-каолиновых отложениях, присутствующих в них в том или ином объеме. Породы разрыхлялись, в них увеличивалась пористость. Здесь в кварц-каолиновом субстрате происходило частичное растворение зерен терригенного кварца и преобразование каолинита (что будет показано далее). Почвенно-грунтовые воды насыщались растворимыми соединениями кремния и железа и за счет их перераспределения формировались пятна окремнения и ожелезнения, а также происходило перемещение этих компонентов к областям разгрузки в понижениях рельефа.

По мере опускания дна впадин и погружения отложений на месте поднятий возникали понижения рельефа и автоморфный режим менялся на гидроморфный. В последнем случае за счет бокового привноса компонентов с минерализованными почвенно-грунтовыми водами происходили окремнение и ожелезнение пород.

Важно подчеркнуть небольшую (обычно до 3–6 м) мощность горизонтов выветривания. Их разрастанию вглубь препятствовал высокий уровень стояния грунтовых вод в равнинных ландшафтах. По сути, часто они представляли собою мощные почвы, где при длительных перерывах осадконакопления происходило интенсивное преобразование материнских пород. В пользу широкого развития почв в горизонтах выветривания свидетельствуют многие данные: комковатая структура пород, ходы червей, наличие замещенных кремнеземом остатков древесины и капролитов, появление вертикальных пятен обеления по корням растений, присутствие фрагментов этих корней, замещенных кремнием и железом, появление кремнистых фитолитов (реликтов листовой флоры, остающихся после ее разрушения при выветривании), а также наличие окремненных спор и пыльцы растений.

Установлено также, что в областях аккумуляции осадков разновозрастные горизонты нередко сливаются друг с другом, образуют пачки пород, достигающих максимальной мощности 100 м и более. Подобные разрезы, где практически все исходные отложения преобразованы в горизонтах выветривания, встречаются преимущественно в прибортовых участках впадины (см. рис. 2, разрезы 1, 2).

В обнажениях и скважинах горизонты выветривания внешне резко отличаются от материнских отложений пестро-красной окраской. Выделяются железисто-каолиновый и железисто-кремнисто-каолиновый типы горизонтов выветривания [Цеховский, 1987]. В первом случае при выветривании красных пойменных алевритов в разрезе Киин-Кериш (рис. 4а, зона 1) в основании профиля в породах появляются вертикальные пятна обеления (зона 2). Выше (в зоне 3) породы приобретают белую окраску, и в них появляются многочисленные красные пятна и полосы, часто содержащие мелкие стяжения или конкреции гетит-гематита. Элювиальный профиль (общей мощностью до 6 м) венчается зоной белых комковатых алевритов с ходами червей (в правом нижнем углу фотографии). Изменения глинистого вещества в характеризуемом типе горизонта выветривания сопровождаются каолинизацией небольшой примеси алюмосиликатов (полевых шпатов, слюд, смектит-гидролюдистых глин), содержание которых сокращается к верхам элювиальных профилей.

Однако наиболее часто встречаются кремнисто-железисто-каолиновые горизонты выветривания, развитые на глинистых или песчано-глинистых породах. На рис. 4б, в показаны пачки слившихся их элювиальных профилей мощностью 3 и 4, 5 м. В них происходит окремнение исходных пород (сопровождающееся выделениями опала и халцедона), а также возникают подобные отмеченным выше вертикальные красные пятна и полосы ожелезнения. Породы приобретают комковатое строение, их комочки цементируются колломорфной глиной или гетитом и гематитом (рис. 4г), которые также выполяются трещинки. В качестве других примеров признаков почв приведены фотографии опализированных капролитов (рис. 4д) и каналы обеления по корням растений (рис. 4е). Эти каналы заполнены фарфоровидной окремненной глиной, а в их центре иногда сохранились пустоты на месте корней.

Отмеченные преобразования минеральных зерен в горизонтах выветривания иллюстрируются шлифами и пришлифовками образцов (рис. 5а–е). Стадии разрушения каолинита в железисто-кремнисто-каолиновых горизонтах выветривания показаны на рис. 6. Здесь, в элювиальном профиле, осуществлялось субэкральное преобразование каолинита, слагающего глинистые пески (рис. 6А, обр. 68б). Дифрактограмма (Б) исходного чешуйчатого каолинита из материнских пород имеет хо-

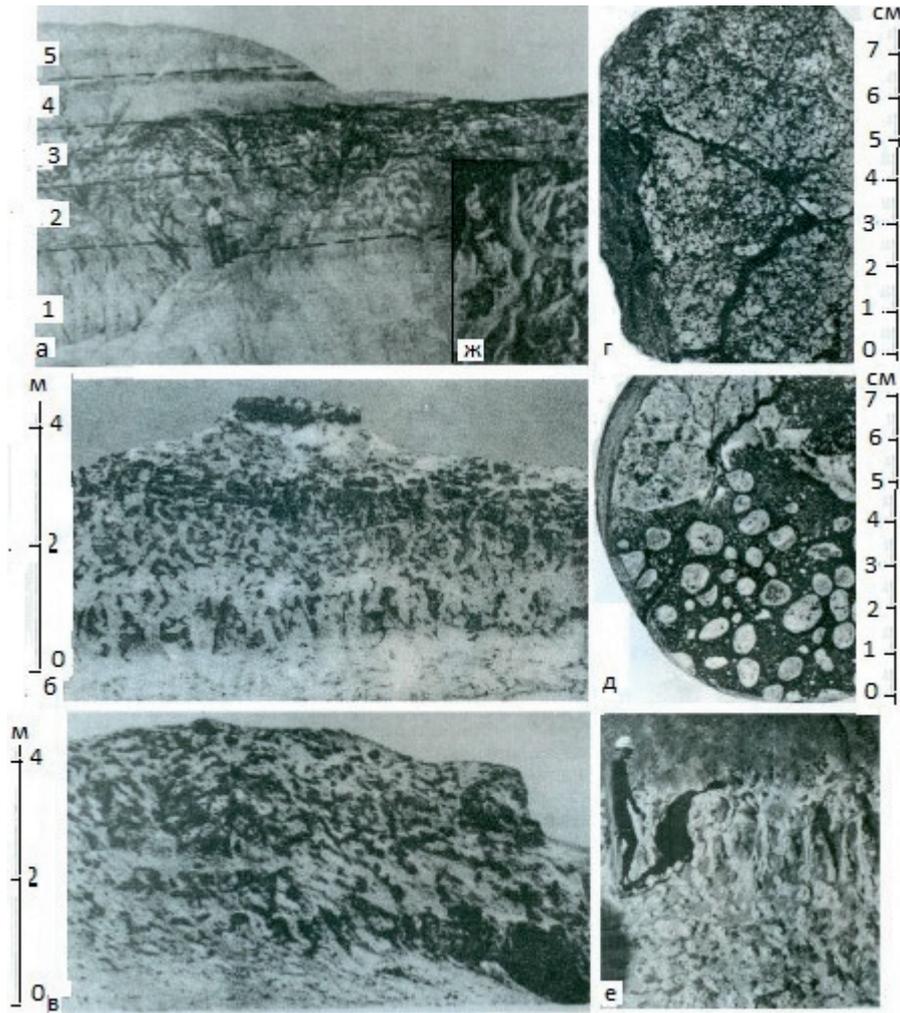


Рис. 4. Обнажения горизонтов выветривания (а–в, е) и текстуры слагающих их пород в шлифовках (г, д, ж) в Северном Призайсанье, по [Цеховский, 1987].

Разрезы: а – у сопки Киин-Кериш, 1–5 – зоны, пояснения см. в тексте; б – у сопки Керши; в, е – у сопки Пшук; г – у сопки Букомбай; д – из скв. 307, глубина 175 м.

Fig. 4. Outcropping weathered units (а–в, е) and the structures of their rocks in polished sections (г, д, ж) in the northern Zaisan area, by [Tsekhovskii, 1987].

Geologic sections: а – near Mount Kiin-Kerish (1–5 – zones, see explanations in the text); б – near Mount Kersh; в, е – near Mount Pshuk; г – near Mount Bukombai; д – from Hole 307, depth 175 m.

рошо выраженные базальные рефлекссы (3.56–3.58 и 7.2), а на электронно-микроскопических снимках его ограненные кристаллы (В) имеют четкую шестигранную форму и отчетливо выраженную микродифракционную картину.

В верхах элювиального профиля, наряду с остаточным чешуйчатым каолинитом, (обр. 40и) отмечается продукт его преобразований – колломорфная глина. Она слагается диспергированным и аморфизированным каолинитом, а также аллофаном [Цеховский, Дмитрик, 1970]. При этом на дифрактограмме (обр. 40в) отмечаются лишь слабо выраженные рефлекссы каолинита, а на электронно-микроскопических снимках (В, фото б) видно,

что кристаллы каолинита теряют четкую огранку, округляются и аморфизуются.

Вероятнее всего, выпадению из раствора аллофана, слагающего основную часть колломорфного вещества, предшествовало растворение аморфизированного каолинита и связанное с этим поступление в раствор соединений кремния и алюминия. Следует отметить, что аллофан характерен для почвенных процессов [Парфенова, Ярилова, 1962; Таргульян, 1971].

Аллофанизацию каолинита в кремнистых-каолиновых горизонтах выветривания можно рассматривать как начальную стадию разрушения каолинита при латеритизации пород в областях осад-

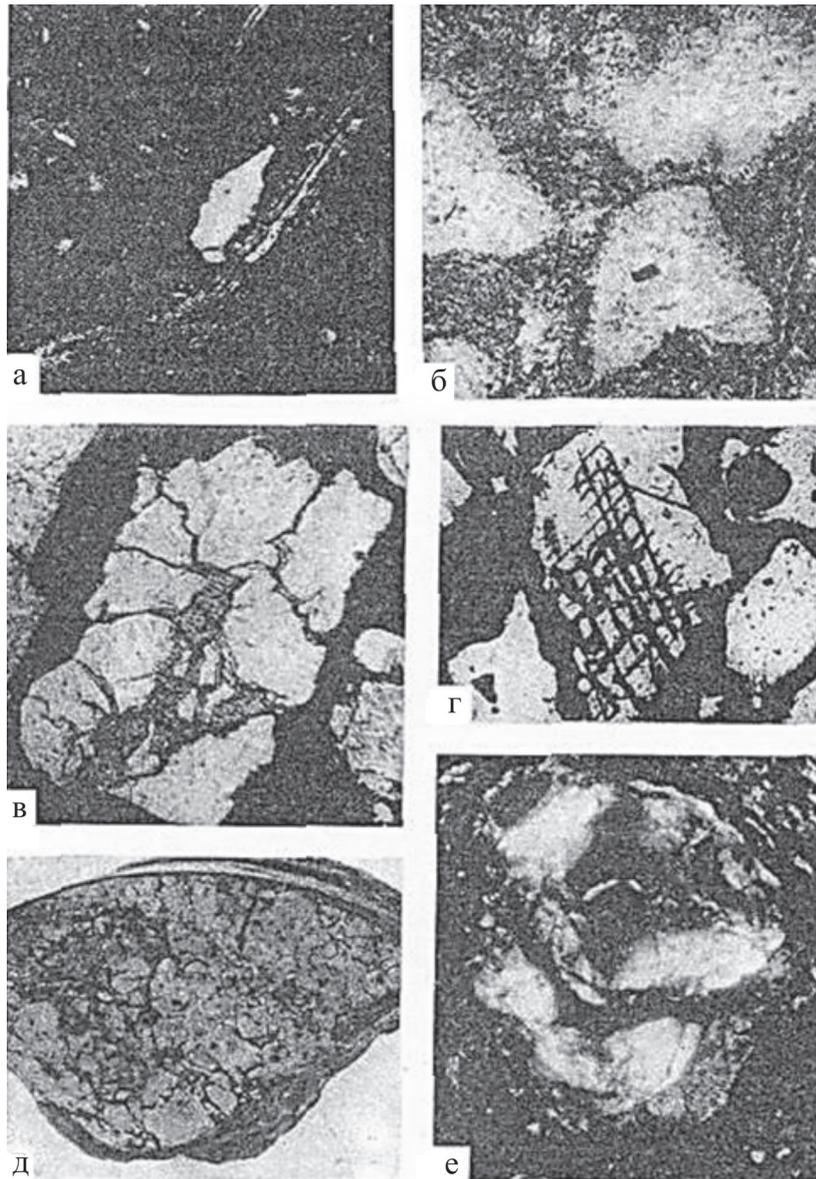


Рис. 5. Преобразование обломочных зерен и выделение коллоидного глинистого вещества в образцах пород кремнисто-каолиновой толщи Зайсанской впадины, по [Ерофеев, Цеховский, 1983].

а-г – шлифы образцов: а – скв. 308, гл. 55 м, б – скв. 17, гл. 27 м, в – обр. 65л, разрез Уш-Кара, г – обр. 68к, разрез Керши; везде: ув. 170, николи 1; д – пришлифовка обр. из скв. 307, гл. 175 м, нат. вел.; е – шлиф обр. из скв. 180, гл. 236 м, ув. 70, николи скрещены. Описание шлифов и образцов приведено в тексте.

Fig. 5. Transformations of clastic grains and colloform clay material in rock samples from the silicic-kaolinite unit in the Zaisan depression, by [Erofeev, Tsekhovskii, 1983].

а-г – thin sections of a samples: Hole 308, depth 55 m (a); Hole 17, depth 27 m (б); sample 65л, geological section Ush-Kara (в); sample 68к, geological section Kershi (г); in any thin section: magnification 170, one polarizer; д – polished section of a sample from Hole 307, depth 175 m, full scale; е – thin section of a sample from Hole 180, depth 236 m, magnification 70, crossed polarizers. See text for descriptions of the thin sections and samples.

конакопления. Однако полного разрушения данного минерала с формированием гибсита здесь не происходило. Это объясняется высоким содержанием кремнезема в почвенно-грунтовых водах. Его источником служили не только коры выветривания областей денудации, но и область аккумуляции, где

происходила коррозия терригенных зерен кварца, а также растворение аллофанизированного каолинита. При плохом дренаже грунтовых вод в существенно глинистом осадочном чехле пенеупленизированных ландшафтов большая часть аутигенного кремнезема не выносилась в конечные водоемы

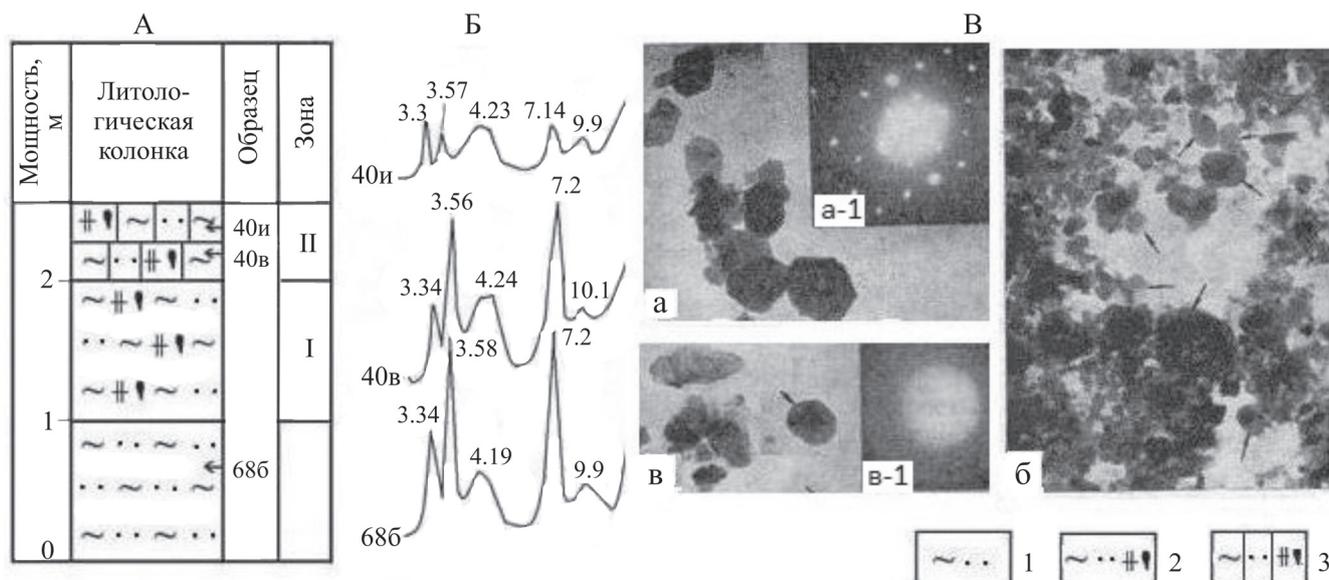


Рис. 6. Строение и состав горизонта выветривания и преобразование каолинита в горизонте выветривания у сопки Керши в Зайсаской впадине, по [Цеховский, Дмитрик, 1970; Цеховский, 1987].

А – разрез горизонта выветривания у сопки Керши. 1 – глинистые пески белые с линзами ожелезнения; 2 – глинистые пески с вертикальными красными пятнами ожелезнения, содержащие конкреции гетит-гематита и выделения опала; 3 – песчаник плотный серый, с глинисто-опаловым цементом, с вертикальными красными пятнами и полосами ожелезнения, содержащими конкреции гетита и гематита.

Б – дифрактограммы глин (фракция < 0.001 мм), насыщенных глицерином, из глинистых песков и песчаников и микродифракционные картинки. Привязка проб на рис. 6А.

В (а-в) – электронно-микроскопические снимки глинистых частиц (фракция < 0.001 мм) и микродифракционные картинки (а-1 и в-1; ув. 25 000). а – обр. 68б – исходные хорошо ограниченные крупные кристаллы каолинита; б – обр. 40и – округлые кристаллы и диспергированного аморфизированного каолинита (показаны стрелками); в – обр.40и – округлый кристалл аморфизированного (аллофанизированного) каолинита и его микродифракционная картинка.

Fig. 6. Kaolinite replaced by allophane in a weathering unit near Mount Kershi, Zaisan depression, by [Tsekhovskii, Dmitrik, 1970; Tsekhovskii, 1987].

А – inner structure of the weathered unit. 1 – white clayey sand with limonitization lenses; 2 – clayey sand with vertical red limonitization patches and goethite–hematite nodules with opal; 3 – dense gray sandstone with clay–opal cement and with vertical red limonitization patches and stripes hosting goethite and hematite nodules.

Б – X-ray powder direction patterns of the clay (fraction < 0.001 мм) soaked with glycerin from patchy sand and sandstone.

В – electron-microscope images of clay particles (fraction < 0.001 мм) and microdiffraction patterns (magnification 25 000).

стока, а оставалась в осадочных толщах, что и препятствовало процессам латеритного выветривания.

Образование различных типов панцирей (или кирас) в кремнисто-каолиновой толще являлось важной составной частью процессов субаэрального диагенеза. Согласно традиционным представлениям [Геологический словарь, 1978], кираса (или панцирь) – это плотная порода, состоящая из кремнезема, глинозема, окислов и гидроксидов железа и связанная с латеритным выветриванием исходных пород. Она формируется в кровле коры выветривания из остаточных продуктов, а также за счет перераспределения окислов глинозема, кремния и железа в верхах элювиальных профилей. Ряд исследователей [Полынов, 1956; Дюшофур, 1970; Добровольский, 1974] считают, что кроме перечисленных причин формирование панцирей в тропических почвах связано также с боковым притоком в понижения релье-

фа почвенно-грунтовых вод, обогащенных полуторными окислами. Причем наряду с железисто-глиноземистыми панцирями отмечаются и их кремнистые разности (силькреты), образующиеся и в настоящее время в областях с жарким аридным или переменным-влажным гумидным климатом [Милло, 1968; Петров, 1973; Лидер, 1986].

С учетом проведенных исследований [Цеховский, 1973, 1987; Ерофеев, Цеховский, 1983] и привлекая упомянутые работы почвоведов в характеризующей кремнисто-каолиновой толще, было предложено выделять ряд генетических типов кремнистых, железистых и железисто-кремнистых кирас. На возвышенных (автоморфных) участках в древних почвах, наряду с остаточными терригенными зёрнами кварца и каолинита, осуществлялось перераспределение кремнезема и железа с почвенными водами и их частичное осаждение в форме пятен, конкреций и тонкорассеянных выделений.

Возникающие аутигенные образования представлены опалом, халцедоном, гетитом и гематитом.

В понижениях рельефа с гидроморфным режимом за счет бокового притока минерализованных вод осуществлялось окремнение или ожелезнение пористых песчаных осадков. Они уплотнялись, и возникали их разности, которые предлагалось именовать кирасами обломочной цементации [Цеховский, 1987].

Важно отметить, что в существенно глинистых породах кремнисто-каолиновой толщи, содержащей сравнительно редкие прослои или линзы рыхлых пористых песков, разрыхленные почвенные породы, залегающие на поверхности, или их погребенные разности в осадочном чехле также служили важными путями горизонтальной циркуляции подземных вод. В понижениях рельефа при боковом притоке этих вод содержащиеся в них растворенные соединения кремния и железа цементировали не только пески, но и разрыхленные глинистые породы элювиальных профилей. Соответственно, формировались кирасы обломочной цементации и их гидроморфно-элювиальные разности.

Таким образом, в кремнисто-каолиновой толще не возникали собственно элювиальные кирасы, формировавшиеся при автоморфном режиме в горизонтах выветривания за счет перераспределения соединений кремния и железа. При погружении дна впадин и понижении рельефа за счет бокового притока минерализованных почвенно-грунтовых вод все их породы испытывали дополнительное окремнение и ожелезнение, что и приводило к образованию элювиально-гидроморфных типов кирас [Цеховский, 1987]. Одновременно осуществлялась цементация окислами кремния и железа обломочных зерен в прослоях или линзах песчано-алевритовых пород и возникали кирасы обломочной цементации.

Кирасы часто слагают поверхности эрозионных останцов или карнизы, венчающие уступы обнажений, где они бронируют рыхлые песчано-глинистые породы. Главные их типы (железистые, кремнистые и смешанные по составу – железисто-кремнистые), а также положение их в разрезах кремнисто-каолиновой толщи показаны на рис. 7, I–IV. На рисунке приведены содержания главных порообразующих компонентов (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3) в ряде характеризуемых кирас.

Следует также отметить появление своеобразного типа кирас – алунитовых, встреченных в единичных пунктах Северного Призайсая, где они слагают кровлю горизонтов выветривания [Ерофеев, Цеховский, 1983]. Их материнскими породами служат пойменные зеленовато-коричневые алевритистые глины с редкими выделениями окисленного пирита, содержащие линзы кварцевого песка.

В элювиальном профиле (мощностью 1.5–2 м) породы уплотняются и становятся пестроцветными (зеленовато-серыми или белыми с вертикаль-

ными красными пятнами). В них исходное чешуйчатое глинистое вещество замещается колломорфной глиной, сложенной аморфизированным каолинитом аллофаном и галлаузитом (как в охарактеризованных выше профилях), а также происходит коррозия зерен кварца. Элювиальный профиль венчается алунит-каолиновой кирасой, представленной плотной камнеподобной белой породой с коричневато-бурыми пятнами ожелезнения, достигающей мощности от 0.1 до 1.5–1.8 м.

Под микроскопом видно, что породы кирасы примерно на 70% сложены кристаллическим алунином и содержат примесь глины. Отмечается интенсивная коррозия алунином зерен кварца (иногда вплоть до полного его замещения), а также фиксируются псевдоморфозы окислов железа по кристаллам пирита, имеющим кубическую форму. Рентгенограмма пород (фракция < 0.02 мм) подтверждает существенно алунино-каолиновый состав пород кирасы (рефлексы 4.92, 3.88, 3.47, 2.96, 2.85 – алуниита и 7.16, 3.57 – каолинита).

Вопрос о генезисе алюмосульфатов в кремнисто-каолиновой толще Зайсанской впадины не решается однозначно. Появление этих преимущественно алунитовых пород, содержащих примесь аллофана, галлаузита и иногда гиббсита, связывают с процессами сернокислотного выветривания осадочных пород. Однако возникает вопрос об источнике больших объемов серной кислоты, способной генерировать линзовидно-пластовые тела алюмосульфатов. Имеются публикации [Полынов, 1956; Глазковская, 1972], где источники растворов, участвующие в формировании алунитовых или алюминиевых кислых квасцовых почв, связывают с боковым привнесением сернокислых растворов грунтовыми водами из пород, обогащенных сульфидами при их выветривании и окислении или в случае образования элювия на обогащенных пиритом углистых приморских болотных отложениях.

Однако в кремнисто-каолиновой толще отсутствуют залежи сульфидов или обогащенные пиритом углистые породы, которые могли бы служить поставщиками серной кислоты. Отмечаются лишь единичные окисленные кристаллы пирита. Трудно также объяснить обогащение грунтовых вод калием (необходимым для образования алуниита) при их циркуляции в кварц-каолиновых породах, из которых щелочные металлы были вынесены в процессе выветривания. В последние десятилетия установлено наличие алюмосульфатов в кайнозойских толщах многих платформенных районов Сибири и Прибайкалья, где источником серной кислоты и калия служили сольфатарные гидротермы, приуроченные к зонам разломов [Лизалек, Филатов, 1986; Черкасов, 1989].

Факты, свидетельствующие в пользу активизации гидротермальной деятельности в пограничную мел-палеогеновую эпоху пенепленизации рельефа на платформах Центральной Евразии, вклю-

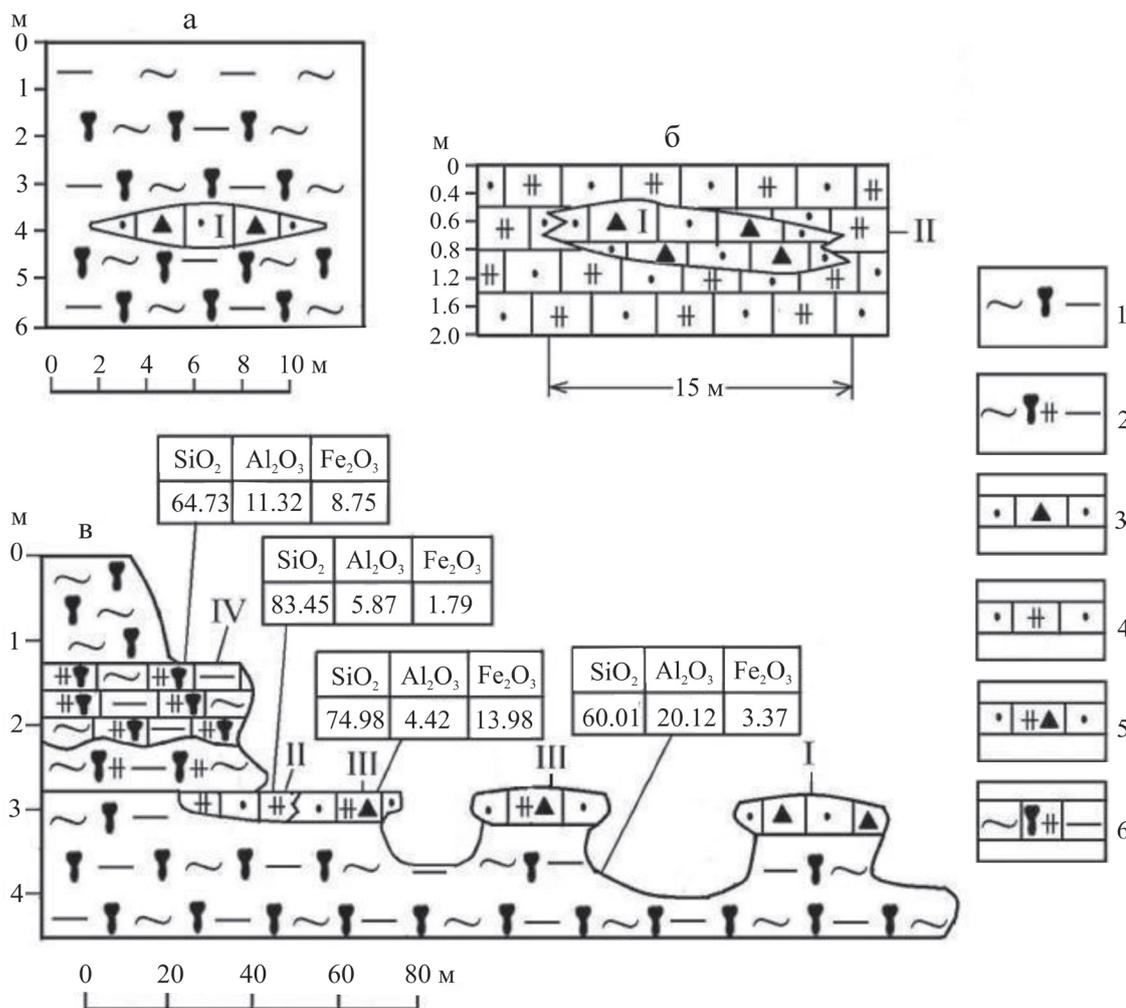


Рис. 7. Кирасы в кремнисто-каолиновой толще Зайсанской впадины, по [Цеховский, 1987, 2015a].

Разрезы: а, б – у сопки Керши; в – у солонца Бите-Как. 1 – глины алевроитистые с вертикальными красными пятнами гетит-гематита; 2 – глины окремненные с вертикальными красными пятнами гетит-гематита; 3–5 – кирасы обломочной цементации: 3 – железистая (I), 4 – кремнистая (II), 5 – кремнисто-железистая (III); 6 – почвенная глинисто-кремнисто-железистая кираса (IV).

Fig. 7. Cuirasses in the silicic-kaolinite strata of the Zaisan depression, by [Tsekhovskii, 1987, 2015a].

Geological sections: а, б – near Mount Kershi; в – near the Bite-Kak saline soil. 1 – silty clay with vertical red goethite-hematite patches; 2 – silicified clay with vertical red goethite-hematite patches; 3–5 – the cuirasses of clastic cementation: 3 – ferriferous (I), 4 – silicic (II), 5 – silicic-ferriferous (III); 6 – soil clayey-silicic-ferriferous cuirasse (IV).

чая и характеризующиеся в настоящей статье регионами, были рассмотрены ранее [Цеховский, 2015а, б]. Причина этого явления была связана с доминированием процессов растяжения земной коры, которые усиливали поступления глубинного вещества на земную поверхность. Эта гипотеза образования алунигов в Зайсанской впадине представляется наиболее достоверной.

Далее остановимся на причинах появления в жарких гумидных ландшафтах преимущественно красноцветных и красноцветно-пестроцветных пород. Это во многом было связано с поступлением из областей денудации красноцветных продук-

тов перемыва каолиновых кор выветривания. Ранее было показано, что в областях аккумуляции доминировали пролювиальные фации и господствовали субаэральные обстановки осадконакопления с последующими процессами субаэриального диагенеза. Здесь органическое вещество, содержащееся в осадках, окислялось и не участвовало в их последующих постседиментационных преобразованиях. Это способствовало сохранению первичных красных окрасок или перераспределению окисного железа с образованием пятен в горизонтах выветривания, а также его накоплению железистых или железисто-кремнистых кирасах.

Проявления субаквального диагенеза

В характеризуемой кремнисто-каолиновой толще при преобладании красных и пестро-красных окрасок пород встречаются обеленные линзы или прослойки аллювиально-озерных кварцевых песков и каолиновых глин [Цеховский, 1973, 1987; Ерофеев, Цеховский, 1983]. Здесь в обводненных участках местами сохранялось органическое вещество в осадках и при диагенезе происходило восстановление окисного железа, что и сопровождалось обелением пород. Однако при этом часто в них происходила не только редукция соединений железа, но и вынос его из аллювиально-озерных пород. Это явление, характерное для красноцветных толщ, Г.И. Бушинский [1977] связывает с проточным типом диагенеза. Предполагается, что содержащиеся в обводненных осадках на дне рек или проточных озер растворимые соединения железа поступали в маломинерализованные водотоки и выносились за пределы водоемов. По нашему мнению, проточный диагенез следует рассматривать как особую разновидность обычного субаквального диагенеза.

В характеризуемой кремнисто-калийной толще хорошо сортированные песчано-алевритовые породы фации руслового аллювия (благоприятствующие циркуляции поверхностных и подземных вод) в наибольшей мере подвержены воздействию процессов проточного диагенеза. Связанные с ними линзы и прослойки белоцветных пород четко выделяются среди красноцветно-пестроцветных отложений характеризуемой толщи, где процессы обеления нередко частично также затрагивают и сопредельные пестроцветно-красноцветные алевритово-глинистые или глинистые осадки пойменно-озерных фаций, в большинстве случаев накапливающиеся в условиях субаэрального диагенеза. По данным химического анализа, в обеленных песках алевритах и глинах содержание Fe_2O_3 обычно меняется в диапазоне 1–3.5, FeO – 0.00–0.14%.

Их примером служат охарактеризованные выше красноцветные тонкослоистые пойменные алевритистые глины, развитые у сопки Кин-Кериш, верхняя часть которых была преобразована в горизонте выветривания. Здесь возникали пестро-красные окраски пород, а также происходило их обеление (оглеение) в кровле элювиального профиля. Следовательно, необходимо различать разные генетические типы обеленных пород: связанные с горизонтами выветривания и образовавшиеся с участием проточного диагенеза.

Завершая на этом характеристику строения и состава кремнисто-каолиновой толщи, отметим, что главными ее аутигенными минералами являлись: гематит, гетит, каолинит, опал, халцедон и аллофан, характерные для процессов субаэрального диагенеза.

БОКСИТОНОСНАЯ ТОЛЩА В ОБЛАСТЯХ КАРСТООБРАЗОВАНИЯ

Выше было показано, что на древней пенепплензированной гумидной суше в эрозионно-тектонических впадинах накапливались маастрихт-среднеэоценовые кремнисто-каолиновые отложения. Синхронно в областях карстообразования формировалась бокситоносная толща, которая резко выделяется своим строением и составом. Важно отметить, что в характеризуемую эпоху образование мощной коры выветривания сопровождалось резким усилением интенсивности карстообразования в местах развития карбонатных пород фундамента. Здесь, в ландшафтах пенепплена, возникали небольшие по размеру, но глубокие карстовые воронки, заполненные бокситоносной толщей.

На исследуемой территории карстовые депрессии, заполненные бокситоносными отложениями, встречены (см. рис. 1) в пределах Алтайской возвышенной равнины, а также Казахского щита, где они наиболее полно охарактеризованы на примере Амангельдинской и Акмолинской групп месторождений бокситов [Волков, 1958, 1959а, б; Пасова, 1959; Тюрин, 1971; Цеховский, 1987]. Они обычно представлены узкими и глубокими воронками (достигающими 100–120 м, иногда до 250 м) с крутыми бортами. Их размер, как правило, не превышает нескольких сотен метров. Залегающие в них бокситоносные отложения являются важной составляющей формации коры выветривания, однако они отличаются строением и литолого-фациальным составом от охарактеризованной выше кремнисто-каолиновой толщи. Рассмотрим это на примере Аркалыкского месторождения бокситов, входящего в состав Амангельдинской группы, где они включают три пачки: подрудную, рудную и надрудную (рис. 8).

Подрудная пачка – ашутская свита (мощностью до 80 м), по данным спорово-пыльцевого анализа, датируется маастрихтом. Она залегает на коре выветривания, материнским субстратом которой служат нерастворимый остаток карбонатных пород, а также аргиллиты и глинистые сланцы фундамента. В нижней части пачка слагается углестыми пиритсодержащими, преимущественно гидрослюдистыми глинами (иногда с линзами бурых углей), в ней также содержатся маломощные прослойки и линзы кварцевых песков. Глины имеют тонкую горизонтальную или изогнутую и смятую слоистость. В верхней части они сменяются серыми, белыми, желтыми, фиолетовыми или пятнисто-окрашенными каолиновыми глинами. В подрудной пачке отмечаются также блоки пород глинистой коры выветривания сланцев и обломки известняков, иногда содержащие остатки девонской фауны. Осадочные отложения пачки накапливались в озерно-болотных, озерных, иногда пролювиальных и аллювиальных фациях. В ее кровле на као-

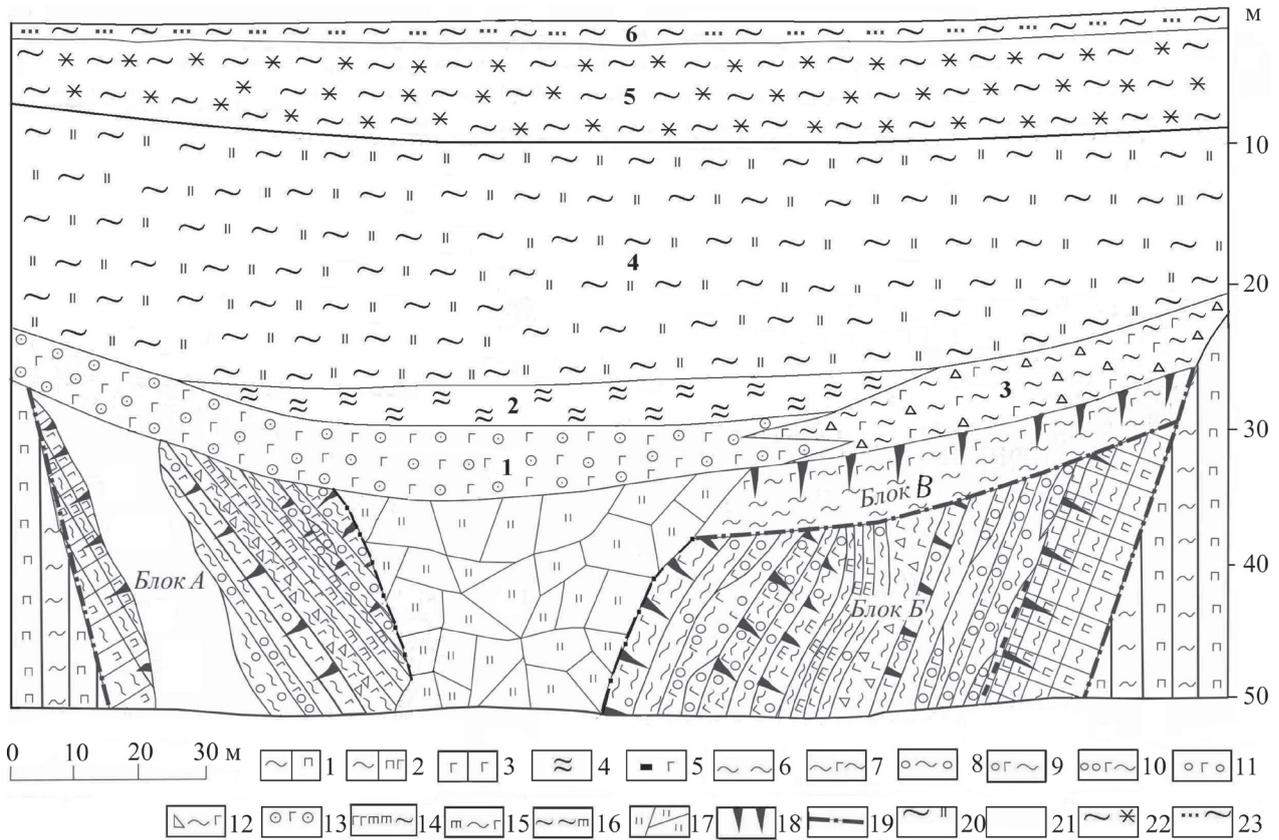


Рис. 8. Разрез карстовой воронки № 1 в карьере Аркалыкского месторождения бокситов (участок 7, лето 1973 г.), по [Цеховский, 2015а].

Бокситоносная толща (маастрихт–средний эоцен): подрудная, рудная и надрудная пачки. 1–3 – *верхняя часть подрудной пачки*: 1 – глины каолиновые, желтые, серые, фиолетовые; 2 – бокситы сухаристые пелитоморфные, каолинит-гипбситовые (во всех литологических типах знак “г” свидетельствует о присутствии гипбсита); 3 – бокситы каменистые, гипбситовые, пелитоморфные из верхней части латеритного горизонта выветривания, развитого на глинах подрудной пачки. 4–19 – *рудная пачка*: 4 – глины белые, каолиновые; 5 – бокситы сухаристые, пелитоморфные, темносерые, углисто-глинистые; 6 – глины красно-бурые каолиновые; 7 – бокситы сухаристые, пелитоморфные, красно-бурые; 8 – глины каолиновые, редкобобовые, красно-бурые; 9 – бокситы сухаристые, редкобобовые, гипбситизированные, красно-бурые; 10 – бокситы сухаристые, галечно-бобовые, гипбситизированные, красно-бурые, глинистые; 11 – бокситы галечно-бобовые гипбситизированные, красно-бурые; 12 – бокситы сухаристые, глинисто-щепнистые, гипбситизированные; 13 – бокситы сухаристые, галечно-бобовые, белые, желтые, гипбситизированные; 14 – бокситы сухаристые, пелитоморфные, каолинит-гипбситовые, желтые, с окисленным растительным детритом; 15 – бокситы сухаристые, пелитоморфные, сильно глинистые, гипбсит-каолиновые, желтые, с окисленным растительным детритом; 16 – глины красно-бурые, каолиновые, с включениями окисленного растительного детрита; 17 – древние обвално-оползневые образования, глинистые, местами бокситовые, красно-бурые, желтые, пестроцветные; 18 – вертикальные пятна ожелезнения и обеления в кровле латеритных горизонтов выветривания; 19 – линии карстовых оползаний блоков. 20 – *надрудная пачка* – пестроцветные каолиновые глины, с железисто-кремнистыми бобовинами; 21 – плохо обнаженные участки бокситоносной толщи; 22 – гипсоносные глины неогеновой аральской свиты; 23 – суглинки антропогена.

Fig. 8. Vertical section through karst Pothole No.1 in the quarry of the Arkalyk bauxite deposit (Prospect 7, summer of 1973), by [Tsekhovskii, 2015a].

Bauxite-bearing unit (Maastrichtian–Middle Eocene): subore, ore, and supraore units. 1–3 – *upper sub-ore unit*: 1 – yellow, gray, and purple kaolinite clay; 2 – kaolinite-gibbsite pelitomorphic bauxite (“g” denotes the presence of gibbsite in any lithologic variety); 3 – stony gibbsite pelitomorphic bauxite in the upper part of the laterite weathering horizon developing on clay of the subore unit. 4–19 – *ore unit*: 4 – white kaolinite clay; 5 – kaolinite-bearing pelitomorphic dark gray clayey-coaly bauxite; 6 – red-brown kaolinite clay; 7 – kaolinite-bearing pelitomorphic red-brown bauxite; 8 – red-brown kaolinite clay with rare pisoliths; 9 – kaolinite-bearing bauxite with rare pisoliths; 10 – kaolinite-bearing shingle-*pisolitic* red-brown clayey bauxite; 11 – gibbsitized shingle-*pisolitic* red-brown bauxite; 12 – kaolinite-bearing clayey-rubble gibbsitized bauxite; 13 – kaolinite-bearing shingle-*pisolitic* gibbsitized white and yellow bauxite; 14 – kaolinite- and gibbsite-bearing pelitomorphic yellow bauxite with oxidized floral detritus; 15 – kaolinite- and gibbsite-bearing pelitomorphic yellow bauxite rich in clay and containing oxidized floral detritus; 16 – red-brown kaolinite clay with oxidized floral detritus; 17 – ancient red-brown, yellow, and variegated landslide-landslide rocks, locally with bauxite; 18 – vertical patches of limonitization and bleaching in the tops of laterite weathering horizons; 19 – lines of karst-controlled slides of rock blocks; 20 – *supra-ore unit* (variegated kaolinite clay with ferriferous-siliceous pisoliths); 21 – poorly outcropped parts of the bauxite unit; 22 – gypsum-bearing clay of the Neogene Aral Formation; 23 – Anthropogenic loam.

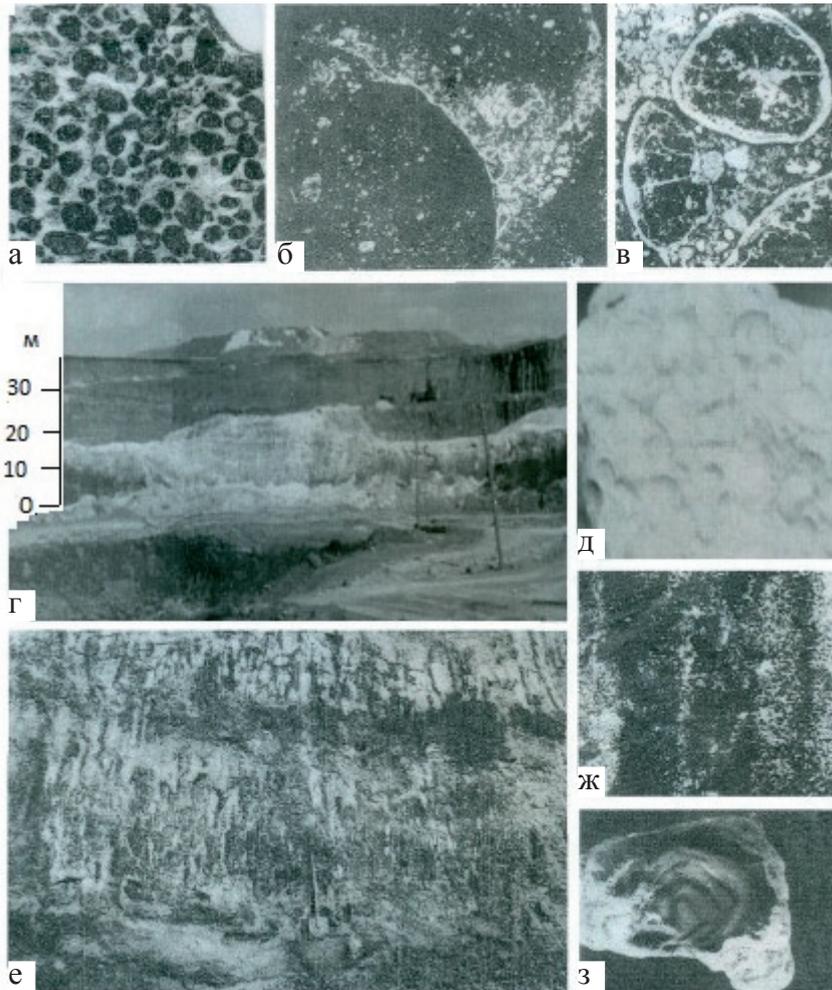


Рис. 9. Фотографии образцов (а, д, з), шлифов (б, в, ж) и обнажений (г, е) рудной пачки в карьере карстовой воронки №1 Аркалыкского месторождения бокситов, по [Цеховский, 2015а].

а – боксит бобовый, с осветленным цементом (делювиально-пролювиальная фация, нат. вел.); б – выделение гиббсита (светлое) в цементе бобового боксита (делювиально-пролювиальная фация), ув. 30, николи скрещены; в – гиббсит (светлый) цементирует бобовины в боксите и образует оторочки вокруг бобовин (делювиально-пролювиальная фация), ув. 30, николь один; г – линза белых аллювиальных галечно-бобовых бокситов и перекрывающих их каолиновых глин среди красноцветно-пестроцветных пород верхней части рудной пачки; д – боксит бобовый, обеленный, из руслового карстового аллювия (нат. вел.); е – разрез слившихся пестроцветных латеритных горизонтов выветривания, с красно-бурыми каолиновыми глинами в основании; ж – микроконкреции гиббсита в обеленных озерных каолиновых глинах, шлиф, ув. 10, николь один; з – конкреция гиббсита из обеленных озерных каолиновых глин (нат. вел.).

Fig. 9. Photos of specimens (a, d, z), thin sections (b, v, zh), and outcrops (g, e) of the ore unit in the opencast mine of the karst pothole No. 1 at the Arkalyk bauxite deposit, by [Tsekhovskii, 2015a].

a – pisolitic bauxite with bleached cement (diluvial–proluvial facies, full scale); б – gibbsite (pale) in the cement of pisolitic bauxite (diluvial–proluvial facies); в – gibbsite (pale) cementing pisoliths in bauxite and forming rinds around the pisoliths (diluvial–proluvial facies); г – lens of white alluvial shingle–pisolitic bauxite and overlying kaolinite clay among red and variegated rocks in the upper part of the ore unit; д – bleached pisolitic bauxite from channel karst alluvium; e – geological section through merged lateritic weathering horizons containing red kaolinite clay in the bottom part; ж – small gibbsite nodules in bleached lacustrine kaolinite clay; з – gibbsite nodule from bleached lacustrine kaolinite clay.

линовых глинах сформировался латеритный горизонт выветривания с пелитоморфными бокситами (см. рис. 8).

Следовательно, в подрудной пачке, наряду с осадочными породами, присутствуют образования коры выветривания. Накопление осадков осу-

ществлялось за счет размыва каолиновой коры выветривания в неглубоких карстовых депрессиях низменной озерно-болотной равнины. Здесь отмечаются также периоды осушения осадков, которые усиливались во время формирования верхней части пачки. В ее кровле на каолиновых гли-

нах сформировался латеритный горизонт выветривания (см. рис. 8), предшествующий образованию рудной пачки.

Рудная пачка бокситоносной толщи (мощностью до 150 м) представлена аркалыкской и токтыгатской свитами, которые датируются палеоценом и ранним–средним эоценом. В отличие от подрудной пачки вся она складывается продуктами перемыва латеритного элювия. Ее породы окрашены в пестро-красные, желтые, белые тона и представлены бокситами (пелитоморфными, щебнистыми, галечно-бобовыми, гравийными), а также аллитами и каолиновыми глинами. Обломочный материал в пачке состоит из неокатанных или окатанных продуктов механического разрушения и переотложения сухаристых или каменистых латеритных бокситов. Характерной особенностью рудной пачки является наличие внутриформационных латеритных горизонтов выветривания (см. рис. 8).

Установлены различные фации, где накапливались бокситоносные отложения (рис. 9). Это делювиально-пролювиальные осадки с красноцветными щебнистыми и бобово-галечными бокситами (а–в) и глинами; аллювиальные (г, д) русловые с обеленными галечно-бобовыми бокситами и вышележащими пойменными глинами; элювиальные пестроцветные, приуроченные к латеритным горизонтам выветривания, пелитоморфные или галечно-бобовые в зависимости от глинистого или обломочного субстрата элювия, а также озерные осадки, представленные глинами и аллитами с микро- и макроконкрециями (ж, з), и озерно-болотные с углистыми глинами и углистыми аллитами, иногда включающими линзы бурых углей

В карстовых бокситах и аллитах выявлены разные формы выделения гиббсита: остаточный, возникший в горизонтах латеритного выветривания и образующий сплошную массу, цемент латеритных обломков, а также оторочки вокруг них (см. рис. 9б, в). За пределами горизонта выветривания поступающий с почвенно-грунтовыми водами хемогенно-осадочный гиббсит встречается в глинах или аллитах озерно-болотных фаций, где образует микроконкреции (см. рис. 9ж) и макроконкреции (см. рис. 9з), достигающие размера 5–10 см. При циркуляции почвенно-грунтовых вод через скопления обломочных (бобовых или галечных) бокситов данный минерал цементирует латеритные обломки. При этом и возникают сухаристые или каменистые галечно-бобовые бокситы, имеющие наибольшее практическое значение.

В постседиментационных преобразованиях осадков рудной пачки участвовали процессы субаэрального и субаквального диагенеза.

Субаэральный диагенез являлся доминирующим процессом в литификации карстовых осадков бокситоносной толщи. Наиболее интенсивно он проявлялся в пестроцветно-красноцветных латеритных гори-

зонтах выветривания (см. рис. 8). Их материнским субстратом служили зрелые по составу продукты перемыва латеритной коры выветривания областей денудации, представленные каолиновыми глинами или глинисто-галечно-бобовыми бокситами. В последних латеритные обломки (галечники или бобовины) сцементированы каолиновыми глинами. В горизонтах выветривания карстовых депрессий осуществлялась латеритизация исходных пород с разрушением каолинита и образованием гиббсита, а также перераспределение окисных соединений железа с появлением вертикальных пятен обеления и ожелезнения.

Это иллюстрируется на примере горизонта выветривания, развитого на каолиновых глинах (рис. 10А). Его материнскими породами служили красноцветные каолиновые глины. В основании элювиального профиля в них появляются вертикальные пятна обеления (зона I). Выше зона II представлена каолинит-гиббситовой породой. Это сухаристый боксит с вертикальными красными пятнами, нередко содержащими гетит-гематит-гиббситовые бобовины и конкреции. В верхах элювиального профиля образуется бокситовая кираса, которая сложена пестро-красными каменистыми пелитоморфными бокситами (зона III). Причем в ее кровле (зона IV) боксит приобретает брекчиевидную структуру.

Химический состав образцов пород характеризуемого горизонта выветривания приведен в табл. 1; их расположение показано на литологической колонке (см. рис. 10А).

Таблица 1. Химический состав пород латеритного горизонта выветривания, мас. %

Table 1. The chemical composition of the rocks of the lateritic horizon of weathering, wt %

Компонент	Номер образца						
	40а	40г	40д	40ж	40з	40и	40к
SiO ₂	36.06	37.66	43.81	15.79	5.99	13.27	2.74
TiO ₂	2.21	2.12	2.45	2.42	3.52	2.79	3.13
Al ₂ O ₃	35.71	32.08	37.87	53.59	36.85	52.23	51.74
Fe ₂ O ₃	9.60	14.11	1.90	0.79	31.05	4.42	13.57
FeO	0.14	Н.о.	0.11	0.07	0.23	0.07	0.11
MnO	Н.о.	То же	Н.о.	Н.о.	0.07	Н.о.	0.02
CaO	0.73	0.73	0.61	0.61	0.84	0.73	0.73
MgO	Н.о.	Н.о.	0.04	0.04	Н.о.	0.09	0.08
Na ₂ O	0.18	0.23	0.23	0.14	0.14	0.18	0.09
K ₂ O	0.12	0.15	0.15	0.09	0.11	0.11	0.08
H ₂ O ⁺	14.18	11.91	13.09	25.83	19.80	25.68	27.17
H ₂ O ⁻	0.68	0.62	0.40	0.26	0.72	0.32	0.44
CO ₂	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0.18	Н.о.	Н.о.
C	0.08	0.09	0.08	0.04	0.11	0.07	0.07
Сумма	99.69	99.70	99.93	99.67	99.61	99.96	99.88

Примечание. Во всех образцах кварц отсутствует. Н.о. – не обнаружено.

Note. In all samples, quartz is absent. Н.о. – not detected.

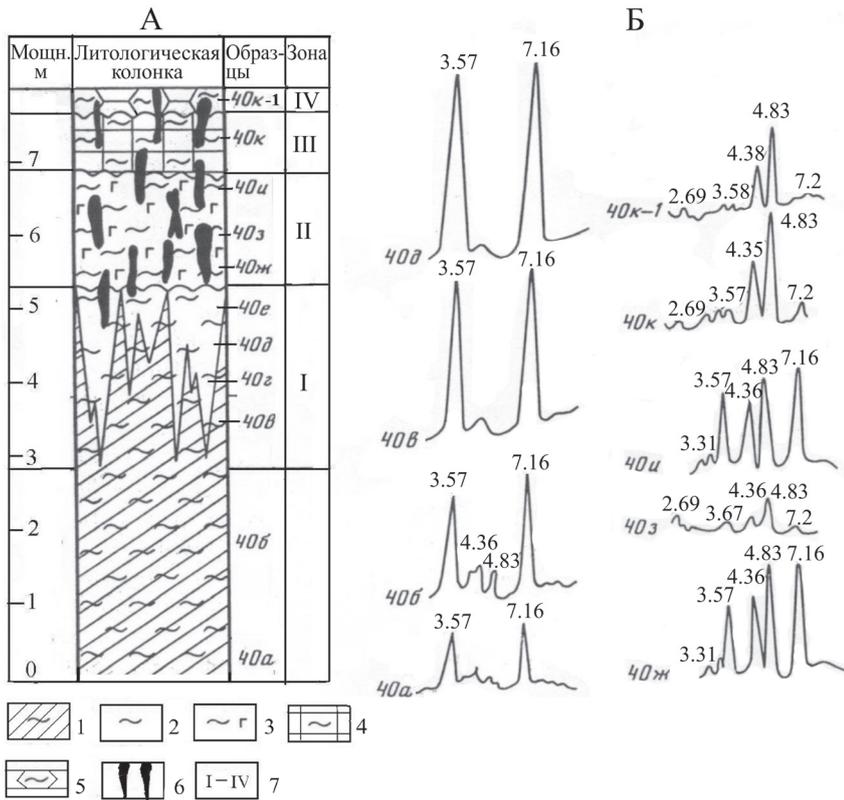


Рис. 10. Строение латеритного горизонта выветривания (А), дифрактограммы образцов (Б) и электронно-микроскопические снимки с микродифракционными картинками (а-1, б-1, в-1) из латеритного горизонта выветривания, ув. 26 000, (В), по [Ерофеев, Цеховский, 1983; Цеховский, 2015а].

А: 1 – глины красно-бурые, материнские, 2 – глины каолиновые обеленные; 3 – боксит сухаристый, гематит-каолинит-гипсбитовый пелитоморфной структуры; 4 – боксит каменистый гематит-гипсбитовый пелитоморфный; 5 – боксит каменистый гематит-гипсбитовый пелитоморфный брекчиевидной структуры; 6 – красные пятна гематита вертикальной ориентировки иногда с включениями гетит-гематитовых бобовин или конкреций; 7 – элювиальные зоны (I – зона нижних пестроцветов, II – зона верхних пестроцветов, III – зона пестроцветной гематит-гипсбитовой кирасы, IV – зона брекчированной гематит-гипсбитовой кирасы.

В: а – каолинит из материнских красно-бурых глин; б, в – аморфизированный каолинит из пестроцветной зоны элювиального профиля; г – гроздевидные выделения гипсбита из пестроцветной латеритной кирасы каменистого пелитоморфного боксита в кровле профиля.

Fig. 10. Structure of the laterite horizon (A), X-ray powder diffraction patterns of the samples (Б), and electron-microscope images with microdiffraction patterns (a-1, б-1, в-1) (from the laterite weathering horizon, magnification 26 000 (B), by [Erofeev, 1983; Tzekhovskii, 2015a].

A: 1 – red-brown native clay; 2 – bleached kaolinite clay; 3 – hematite-kaolinite-gibbsite pelitomorphic bauxite; 4 – stony hematite-gibbsite pelitomorphic bauxite; 5 – stony hematite-gibbsite pelitomorphic brecciated bauxite; 6 – vertical red hematite patches, locally with goethite-hematite pisoliths or nodules; 7 – eluvial zones (I – lower variegated rock zone, II – upper variegated rock zone, III – variegated hematite-gibbsite cuirasse, IV – brecciated hematite-gibbsite cuirasse).

B: а – kaolinite from the native red-brown clay; б, в – amorphized kaolinite from the variegated zone in the alluvium; г – botryoidal gibbsite form the variegated laterite cuirasse of stony pelitomorphic bauxite in the top part of the vertical section.

Процесс разрушения каолинита фиксируется на дифрактограммах (рис. 10Б) и электронно-микроскопических снимках (рис. 10В), что подробно охарактеризовано ранее [Цеховский, Дмитрик, 1970; Ерофеев, Цеховский, 1983; Цеховский, 1987]. Исходный каолинит (а) представлен хорошо ограниченными кристаллами и подтвержден четко выраженной микродифракцией картиной. В процессе выветривания, как и в охарактеризованных выше железисто-кремнисто-каолиновых элювиальных профилях Зайсанской впадины, вначале происходит дробление его крупных зерен и аморфизация (аллофанизация) каолинита. При этом кристаллы (б, в) теряют огранку, округляются, их микродифракционные картины становятся нечеткими или исчезают, а на дифрактограммах образцов пород уменьшается интенсивность базальных рефлексов каолинита. На термограммах так же резко сокращаются характерные для каолинита эндо- и экзотермические эффекты. В результате разложения каолинита и выноса кремнезема формируется гиббсит, образующий мелкие гроздеобразные выделения (г).

В рассматриваемых горизонтах выветривания каолинит-бокситовой толщи, как и в охарактеризованной выше кремнисто-каолиновой, основываясь на приведенных данных, можно предположить, что растворению каолинита предшествовала фаза его аморфизации [Цеховский, Дмитрик, 1970].

Гелевая природа гиббсита доказывается широким развитием его агрегатов с колломорфной структурой в породах бокситоносной толщи [Бениславский, 1959]. В результате раскристаллизации геля происходило образование мелкокристаллического гиббсита. Этот минерал входил в состав цемента обломочных бокситов, формировал оторочки вокруг латеритных обломков и конкреций, а также заполнял поры и пустоты в погребенных латеритных горизонтах выветривания. Интенсивная цементация характеризуемым глиноземистым минералом рыхлых обломочных бокситов способствовала возникновению их каменистых разновидностей – кирас обломочной цементации. Он же (вместе с гетитом и гематитом) заполнял поры и пустоты в погребенных латеритных кирасах, венчающих горизонты выветривания, что усиливало окаменение слагающих пород.

Субаквальный диагенез проявлялся в аллювиальных, озерных и озерно-болотных отложениях подрудной и рудной пачки бокситоносной толщи. С его разновидностью (проточным диагенезом) было связано восстановление и вынос окиси железа с образованием обеленных пород: каолиновых глин, аллитов и бокситов (галечно-бобовых или пелитомофных). Линзы и пласты этих белочетных пород резко четко выделяются среди красноцветно-пестроцветных отложений бокситоносной толщи. Это можно видеть и в карьере

охарактеризованного выше Аркалыкского карстового месторождения бокситов, где белочетные галечно-бобовые бокситы и глины слагают фацию балочного аллювия (см. рис. 9г).

Г.И. Бушинский [1977] отмечает важный вклад проточного диагенеза в образование бокситоносных толщ различных регионов. Им показан вынос соединений железа, обеление аллювиально-озерных отложений затрагивает не только глины, но и галечно-бобовые бокситы русловых фаций, причем этот процесс может также сопровождаться частичным удалением из пород кремнезема. При этом формируются обеленные галечно-бобовые бокситы – наиболее высококачественные разновидности малозжелезистых глиноземистых руд, которые, по данным [Цеховский, 1987], встречаются и на Аркалыкском месторождении бокситов (см. рис. 10В). Содержание Fe_2O в них снижается до 1.2–3.5, FeO – 0.00–0.23%. Для обычных красноцветных бокситов значения колебаний этих компонентов соответственно составляют 14–27 и 0.00–0.23%.

Однако в целом процессы проточного диагенеза остаются еще слабо изучены и необходима постановка дальнейших исследований. Такая работа имеет и важное практическое значение, так как решает вопросы генезиса в формации коры выветривания характерных для нее полезных ископаемых (малозжелезистых огнеупорных или тугоплавких глин, стекольных кварцевых песков и высокоглиноземистых обеленных галечно-бобовых бокситов).

Процесс растворения и перераспределения остаточного глинозема усиливался при заболачивании латеритных горизонтов выветривания. Гиббсит при низких значениях pH (<4.2), возникающих в местах разрушения почвенной органики, частично растворялся в почвенно-грунтовых водах и перераспределялся в бокситоносных отложениях [Волков, 1959]. В местах высокого насыщения кислых озерно-болотных вод растворенным глиноземом происходила хемогенная садка гиббсита с образованием аллитов. Последние представлены каолиновыми глинами, насыщенными отмеченными выше микро- и макроконкрециями гиббсита. В подобных фациальных обстановках также формировались и черные углисто-глиноземистые аллиты [Пасова, 1959; Тюрин, 1971], иногда фациально замещающие бокситовые руды. Они представлены сажистыми породами с включениями лигнита, зольная часть которых состоит из гиббсита и каолинита. Эти породы могут считаться бокситами лишь в пересчете на золу. Кроме того, среди озерно-болотных отложений встречен пласт минерализованного торфяника (мощностью 10 см), органическая часть которого почти полностью замещена гидроокислами железа и гиббситом [Цеховский, 1987]. Здесь же наблюдаются замещенные гиббситом корни рас-

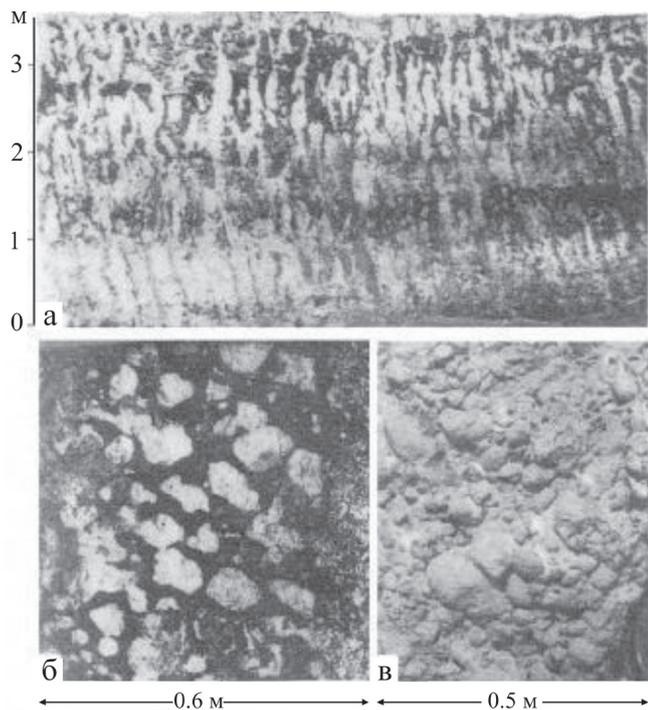


Рис. 11. Обнажения надрудной акжарской свиты в карьере Аркалыкского месторождения, по [Цеховский, 2015а].

а – слившиеся железисто-кремнистые горизонты выветривания в разрезе; б – пятна обеления и ожелезнения в горизонте выветривания (план); в – форма железисто-кремнистых бобовин, слагающих линзу в пестроцветных глинах акжарской свиты.

Fig. 11. Outcrops of the supra-ore Akzhar Formation in the quarry of the Arkalyk deposit, by [Tsekhovskii, 2015a].

а – merged ferriferous-silicic weathering horizons in the section; б – bleaching and limonitization patches in the weathered horizon (map view); в – ferriferous-silicic pisoliths composing a lens in variegated clay of the Akzhar Formation.

тений. Необходимо также отметить появление в углистых глинах и аллитах мелких стяжений пирита, что характерно для процессов обычного субаквального диагенеза.

Особенности строения бокситоносных карстовых залежей

В характеризуемой карстовой воронке при формировании рудной пачки горизонтальное или полого-наклонное залегание осадков было нарушено крупноамплитудной просадкой дна, куда сползли крупные ее блоки (см. рис. 8, блоки А–В). При этом полость в центре воронки заполнялась коллювиальными обвально-оползневыми образованиями. С просадкой дна карстовых воронок связано возникновение в подрудной пачке перемятой и изогну-

той слоистости в глинах, а также появление среди осадочных пород блоков коры выветривания сланцев и обломков известняков. Все эти породы слагают нижний карстовый этаж воронки. В ее верхнем этаже литолого-стратиграфические подразделения, выделенные и пронумерованные на рис. 8 (1–6), имеют ненарушенное первичное горизонтальное или полого-наклонное залегание. В кровле рудной пачки развиты обеленные галечно-бобовые бокситы (1) и каолиновые глины (2) руслового и пойменного аллювия, расположенные в центре воронки, а также красноцветные щелбнистые бокситы (3) вдоль одного из ее бортов.

Обычно в строении характеризуемой карстовой бокситоносной толщи Казахстана преобладают красноцветные обломочные галечно-бобовые бокситы (см рис. 2, колонки 7, 8), но иногда встречаются также воронки с широким развитием углисто-глинистых пород (см. рис. 2, колонки 9, 10). Это послужило основанием для выделения бокситоносных отложений Казахстано-Енисейской провинции в составе углисто-бокситовой формации [Лавров, 1965]. Однако дальнейшее их изучение многими геологами показало результаты, противоречащие этому выводу: в карстовой бокситоносной толще углистые и угленосные породы в целом слагают сравнительно небольшую ее часть.

К надрудной пачке характеризуемой толщи на Амангельдинских месторождениях бокситов обычно относят каолиновые глины с кварцевыми песками. Они выделяются в составе кенетайской свиты, мощностью до 100 м, которая датируется спорово-пыльцевыми комплексами второй половины среднего эоцена (по данным [Тюрин, 1971]). В изученной нами воронке (как и ряде других воронок Амангельдинских месторождений) эта пачка отсутствует, а ее место занимает акжарская свита (см. рис. 8, 4). Важно отметить, что она прослежена и за пределами рудных карстовых воронок в пределах Тургайской впадины (см. рис. 1), где залегает на коре выветривания или продуктах ее перемыва [Волков, 1959а, б; Цеховский, 1987].

Акжарская свита представлена пестроцветными каолиновыми глинами (нередко с примесью галлуазита), неслоистыми, местами песчанистыми и изредка содержащими линзы кварцевых песков. В ней встречаются многочисленные вертикальные красные пятна, нередко обогащенные гетит-гематитовыми конкрециями (рис. 11а, б), характерные для железисто-кремнистых горизонтов выветривания, которые так же имеются и в рассмотренной выше Зайсанской впадине. Во многих разрезах свиты слагающие ее глины практически полностью преобразованы слившимися горизонтами выветривания. В ее породах наблюдаются также бобовины, сложенные опалом и гетит-гематитом. Бобовины локализируются в красных пятнах, или их скопления образуют небольшие линзы в глинах (рис. 11в). Они

содержат, мас. %: SiO_2 – до 17–76, Al_2O_3 – до 3–11, Fe_2O_3 – до 15–63. Преобразование глин в железисто-кремнистых горизонтах выветривания акжарской свиты сходно с таковым, выявленным в Зайсанской впадине. В них отмечается каолинизация примеси гидрослюдов и смектитов, присутствующих в исходных каолиновых глинах, а также аморфизация и аллофанизация каолинита [Цеховский, 1987].

Следует отметить, что при залегании акжарской свиты на бокситовых рудах последние часто испытывают вторичную каолинизацию (ресилификацию). По данным [Жуков, 1983; Цеховский, 1987], каолинизированные бокситы представлены пестро-красными породами средней мощностью 1–1.5 м. Ниже в рудах субвертикальные пятна, прожилки обеления и каолинизации прослеживаются на глубину от 2 до 7–10 м. Наиболее интенсивная каолинизация кровли бокситов связана с формирующимися на их поверхности красноцветно-пестроцветными железисто-кремнистыми горизонтами выветривания. Таким образом, в древнем внутриформационном элювии карстовых областей происходило не только разрушение каолинита с формированием гиббсита, но и обратный процесс, приводящий к каолинизации бокситов. Однако этот процесс следовал за прекращением карстообразования, когда на месте разрозненных карстовых воронок формировались более крупные впадины.

Предполагается, что акжарские глины накапливались в озерах низменной равнины [Волков, 1959а, б]. Но в этих породах отсутствуют характерные признаки озерных отложений (горизонтальная слоистость, хорошая сортировка пород, остатки растительности, водная фауна) и, кроме того, породы интенсивно переработаны почвенными процессами. Они практически сходны с охарактеризованным выше в Зайсанской впадине равнинным глинистым пролювием плоскостного смыва, преобразованным железисто-кремнистыми горизонтами выветривания [Цеховский, 1987]. Поэтому зайсанскую модель образования пестроцветных глин мы привлекаем и для расшифровки генезиса пород акжарской свиты.

Возраст акжарской свиты остается дискуссионным. Обычно предполагают ее датировку в диапазоне от позднего эоцена до олигоцена. Однако, судя по строению и составу, породы свиты являются типичным представителем кремнисто-каолиновой толщи формации коры выветривания. На Амангельдинских месторождениях они слагают верхнюю надрудную часть карстовых бокситов или залегают на каолиновых корах выветривания, а также продуктах их перемыва за пределами карстовых областей. Кроме того, в ряде случаев (по мере общего погружения территории) на месте разрозненных воронок, осложняющих древнюю область денудации, возникала аккумулятивная впадина со сплошным осадочным чехлом. Под ним прекращалось карсто-

образование, а накапливающиеся осадки подвергались окремнению и ожелезнению, как и в охарактеризованных выше эрозионно-тектонических депрессиях. На всей территории Казахстана, Алтая и прилегающих районов Сибири возраст кровли этой кремнисто-каолиновой толщи (по остаткам флоры и результатам спорово-пыльцевого анализа) не выходит за пределы среднего эоцена [Ерофеев, Цеховский, 1983; Цеховский, 1987]. Поэтому данная датировка и принимается для акжарской свиты на западе Казахского щита.

Неогеновые и четвертичные отложения. В характеризованных карстовых воронках бокситоносная толща и венчающая ее акжарская свита перекрываются (см. рис. 8) зеленоцветными гипсоносными глинами неогеновой аральской свиты (5) и четвертичными коричневыми суглинками, супесями, песками и галечниками (6). Эти толщи сформировались после этапа активного карстообразования на рассматриваемой территории (как и акжарская свита).

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КРЕМНИСТО-КАОЛИНОВОЙ И БОКСИТОНОСНОЙ ТОЛЩ

В строении и составе двух рассмотренных выше составляющих формации коры выветривания (кремнисто-каолиновой и бокситоносной), приуроченных соответственно к эрозионно-тектоническим впадинам и карстовым воронкам, выявлены существенные различия.

Кремнисто-каолиновая толща в эрозионно-тектонических впадинах представлена преимущественно тонкообломочными кварц-каолиновыми красноцветно-пестроцветными отложениями, связанными с субаральными обстановками осадконакопления и в большинстве случаев испытывающими постседиментационные преобразования при субаральном диагенезе. Его процессы приводили к каолинизации незрелого алюмосиликатного материала (местами образующего небольшую примесь в кварц-каолиновых осадках), перераспределению окисного железа с формированием пестро-красных окрасок пород, коррозии зерен кварца, аморфизации и аллофанизации каолинита, а также образованию кремнистых и железистых кирас. В играющих резко второстепенную роль обстановках субаквального диагенеза (включая его разновидность – проточный диагенез) происходили вынос соединений железа и обеление аллювиально-озерных отложений.

В *карстовых областях* условия строения и образования кварц-каолиновых пород подрудной и надрудной пачек бокситоносных отложений во многом были подобны охарактеризованной выше кремнисто-каолиновой толще. Эти пачки формировались в эрозионно-тектонических депрессиях

среди пенепленизированных ландшафтов при общем понижении рельефа, когда здесь прекращались процессы карстообразования.

Условия осадконакопления рудной пачки резко менялись. При общем поднятии рельефа среди пенепленизированных ландшафтов (с тонкообломочными продуктами перемыва каолиновых кор выветривания) на карбонатных породах фундамента формировался расчлененный карстовый рельеф с узкими и глубокими воронками. Здесь в условиях активного дренажа подземных вод формировались латеритные коры выветривания в областях денудации, которые сменялись латеритными горизонтами выветривания в бокситоносных отложениях, заполняющих карстовые депрессии. В последних, наряду с каолиновыми глинами, широкое развитие получали грубообломочные (бобово-галечно-щебнистые) делювиально-пролювиальные и местами аллювиальные отложения. При неровной поверхности дна карстовых воронок в их понижениях нередко появлялись небольшие озера, болота, а иногда и реки. Здесь местами накапливались углистые озерно-болотные и пойменные отложения: глины и аллиты, иногда с линзами бурых углей. В этой связи напомним, что породы, обогащенные органическим веществом, за пределами областей карстообразования в кремнисто-каолиновой толще встречаются очень редко, а угли в ней совсем отсутствуют.

С доминирующими процессами субаэрального диагенеза (наиболее ярко выраженными во внутриформационных латеритных горизонтах выветривания) связано возникновение пестро-красных тонов пород, разрушение каолинита и накопление остаточного гиббсита в латеритном элювии. В почвенно-грунтовых водах происходило также перераспределение соединений алюминия и железа. При этом гиббсит выделялся в форме оторочек вокруг переотложенных латеритных обломков, цементировал их, а также заполнял поры и пустоты в погребенных горизонтах выветривания. Подобным же образом перераспределялись гидроокислы железа. Все эти процессы приводили к окаменению исходных пород и образованию глиноземистых кирас.

В каолинит-бокситовой толще (как и в охарактеризованной выше кремнисто-каолиновой) широко развиты кирасы как гидроморфно-элювиальные, так и обломочной цементации. Здесь их образование связано с латеритным выветриванием каолиновых пород в автоморфную стадию и дальнейшим преобразованием в гидроморфную стадию. В последнем случае в понижениях днищ воронок за счет бокового притока почвенно-грунтовых вод, обогащенных растворенными соединениями железа и глинозема, происходила дополнительная гиббситизация и ожелезнение пористых элювиальных пород горизонтов выветривания.

Выявлены резкие различия строения, состава и условий образования элювиальных пород кремнисто-каолиновой и каолинит-бокситовой толщ в корях выветривания областей денудации и горизонтах выветривания областей осадконакопления.

В областях денудации элювиальный профиль формируется на не зрелых по составу алюмосиликатных породах. Здесь начальная щелочная стадия образования элювия (с выносом легко растворимых соединений щелочных металлов) сменяется кислой стадией [Страхов, 1963]. При этом, наряду с продолжающимся разрушением силикатов, а также выносом оснований и SiO_2 , начинается миграция трудно растворимых гидроокислов алюминия, железа, марганца (и отчасти титана).

Характеризуемые горизонты выветривания образуются на зрелых по составу кварц-каолиновых или каолинит-бокситовых породах в повышенных участках (с автоморфным режимом). Здесь выветривание начинается сразу со второй (кислой) стадии и в элювиальном профиле происходит перераспределение или вынос труднорастворимых соединений кремния, железа и алюминия. По мере погружения дна впадин в пониженных участках рельефа (с гидроморфным режимом) в пористые породы горизонтов выветривания осуществлялся боковой приток минерализованных почвенно-грунтовых вод, что приводило к окремнению, ожелезнению или гиббситизации осадочных пород.

Смена каолинового элювия на латеритный в корях и горизонтах выветривания связана с интенсивным выносом кремнезема. Этот процесс усиливался при активном дренаже поверхностных вод в карстовых областях. Широкое развитие карбонатных пород в областях карстообразования приводило также к подщелачиванию здесь почвенно-грунтовых вод, что, согласно данным Н.М. Страхова [1963], дополнительно способствовало выносу кремнезема и латеритизации пород.

В каолинит-бокситовой толще (как и в кремнисто-каолиновой) возрастала роль процессов субаквального диагенеза (включая его разновидность – проточный диагенез). При этом происходило обеление озерно-болотных и аллювиальных отложений, возникали глинистые или углисто-глинистые аллиты с макро- и микроконкрециями гиббсита, а также отмечается замещение глиноземом растительного детрита. С обычным диагенезом связано лишь появление конкреций пирита в угленосных отложениях характеризуемой толщи.

Для Амангельдинского района выявлена следующая эволюция ландшафтов и процессов осадконакопления на протяжении позднего мела и начала палеогена. В докарстовый этап (маастрихт) в ландшафтах низменной равнины здесь формировались каолиновые коры выветривания и связанные с их перемывом каолиновые и каолинит-гидрослоистые глины с линзами кварцевых песков ашутской под-

рудной пачки. В палеоцене и начале эоцена отмечается регрессия Туранского и Западно-Сибирского морей, омывающих Казахский щит. Как следствие, в пределах характеризуемого участка Казахского щита возникла возвышенная равнина, где активный дренаж поверхностных вод способствовал интенсивному карстообразованию [Волков, 1958; Жуков, 1983]. При этом на данной территории элювиальная каолинизация пород сменялась процессами латеритного выветривания и происходило накопление бокситоносной рудной пачки.

В среднем эоцене, при трансгрессии упомянутых выше морей, осуществлялось общее понижение характеризуемой территории. Здесь, в пенеуплененных ландшафтах низменной равнины, ослабевало или прекращалось образование карста, затруднялся дренаж поверхностных вод и, как следствие, в горизонтах выветривания латеритный элювий вновь сменялся кварцево-каолиновым. При этом формировались надрудные существенно глинистые кремнисто-каолиновые породы акжарской свиты, строение, состав и условия образования которой во многом были аналогичны рассмотренной выше кремнисто-каолиновой толщине внекарстовых областей.

ВЫВОДЫ

В статье на примере отложений пограничной мел-палеогеновой эпохи Северного Казахстана и Южной Сибири показано своеобразие процессов литогенеза для областей с гумидным субтропическим климатом и в эпоху пенеуплененности суши. Они резко отличны от современных, происходящих в орогенных ландшафтах при расчлененном рельефе. При этом существенно меняются все звенья цепи литогенеза: условия выветривания и мобилизации материала в областях денудации, характер его транспортировки и осадконакопления в области аккумуляции, а также процессы диагенеза. В это время формировались мощные коры выветривания и накапливались зрелые по составу продукты ее перемыва, представленные красноцветнопестроцветными толщами: кремнисто-каолиновой в эрозионно-тектонических впадинах и каолинит-бокситовой в карстовых депрессиях.

При малых объемах терригенного материала, поступающего из выровненных областей денудации, в областях аккумуляции часто проявлялись перерывы осадконакопления, с которыми связано возникновение внутриформационных горизонтов выветривания. В субэаральных обстановках продукты разрушения обильной субтропической растительности не захоронялись в осадках и не участвовали в постседиментационных преобразованиях, а разлагались на их поверхности.

Литификация большей части осадков была связана с процессами субэарального диагенеза, осо-

бенно интенсивно проявлявшимися во внутриформационных горизонтах выветривания. При субэаральном диагенезе осуществлялись: довыветривание незрелого по составу терригенного материала (небольшая примесь которого могла присутствовать в осадках), частичное или полное разрушение каолинита, а также привнос и перераспределение окислов кремния, алюминия и железа. Они образуют конкреции или стяжения, цементируют обломки пород и участвуют в формировании кремнистых, железистых или глиноземистых кирас.

Процессы субэарального диагенеза в большинстве случаев были представлены его разновидностью – проточным диагенезом, с которыми было связано обеление пород, а также перераспределение минералов железа и глинозема в каолинт-кремнистой и бокситоносной толщах. При обычном типе диагенеза возникают конкреции пирита в линзах и пластах угленосных озерно-болотных отложений, изредка встречающихся в карстовых депрессиях вместе с бокситами.

Главными аутигенными образованиями формации коры выветривания являлись минералы свободного кремнезема, глинозема, гидроокислов железа, а также аморфизированный каолинит и аллофан.

В целом результаты поведенных исследований (на примере пограничной мел-палеогеновой эпохи для Северного Казахстана и Южной Сибири) раскрывают особенности процессов литогенеза в древних пенеуплененных ландшафтах с гумидным субтропическим палеоклиматом, при котором накопление и литификация осадков принципиально отличались от современных. Этот вывод следует учитывать при дальнейшей разработке теории литогенеза.

Авторы выражают благодарность Ю.О. Гаврилову за ценные советы и консультации.

Работа выполнена по госбюджетной теме ФГУП ГИН РАН № 0135-2014-0067.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Барабошкин Е.Ю., Вейрман А.Б., Кораевич Л.Ф., Найдин Д.П. (2002) Изучение стратиграфических перерывов при производстве геологической съемки. М.: Изд-во МГУ, 135 с.
- Бениславский С.И. (1959) Амангельдинские бокситы – сырье для производства глинозема. *Тр. Ин-та геол. наук*. Вып. 2. Алма-Ата: Изд-во АН Каз. ССР, 151-159.
- Бушинский Г.И. (1977) О выветривании, промывном гидролизе и проточном диагенезе. *Литология и полезн. ископаемые*, (6), 32-43.
- Волков А.Н. (1958) Бокситы Казахстана и их генезис. *Бокситы, их минералогия и генезис*. М.: Изд-во АН СССР, 393-415.
- Волков А.Н. (1959а) Геологическое строение района Амангельдинских месторождений бокситов и огне-

- упорных глин. *Тр. Ин-та геол. наук.* Вып. 2. Алма-Ата: Изд-во АН Каз. ССР, 3-35.
- Волков А.Н. (1959) Условия образования бокситов. *Тр. Ин-та геол. наук.* Вып. 2. Алма-Ата: Изд-во АН Каз. ССР, 104-128.
- Геологический словарь. (1978) Т. 1. М.: Недра, 486 с.
- Гидрогеология. (1984) (Под ред. В.М. Шестакова и М.С. Орлова). М.: Изд-во МГУ, 317 с.
- Глазовская М.А. (1972) Почвы мира. М.: Изд-во МГУ, 231 с.
- Добровольский В.В. (1974) Гипергенные образования Восточной Африки. *Восточно-Африканская рифтовая система.* Т. 2. М.: Наука, 5-56.
- Дюшофур Ф. (1970) Основы почвоведения. М.: Прогресс, 587 с.
- Ерофеев В.С., Цеховский Ю.Г. (1983). Парагенетические ассоциации континентальных отложений. Семейство гумидных парагенезов. М.: Наука, 192 с.
- Жуков В.В. (1983) Карстовые бокситы Аркалыкского месторождения. *Условия образования и факторы сохранности бокситовых месторождений СССР.* М.: Наука, 92-99.
- Казаринов В.П. (1958). Мезозойские и кайнозойские отложения Западной Сибири. М.: Гостоптехиздат, 148 с.
- Казаринов В.П. (1973). О понятии "формация коры выветривания". *Литология и полез. ископаемые*, (1), 117-120.
- Лавров В.В. (1965) Палеогеновые угленосные формации платформенных территорий Казахстана и Сибири. М.: Наука, 132 с.
- Лидер М.Р. (1986) Седиментология. М.: Мир, 436 с.
- Лизалек Н.А., Филатов В.Ф. (1986) Геология и генезис алюминитов Сибири. *Сов. геология*, (3), 41-49.
- Милановский Е.Е. (1995) Пульсации Земли. *Геотектоника*, (5), 3-24.
- Милло Ж. (1968) Геология глин. Л.: Недра, 356 с.
- Никонова Р.И. (1987) Рифтогенные зоны Евразии как зоны деструктивного эндо- и экзогеоморфогенеза. *Геодинамика морфоструктур.* Владивосток: Изд-во Тихоокеан. ин-та географии АН СССР, 20-31.
- Никонова Р.И., Худяков Г.И. (1982) Структурно-тектонические условия формирования пенепплена. *Морфоструктуры Дальнего Востока.* Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 3-23.
- Парфенова Е.И. Ярилова Е.А. (1962) Минералогические исследования в почвоведении. М.: Изд-во АН СССР, 102 с.
- Пасова Ф.Г. (1959). Химико-минералогическая характеристика бокситов. *Тр. Ин-та геол. наук.* Вып. 2. Алма-Ата, 36-68.
- Петров М.П. (1973) Пустыни земного шара. Л.: Наука, 433 с.
- Полынов Б.Б. (1956). Избранные труды. М.: Изд-во АН СССР, 748 с.
- Разумова В.Н. (1977) Древние коры выветривания и гидротермальный процесс. М.: Наука, 155 с.
- Страхов Н.М. (1963) Типы литогенеза и их эволюция в истории Земли. М.: Госнаучтехиздат, 535 с.
- Таргульян В.С. (1971). Почвоведение и выветривание в холодных гумидных областях. М.: Наука, 268 с.
- Тюрин Б.А. (1971) Платформенное осадконакопление на территории Казахстана. *Платформенные бокситы СССР.* М.: Наука, 154-192.
- Цеховский Ю.Г. (1973) Литогенез континентальной пестроцветной кремнисто-гетит-каолиновой формации (Восточный Казахстан). М.: Наука, 183 с.
- Цеховский Ю.Г. (1987) Седименто- и литогенез гумидных красноцветов на рубеже мела и палеогена в Казахстане. М.: Наука, 188 с.
- Цеховский Ю.Г. (2015а) Седиментогенез и геодинамика в пограничную мел-палеогеновую эпоху пенеппленизации континентов. *Сообщ. 1. Центральная и Восточная Евразия. Литосфера*, (1), 5-23.
- Цеховский Ю.Г. (2015б) Седиментогенез и геодинамика в пограничную мел-палеогеновую эпоху пенеппленизации континентов. *Сообщ. 2. Платформы и подвижные пояса континентов. Литосфера*, (2), 5-16.
- Цеховский Ю.Г., Дмитрик А.Л. (1970) Об аллофанизации каолинита. *Литология и полез. ископаемые*, (1), 79-85.
- Черкасов Г.Н. (1989) Генетическая модель проявлений алюмосульфатов и их поисковые критерии. *Сов. геология*, (1), 43-49.

REFERENCES

- Baraboshkin E.Yu., Veirman A.B., Koraeovich L.F., Naidin D.P. (2002). *Izuchenie stratigraficheskikh pereryvov pri proizvodstve geologicheskoi s'emki* [Study of stratigraphic breaks in the production of geological surveys]. Moscow, Moscow St. Univ. Publ., 135 p. (In Russian)
- Benislavskii S.I. (1959) Amangeldy bauxite is a raw material for the production of alumina. *Trudy Instituta geol. nauk.* Vyp. 2. Alma-Ata, AN Kaz. SSR Publ., 151-159. (In Russian)
- Bushinskii G.I. (1977) On weathering, washing hydrolysis and flow diagenesis. *Litol. Polesn. Iskop.*, (6), 32-43. (In Russian)
- Cherkasov G.N. (1989) Genetic model of aluminosulfate manifestations and their search criteria. *Sovetskaya Geologiya*, (1), 43-49. (In Russian)
- Dobrovolskii W.W. (1974) Hypergenic formations of East Africa. *Vostochno-Afrikanskaya riftingaya sistema.* Т. 2. [East African Rift System V. 2]. Moscow, Nauka Publ., 5-56. (In Russian)
- Dyushofur F. (1970) *Osnovy pochvovedenia* [Fundamentals of Soil Science]. Moscow, Progress Publ., 587 p. (In Russian)
- Erofeev V.S., Tsekhovskii Yu. G. *Parageneticheskie assotsiatsii kontinental'nykh otlozhenii. Semeistvo gumidnykh paragenезov* [Paragenetic associations of continental sediments. Family of humid paragenesis]. Moscow, Nauka Publ., 192 p. (In Russian)
- Geologicheskii slovar' T. 1.* (1978) [Geological dictionary. V.1]. Moscow, Nedra Publ., 486 p. (In Russian)
- Gidrogeologiya* [Hydrogeology] (1984) (Pod red. V.M. Shestokova i M.S. Orlova). Moscow, Moscow St. Univ. Publ., 317 p. (In Russian)
- Glasovskaya M.A. (1972) *Pochvy mira* [Soils of the world]. Moscow, Moscow St. Univ. Publ., 231 p. (In Russian)
- Kazarinov V.P. (1958) *Mezozoiskie i kainozoiskie otlozheniya Zapadnoi Sibiri* [Mesozoic and Cenozoic deposits of Western Siberia]. Moscow, Gostoptekhisdat Publ., 148 p. (In Russian)
- Kazarinov V.P. (1973) On the concept of "weathering crust formation". *Litol. Polezn. Iskop.* (1), 117-120. (In Russian)
- Lavrov V.V. *Paleogenovye uglenosnye formatsii platformy*

- mennykh territorii Kasakhstana i Sibiri* [Paleogene coal-bearing formations of the platform territories of Kazakhstan and Siberia]. Moscow, Nauka Publ. 132 p. (In Russian)
- Lider M.R. *Sedimentologiya* [Sedimentology]. (1986) Moscow, Mir Publ. 436 p. (In Russian)
- Lisalik N.A., Filatov V.F. (1986) Geology and genesis of aluminites of Siberia. *Sovetskaya Geologiya*, (3), 41-49. (In Russian)
- Milanovskii E.E. (1995) Pulsations of the Earth. *Geotektonika*, (5), 3-24. (In Russian)
- Millo Zh. (1968). *Geologiya glin* [Geology of clay]. Leningrad, Nedra Publ. 356 p. (In Russian)
- Nikonova R.I. (1987) Riftogenic zones of Eurasia as a zone of destructive endo- and exogeomorphogenesis. *Geodinamika morfostruktur* [Geodynamics of morphostructures]. Vladivostok: Tikhookeanskii Inst. Geografii AN SSSR. P. 20-31. (In Russian)
- Nikonova R.I., Khudyakov G.I. (1982) Structural-tectonic conditions for the formation of peneplain. *Morfostruktury Dal'nego Vostoka* [Morphostructures of the Far East]. Vladivostok, DWNTs AN SSSR. P. 3-23. (In Russian)
- Parfenova E.I., Yarilova E.A. (1962) *Mineralogicheskoe issledovaniya v pochvovedenii* [Mineralogical studies in soil science]. Moscow, AN SSSR. 102 p. (In Russian)
- Pasova F.G. (1959) Chemical and mineralogical characteristics of bauxite. *Tr. In-ta geol. nauk. Vyp. 2. Alma-Ata, AN Kaz. SSR Publ.*, P. 36-68. (In Russian)
- Petrov M.P. (1973) *Pustyni zemnogo shara* [Desert of the globe]. Leningrad, Nauka Publ., 433 p. (In Russian)
- Polynov B.B. (1956) *Izbrannye trudy* [Selected Works]. Moscow, AN SSSR. 748 p. (In Russian)
- Razumova V.N. (1977). *Drevnie kory vyvetrivanija i gidrotermalni protsess* [Ancient weathering crust and hydrothermal process]. Moscow, Nauka Publ., 155 p. (In Russian)
- Strakhov N.M. (1963) *Tipy litogeneza i ikh evolyutsiya v istorii Zemli* [Types of lithogenesis and their evolution in the history of the Earth]. Moscow, Gosnauchtekhizdat. Publ., 535 p. (In Russian)
- Targul'yan V.S. (1971). *Pochvoobrasovanie i vyvetrivanje v kholodnykh gumidnykh oblastiakh* [Soil formation and weathering in cold humid areas]. Moscow, Nauka Publ., 268 p. (In Russian)
- Tsekhovskii Yu.G. (1973) *Litogenez kontinental'noi pestrjetsvetnoi kremnisto-getit-kaolinovoi formatsii (Vostochnyi Kazakhstan)* [Lithogenesis of the continental variegated siliceous-goethite-kaolin formation (East Kazakhstan)]. Moscow, Nauka Publ., 183 p. (In Russian)
- Tsekhovskii Yu.G. (1987) *Sedimento- i litogenez gumidnykh krasnotsvetov na rubezhe mela i paleogena v Kasakhstane* [Sedimento and lithogenesis of humid redstones at the boundary of Cretaceous and Paleogene in Kazakhstan]. Moscow, Nauka Publ., 188 p. (In Russian)
- Tsekhovskii Yu.G. (2015a) Sedimentogenesis and geodynamics in the boundary Cretaceous-Paleogene epoch of continents peneplanization. Reporte1. Central and Eastern Eurasia. *Litosfera*, (1), 5-23. (In Russian)
- Tsekhovskii Yu.G. (2015b) Sedimentogenesis and geodynamics in the boundary Cretaceous-Paleogene epoch of continents peneplanization. Reporte 2. Platforms and mobile belts of continents. *Litosfera*, (2), 5-16. (In Russian)
- Tsekhovskii Yu.G., Dmitrik A.L. (1970) On the allophanization of kaolinite. *Litol. Polezn. Iskop.* (1), 79-85. (In Russian)
- Tyurin B.A. (1971). Platform sedimentation on the territory of Kazakhstan. *Platformennye boksity SSSR* [Platform bauxite of the USSR]. Moscow, Nauka Publ., 154-192. (In Russian)
- Volkov A.N. (1958) Bauxites of Kazakhstan and their genesis. *Boksity, ikh mineralogiya i genesis* [Bauxites, their mineralogy and genesis]. Moscow, AN SSSR, 393-415. (In Russian)
- Volkov A.N. (1959a) Geological structure of the Amangeldy area of bauxite and refractory clay. *Trudy Instituta geologicheskikh nauk. Vyp. 2. Alma-Ata, AN Kaz. SSR*, 3-35. (In Russian)
- Volkov A.N. (1959b) Conditions for the formation of bauxite. *Trudy Instituta geologicheskikh nauk. Vyp. 2. Alma-Ata, AN Kaz. SSR*, 104-128. (In Russian)
- Zhukov V.V. (1983) Karst bauxites of the Arkalyk field. *Usloviya obrazovaniya i factory sokhrannosti boxitovykh mestorozhdenii SSSR* [Formation conditions and preservation factors for bauxite deposits of the USSR]. Moscow, Nauka Publ., 92-99. (In Russian)