

## Эволюция каолинитонакопления в фанерозое

©2021 А. Д. Савко<sup>✉</sup>, А. В. Крайнов

<sup>1</sup>*Воронежский государственный университет,  
Университетская пл., 1, 394018, Воронеж, Российская Федерация*

### Аннотация

*Введение:* Формирование каолиновых кор выветривания (КВ) происходило в континентальные перерывы при выравнивании рельефа в условиях теплого гумидного климата. В фанерозое наиболее благоприятными были длительные перерывы с ослабленными тектоническими движениями, способствующими образованию, сохранности и захоронению элювиальных и коррелятных им образований. Это эпохи мощного корообразования, выделенные ещё в 1967 В. П. Петровым. Они могут быть неоднократно проявлены в пределах положительных структур, типичным примером которых является Воронежская антеклиза (ВА). Её КВ относительно хорошо коррелируются с одновозрастными образованиями других структур Восточно-Европейской платформы (ВЕП). Однако таких полных разрезов с обоснованным возрастом КВ, как на ВА, на них нет. Поэтому воронежский разрез с выделенными уровнями развития КВ может служить опорным для ВЕП и возможно, в целом – для других регионов Мира.

*Методика:* Применялся историко-минерагенический анализ, касающийся хронологических аспектов формирования месторождений каолиновых глин и их эволюции в фанерозое.

*Результаты и обсуждение:* В досреднедевонское время каолиновые КВ были маломощными и практически не содержали месторождений. Они появились с франского века и представлены первичными и вторичными каолинами, но широкого распространения не получили. В карбоне в окраинных частях угольных бассейнов с обильной растительностью КВ были источником вещества для месторождений огнеупорных и тугоплавких глин. В поздне триасово-раннеюрское и раннемеловое время образовались основные месторождения первичных и вторичных каолинов. Для территории Северной Америки пик накопления вторичных каолинов пришелся на поздне меловое и третичное время. В кайнозое масштабы каолинитонакопления, по сравнению с мезозойским, заметно сократились, уступив место бокситообразованию, сосредоточенному в латеритных покровах тропических стран. В это время накопилось более 80% всех бокситов в истории Земли. Каолиновые породы в виде элювия, вторичных каолинов и каолиновых глин формировались преимущественно в пределах пониженных участков пенеппенов и на аллювиальных равнинах.

*Заключение:* Полученные результаты показали, что эволюция каолинитонакопления, основную массу которого составляют первичные каолины, имеет прерывисто-направленный тренд. Она связана с геократическими этапами развития Земли, увеличением площадей суши и выравниванием поднятых территорий. Формирование каолиновых месторождений началось в позднем девоне, чему способствовал выход растительности на сушу, достигло максимума в мезозое в его



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

---

✉ Савко Аркадий Дмитриевич, e-mail: [savko@geol.vsu.ru](mailto:savko@geol.vsu.ru)

континентальные перерывы и снизилось в кайнозой. Причиной снижения явилась увеличившаяся интенсивность выветривания с образованием конечных продуктов гидролиза, представленных глиноземом и оксидами железа. На обширных пространствах возникли латериты, оттеснив каолинитонакопление на пониженные участки пенепленов и аллювиальные равнины.

**Ключевые слова.** Коры выветривания, первичные и вторичные каолины, огнеупорные глины

*Для цитирования:* Савко А. Д., Крайнов А. В. Эволюция каолинитонакопления в фанерозе // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология.* 2021. №3. С. 4–24. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology.2021.3/3647>

### Введение

Каолинит является основным минералом глин, широко используемых в народном хозяйстве. Они являются сырьём для керамических и фарфорово-фаянсовых изделий, наполнителей при производстве пластмасс, резины, бумаги, применяются в строительной, лакокрасочной и других отраслях промышленности. Этот минерал слагает каолины (синоним – каолинитовые глины). Среди них выделяются первичные привыветривания и вторичные ближнего переотложения вещества кор выветривания (КВ). При его размыве, переносе и осаждении формируются тугоплавкие и огнеупорные каолинитовые глины, содержащие помимо каолинита примесь других глинистых и неглинистых минералов. В меньшей мере, каолинитовые глины образуются химическим путем (сухарные глины).

Первичные каолины обычно образуются в КВ на кислых по составу магматических и метаморфических породах, вторичные – за счет размыва, элювия, ближнего сноса его вещества и формирования глин в континентальных фациях – пролювиально-делювиальных и озерно-болотных в условиях аллювиальных и дельтовых равнин. В делювиально-пролювиальных отложениях нередко встречаются песчано-каолиновые смеси. Среди огнеупорных глин выделяются сухарные и пластичные. Первые (типа флинт-клей) образуются химическим путем в озерно-болотных условиях при выпадении в осадок поступающих из выветривающихся пород соседних участков суши  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Вторые формируются при размыве каолиновых и глиноземных КВ и поступлении терригенного вещества в континентальные водоёмы. В озерно-болотных ландшафтах происходит каолинизация («дозревание») глинистого вещества и образование огнеупорных каолинитовых глин. Тугоплавкие разности образуются при размыве КВ и осадочных пород с высоким содержанием каолинитовой компоненты. Это происходит не только в континентальных, но и прибрежно-морских условиях.

Формирование каолиновых КВ происходит в континентальные перерывы при планации рельефа в условиях теплого гумидного климата. В фанерозе наиболее благоприятными были длительные перерывы с ослабленными тектоническими движениями, способствующими образованию, сохранности и захоронению элювиальных и коррелятных им образований. Это эпохи мощного корообразования, выделенные ещё в 1967 В.П. Петровым [1]. Они могут быть неоднократно проявлены в пределах положительных структур,

типичным примером которых является Воронежская антеклизы (ВА), (рис. 1), где такие КВ и коррелятные им отложения достаточно четко стратифицированы [2]. С коррелятными отложениями связаны многие месторождения огнеупорных и тугоплавких каолиновых глин. КВ Воронежской антеклизы относительно хорошо коррелируются с одновозрастными образованиями других структур Восточно-Европейской платформы (ВЕП). Однако таких полных разрезов с обоснованным возрастом КВ, как на ВА, на них нет [4]. Поэтому воронежский разрез с выделенными уровнями развития КВ может служить опорным для ВЕП и возможно, в целом – для других регионов Мира.

Формирование каолиновых КВ происходит в условиях гумидного тропического и субтропического климата. В течение фанероза расположение климатических зон, типы рельефа, благоприятные тектонические условия для образования и сохранности КВ и коррелятных им отложений, в разных регионах неоднократно менялись. Так в настоящее время месторождения каолинитовых глин палеозоя и многие мезозоя расположены в Северном полушарии, тогда как кайнозойские – в большинстве своём – на территориях бывших частей Гондваны [5]. Со временем возрастала роль органического фактора в формировании КВ, особенно связанного с выходом растительности на сушу в девоне. Поэтому основной целью настоящей статьи является установление истории и особенностей каолинитонакопления в различные эпохи фанероза, когда образовались все месторождения каолина, огнеупорных и керамических глин.

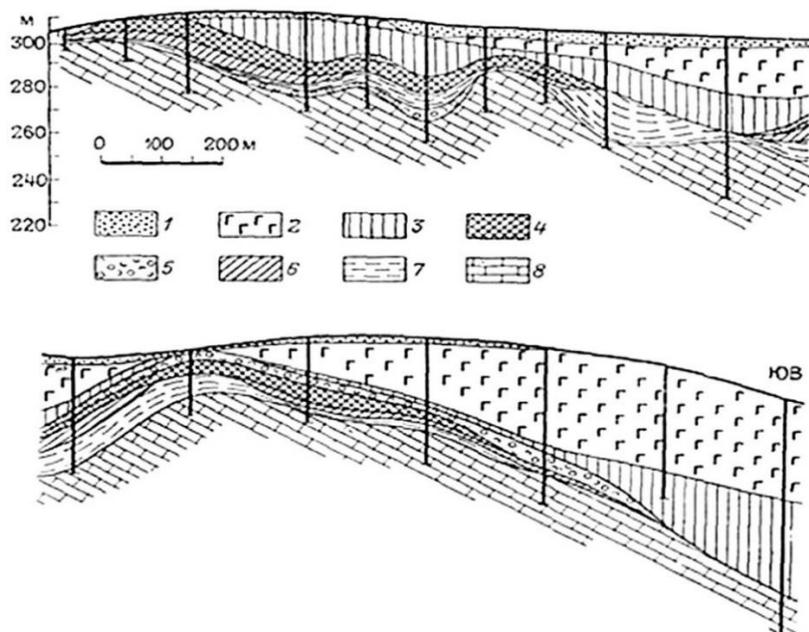
### Анализ распределения каолинитовых глин по возрасту и регионам

**Каолинитовые глины палеозоя.** В Европейской части России самыми ранними являются первичные и вторичные каолины франского яруса верхнего девона Среднего Тимана (рис. 2). Там они ассоциируют с бокситами, подстилают их и образованы за счет раннефранской КВ на сланцево-карбонатных породах и доломитовых известняках рифейского фундамента [6].

Вторичные каолины в отложениях верхнего девона развиты на юге ВА в пределах тектонической депрессии и образованы в результате размыва КВ на докембрийских кристаллических породах [7–9]. При этом, сформировалась мамонская песчано-каолиновая толща (ПКТ). В ней каолины переслаиваются с кварцевыми, в том числе каолинистыми, песками, представляющими



(12) – coals; (13) – gypsum; (14) – eras of crust formation. (15–24) – minerals, including: (15) – iron ores; (16) – bauxites; (17) – cobalt-nickel ores; (18) – titanium-zirconium placers; (19) – rare and scattered elements; (20) – building sands; (21) – kaolins; (22) – fireclays; (23) – breaks; (24) – glauconite. Translation of symbols from the map: *Группа: палеозой, протерозой – Group: Palaeozoic, Proterozoic; Система: рифей, венд, девон, карбон – System: Riphean, Vendian, Devonian, Carbonic; Ярус: полеская, вольнская, валдайская, эйфельский, живетский, франский, фаменский, турнейский, визейский, намюрский, бакирский, московский – Stage: Polesye, Volhynian, Valday, Eifelian, Givetian, Frasnian, Famennian, Tournaisian, Visean, Namurian, Baskirian, Moscovian; Горизонт: пяртуский, наровский, старооскольский, нижнешигровский, верхнешигровский, семилукский, петинский, воронежский, евлановский, ливенский, задонский, елецкий, лебедянский, данковский, заволжский, малевский, улинский, чернышинский, малиновский, тульский+бобриковский, алексинский, михайловский, венецкий, тарусский, стешевский, протвинский, верейский, каширский – Horizon: Perna, Narova, Starooskolsky, Nizhneschigrovsky, Verkhneschigrovsky, Semiluki, Petino, Voronezh, Evlanovo, Livny, Zadonsk, Elets, Lebedyan, Dankov, Zavolzhsy, Malevsky, Ulinsky, Chernyshkhinsky, Malinovsky, Tula + Bobrikovian, Aliksinsky, Mikhailovsky, Venyov, Tarusa, Steshevo, Protvino, Vereiskian, Kashirskian; Свита, толща, слой: морсовская, мосоловская, черноярская, воробьевская, ардаповская, ястребовская, мамонская – Formation, strata, layer: Morsovsky, Mosolovsky, Chernoyarsky, Vorobievsky, Ardatovsky, Yastrebovsky, Mamonsky; Обобщенная литологическая колонка – Generalised lithological column; Кора выветривания – Weathering crust; Коррелятивные осадки – Correlative sediments; Кварцевые пески – Quartz sands; Каолиновые глины – Kaolin clays; Железные руды – Iron ores; Бокситы – Bauxites; Рудность – Presence of ore; Группа: мезозой, кайнозой – Group: Mesozoic, Cenozoic; Система: юрская, меловая, палеогеновая, неогеновая – System: Jurassic, Cretaceous, Paleogene, Neogene; Рудный горизонт – Ore horizon; Ярус: байосский, батский, оксфордский, киммериджский, волжский, неокемский, альбский, сенманский, туронский+коньякский, сантонский, маастрихский, кампанский, палеоценовый, олигоценый, плиоценовый, миоценовый – Stage: Bajocian, Bathonian, Oxfordian, Kimmeridgian, Volgian, Neocomian, Albian, Cenomanian, Turonian+ Coniacian, Santonian, Maastrichtian, Campanian, Paleocene, Oligocene, Pliocene, Miocene.]*



**Рис. 2.** Геологические разрезы Вежайу-Ворыквинского месторождения: 1 – четвертичные рыхлые отложения; 2–6 – нижнефранские образования: 2 – базальты, 3 – песчаники, глины, алевролиты, 4 – бокситы, 5 – туфы, 6 – аплиты; 7 – глины КВ, 8 – доломиты и известняки быстринской свиты верхнего рифея. Из работы [6].

**[Fig. 2.** Geological sections of the Vezhayu-Vorykvinskoye field: (1) – quaternary loose deposits; (2-6) – Lower Frasnian formations: (2) – basalts, (3) – sandstones, clays, siltstones, (4) – bauxites, (5) – tuffs, (6) – aplites; (7) – weathering crust clays, (8) – dolomites and limestones of the Bystrinskaya formation of the Upper Riphean. From [5]. Translation of symbols from the map: ЮВ - South-east, м – m.]

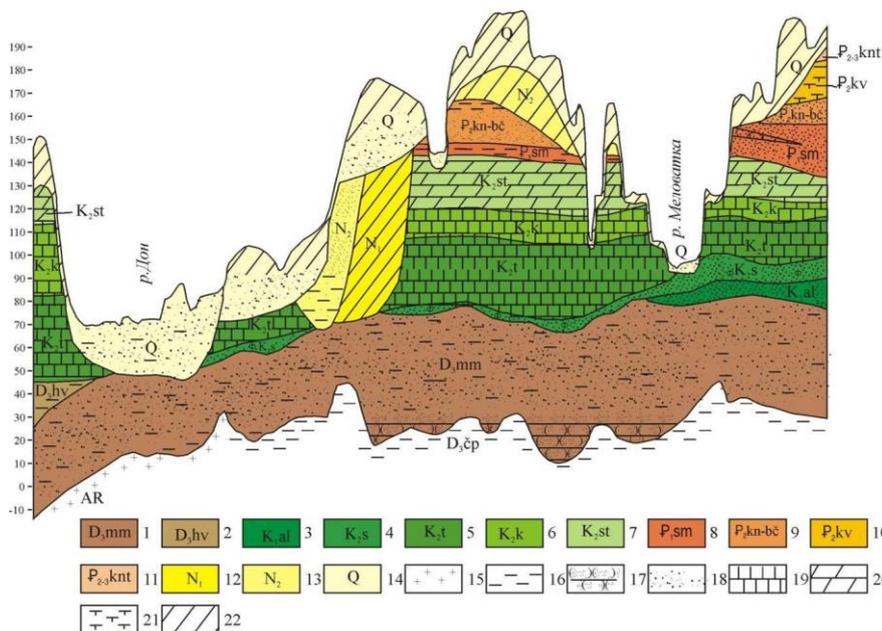
песчано-каолиновые смеси (рис. 3). Выделяется три зоны развития ПКТ – Западная, Центральная и Восточная. Наиболее благоприятна для поисков каолинов вторая, где ПКТ залегает вблизи дневной поверхности по долинам рек, в том числе Дона [9]. На склонах ВА глубина залегания увеличивается.

ПКТ сложена породами континентальной, переходной и морской групп фаций. Континентальные образования представлены пролювиально-делювиальными, пролювиальными, аллювиальными, озерными отложениями различного состава. К ним приурочены пласты вторичных каолинов. Переходные и морские отложения появляются в восточной части поля развития толщи, последние содержат органогенные известняки. Песчаная часть разреза включает стекольное, строительное и формовочное, сырьё. Глинистая примесь и песчано-каолиновые смеси представляют интерес для получения обогащенного каолина. При неглубоком залегании толща может разрабатываться открытым способом, в случаях

большой мощности вскрыши – гидроскважинным.

Уже разведано крупное месторождение каолинов, кварцевых песков и песчано-каолиновых смесей Козынка, дан прогноз на поиски и разведку в ПКТ новых месторождений такого типа.

*Каолинитовые глины карбона и нижней перми*, в отличие от девонских, имеют преимущественно осадочное происхождение и тяготеют к угленосным бассейнам. Осадконакопление происходило, по-видимому, одновременно с процессами выветривания на водоразделах, поскольку в разрезах помимо пластичных глин широко развиты сухарные и полусухарные разновидности типа флинт-клей. Они формировались за счет поступающих из КВ богатых органикой кислых вод в озерные водоёмы, растворенных алюминия и кремния. При повышении pH эти элементы совместно с O<sub>2</sub> и OH соединялись в каолинит и выпадали в осадок. Пластичные глины имеют терригенное, а полусухарные – смешанное происхождение.



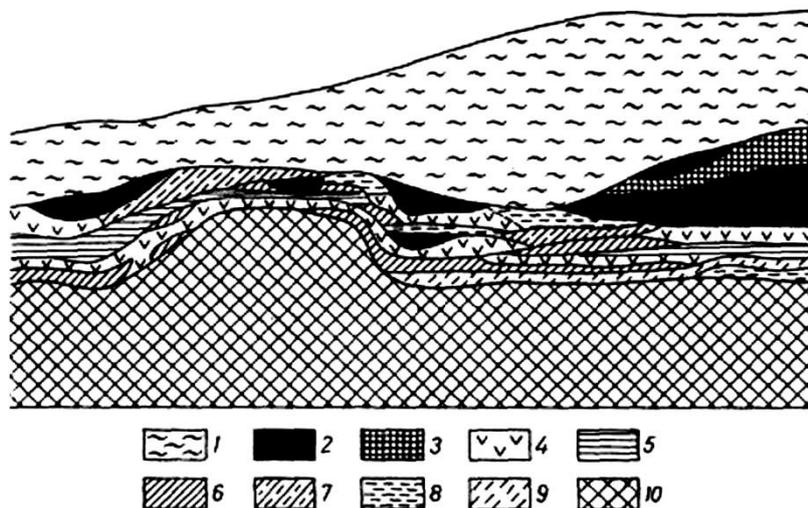
**Рис. 3.** Разрез мамонской толщи по линии Дон–Меловатка: 1–12 – стратиграфические подразделения: 1 – мамонская толща, 2 – хованский горизонт, 3 – альбский, 4 – сеноманский, 5 – туронский, 6 – коньякский, 7 – сантонский ярусы, 8 – сумская серия, 9 – каневская-бучакская, 10 – киевская, 11 – кантемировская свиты, 12 – миоцен, 13 – плиоцен, 14 – четвертичная система; 15–22 – породы: 15 – граниты, 16 – глины, 17 – песчаники, 18 – пески, 19 – мел, 20 – мергель, 21 – известковистые глины, 22 – суглинки.

**[Fig. 3.** Section of the Mamont strata along the Don–Melovatka line: (1–12) – stratigraphic units: (1) – Mamont strata, (2) – Khovansky horizon, (3) – Albian, (4) – Cenomanian, (5) – Turonian, (6) – Coniacian, (7) – Santonian stages, (8) – Sumy series, (9) – Kanevskaya–Buchakskaya, (10) – Kievskaya, (11) – Kantemirovskaya formations, (12) – Miocene, (13) – Pliocene, (14) – Quaternary system; (15–22) – rocks: (15) – granites, (16) – clays, (17) – sandstones, (18) – sands, (19) – chalk, (20) – marl, (21) – calcareous clays, (22) – loams.

Translation of symbols from the map: p.Дон – River Don, p.Меловатка – River Melovatka.]

В Подмосковном бурогольном бассейне имеется ряд месторождений огнеупорных и тугоплавких каолиновых глин в отложениях бобриковского горизонта и нижнетульского подгоризонта нижнего отдела каменноугольной системы. Залежи каолиновых глин мощностью 1–5 м прослеживаются на всем протяжении от г.

Суворова до г. Кимовска [10, 11]. Линзы огнеупорных глин почти везде залегает под промышленным пластом угля. Огнеупорные глины месторождений приурочены к бобриковскому, тугоплавкие – к тульскому горизонтам. Наиболее известны Ульяновское в Калужской и Суворовское в Тульской областях (рис. 4).



**Рис. 4.** Разрез толщи огнеупорных глин в районе Суворовского месторождения: 1 – породы вскрыши; 2 – уголь; 3–9 – глины сорта: 3 – «чернуха», 4 – «балевка», 5 – «прима», 6 – «балевка рядовая», 7 – «балевка песчаная», 8 – «балевка углестая», 9 – «песчанка»; 10 – подстилающие породы.

**[Fig. 4.** Section of the stratum of fireclays in the area of the Suvorov deposit: (1) – overburden rocks; (2) – coal; (3–9) – types of clay: (3) – "chernukha", (4) – "balevka", (5) – "prima", (6) – "ordinary balevka", (7) – "sandy balevka", (8) – "carbonaceous balevka", (9) – "sandy"; (10) – underlying rocks.]

На последнем по физико-керамическим свойствам все выделенные разности глин можно объединить в три группы [10]:

1) пластичные глины — серые, светло-серые, реже темно-серые, жирные на ощупь, иногда с примесью песка или железненные. Они наиболее развиты на Балевском, Безовском и Безово-Березовском участках в кровле основного подугольного пласта. Значительно реже встречаются песчанистые и одновременно железненные разности

2) сухарные и полусухарные глины, залегающие среди пластичных глин основного (подугольного) пласта. Наиболее распространенной разностью их является серая очень плотная глина. Реже встречаются разности, загрязненные песком и окислами железа;

3) глины пластичные, черные, углестые. Залегают под пластом угля. Встречаются главным образом на Безово-Березовском и Безовском участках.

В целом на месторождении преобладают пластичные глины. Содержание их изменяется от 51% на

Михайловском до 88—90% на Балеvском II участках. Глины относятся к невысоко связующим (по классификации А. Д. Федосеева), но могут применяться в качестве связующего компонента шамотных масс.

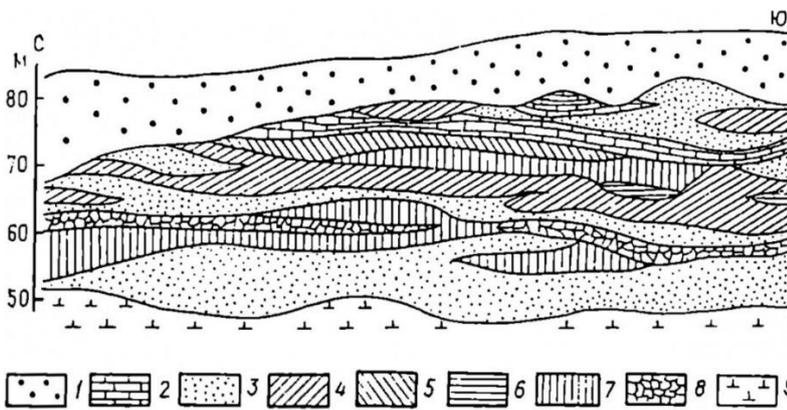
Огнеупорные глины приурочены к зоне развития озерных и озерноболотных отложений. Породообразующим минералом их является каолинит. В некоторых типах пластичных глин к каолиниту примешиваются иллит. В разрезах залежей с огнеупорными глинами преобладают основные глины с содержанием  $Al_2O_3$  25–35%. Высокоглиноземистые разности глин играют подчиненную роль, их высококачественные разности встречаются среди сухарных глин.

На СЗ Московской синеклизы, разведано 21 месторождение огнеупорных и тугоплавких глин Боровичско-Любытинской группы, приуроченных к неглубоко залегающим песчано-глинистым отложениям визейского яруса, сформированным в озерных и

пролювиально-озерных условиях [3]. Огнеупорные глины каолинитовые и иллит-каолинитовые, высокодисперсные и огнеупорные, и подразделяются на сухарные (флентклей), полусухарные (болклей) и пластичные (файрклей) разновидности с общими запасами свыше 200 млн т. (рис. 5).

Огнеупорные глины этого возраста в *Казахстане* слагают Целиноградские месторождения. Они находятся на юго-западном крыле Акмолинской мульды Тенизской впадины и приурочены к КВ песчано-глинистых пород, качество минерального сырья невысокое и пригодно для неотчетственных огнеупорных изделий.

**Каолинитовые глины мезозоя** широко развиты в Мире, представлены всеми их разновидностями, но особенно распространены первичные каолины, развитые в КВ на кристаллических породах древних и молодых платформ. Известны десятки тысяч месторождений и проявлений первичных и вторичных каолинов.



**Рис. 5.** Литологический разрез участка Большевик Боровичского месторождения огнеупорных глин (по М. Ф. Викуловой с упрощениями): 1 – четвертичные отложения; 2 – известняки; 3 – пески; 4–8 – глины: 4 – серые, 5 – пестрые, 6 – светло-серые, 7 – черные и темно-серые, 8 – сухарные белые, 9 – мергели и глины.

**[Fig. 5.]** Lithological section of the Bolshevik section of the Borovichsky fireclay deposit (according to M. F. Vikulova with simplifications): (1) – Quaternary deposits; (2) – limestone; (3) – sands; (4–8) – clays: (4) – gray, (5) – speckled, (6) – light grey, (7) – black and dark grey, (8) – kaolin white, (9) – marls and clays.]

Наиболее качественные из них связаны с выветриванием безжелезистых алюмосиликатных пород.

В пределах *Украины* находится крупнейшая в мире каолиновая провинция, включающая более тысячи месторождений и проявлений каолина различного масштаба и генезиса [12, 13, 14]. Известны 4 субпровинции (рис. 6) – Приазовская, Приднепровская, Центральная и Северо-Западная, к которым приурочено большинство промышленных месторождений первичных и вторичных каолинов.

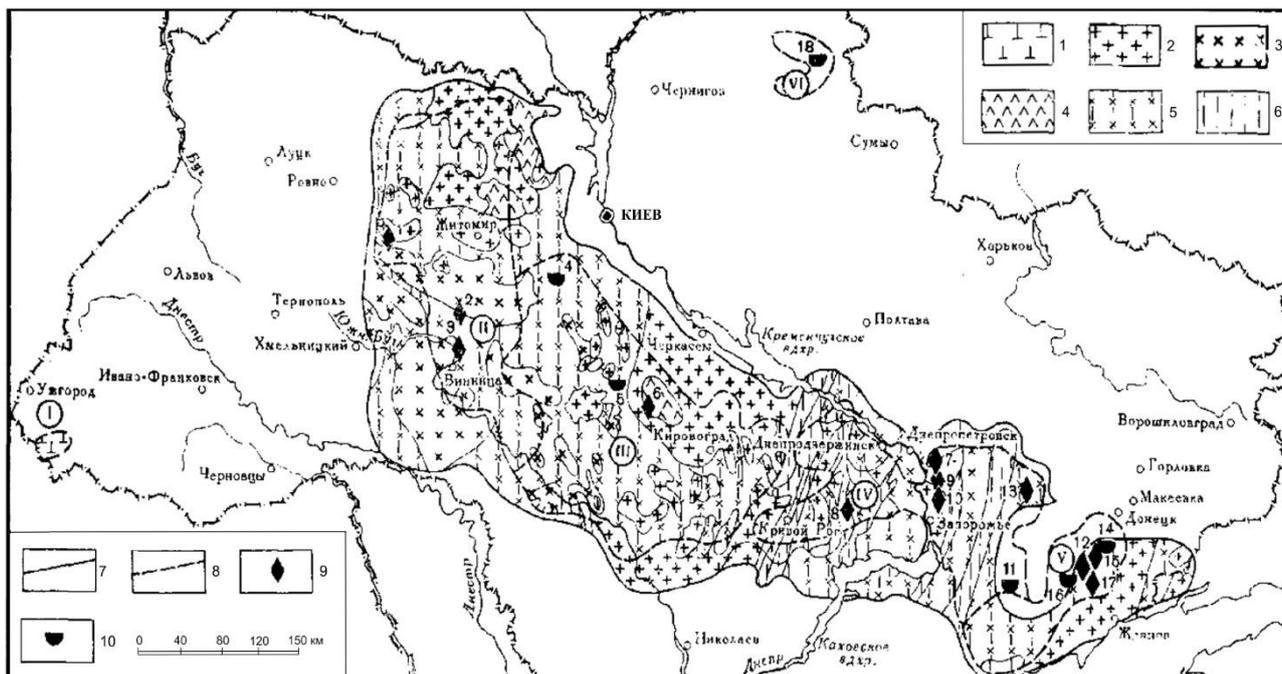
В Приазовской субпровинции от эрозии сохранились преимущественно глубокие части первичных залежей каолинов из КВ линейно-площадного типа, развитых по гранитам, разнообразным гнейсам, мигматитам, нефелиновым сиенитам [3]. Каолины щелочные с включениями микроклина и кварца. Здесь имеются месторождения Екатериновское, Белая Балка, Мануиловское, Андреевское и другие. Запасы отдельных месторождений не более 30 млн т. [15].

В Приднепровской субпровинции, расположенной в Днепропетровской и Запорожской областях, в Вольнянском районе, восточнее г. Запорожье выявлено три крупных месторождения высококачественных первичных каолинов (Беляевское, Первозвановское и Ново-Гупаловское) с общими запасами 800 млн т. (по категориям В, С<sub>1</sub> и С<sub>2</sub>), по прогнозным площадям – более 200

млн т. [15]. Мощность каолинов до 55 м, в среднем 21 м, развиты по лейкократовым гранитам. Каолины легко обогащаются с получением почти мономинерального каолинового концентрата и песчаного продукта, хорошо спекаются, имеют высокие механическую прочность и белизну [13].

Также в Днепропетровской области имеется разрабатываемое Просьяновское месторождение первичных каолинов (рис. 7) с подсчитанными запасами 400 млн т. и прогнозными 2 млрд т., по качеству сходное с месторождениями Вольнянского района [3]. Здесь также преобладают легкообогатимые каолины высоких сортов. Мощности первичных каолинов сильно колеблются (15–50 м) в зависимости от размыва, состава материнских пород и степени их тектонической разуплотненности. В нижних частях коры развиты щелочные каолины, которые являются ценным керамическим сырьем.

В Центральной субпровинции КВ мощностью 15–20 м в значительной мере размыва, и не содержит значительных месторождений первичных каолинов. Но здесь имеются крупные месторождения вторичных каолинов раннемелового возраста, среди которых особое место занимает Новоселицкое месторождение [15]. Оно уникально по качеству сырья, поскольку 70% запасов относится к первому и особому сортам, в которых свободного глинозема до 20%, а общее количество



**Рис. 6.** Карта главнейших месторождений первичных и вторичных каолинов Украины [13]: 1 – липаритовые туфы; 2 – граниты преимущественно микроклин–плагиоклазового состава; 3 – граниты чудново–бердичевские, кременчугские; 4 – габбро, лабрадориты, габбро–монзониты; 5 – мигматиты и гнейсы, в основном биотит–плагиоклазового состава; 6 – метабазиты и породы железорудных формаций; 7 – граница Украинского кристаллического щита; 8 – границы каолиновых субпровинций (I – Закарпатская; II – Северо–Западная; III – Центральная; IV – Приднепровская; V – Приазовская; VI – Глуховская); месторождения: 9 – первичных; 10 – вторичных каолинов. Главнейшие месторождения (цифры на карте): 1 – Дубровское; 2 – Глуховское; 3 – Мурбовское; 4 – Писчиловское; 5 – Новоселицкое; 6 – Каменское; 7 – Синельшковское; 8 – Гуляй–Польское; 9 – Акимовское; 10 – Ново–Гуяловское; 11 – Положское; 12 – Мануильское; 13 – Просьяновское; 14 – Владимирское; 15 – Белая Балка; 16 – Затиханское; 17 – Екатериновские; 18 – Глуховское.

**[Fig. 6.** Map of the main deposits of primary and secondary kaolin in Ukraine [13]: (1) – liparite tufts; (2) – granites of predominantly microcline–plagioclase composition; (3) – granites of the Chudnovo–Berdichevsky, Kremenchug; (4) – gabbro, labradorites, gabbro–monzonites; (5) – migmatites and gneisses, mainly of biotite–plagioclase composition; (6) – metabasites and rocks of iron ore formations; (7) – border of the Ukrainian crystal shield; (8) – borders of kaolin sub–provinces (I – Transcarpathian; II – North–Western; III – Central; IV – Dnieper; V – Azov; VI – Glukhov); deposits: (9) – primary; (10) – secondary kaolins. The main deposits (numbers on the map): (1) – Dubrovskoe; (2) – Glukhovetskoe; (3) – Murbovskoe; (4) – Pischikovskoe; (5) – Novoselitskoe; (6) – Kamenskoe; (7) – Sinelyshkovskoe; (8) – Gulyai–Polskoe; (9) – Akimovskoe; (10) – Novo–Guyalovskoe; (11) – Polozhskoe; (12) – Manuilskoe; (13) – Prosyanyovskoe; (14) – Vladimirkoe; (15) – Belaya Balka; (16) – Zatihanskoe; (17) – Ekaterinovskie; (18) – Glukhovskoe. Translation of symbols from the map: Ужгород – Uzhhorod, Ивано–Франковск – Ivano–Frankivsk, Черновцы – Chernivtsi, Львов – Lviv, Хмельницкий – Khmelnytsky, Тернополь – Ternopil, Луцк – Lutsk, Ровно – Rivne, Винница – Vinnytsia, Житомир – Zhytomyr, Днестр – Dniester, Южный Буг – Southern Bug, Черкассы – Cherkasy, Кировоград – Kirovograd, Киев – Kyiv, Кривой рог – Krivyy Rih, Днепродзержинск – Dniprodzerzhynsk, Кременчугское водохранилище – Kremenchuk Reservoir, Полтава – Poltava.]



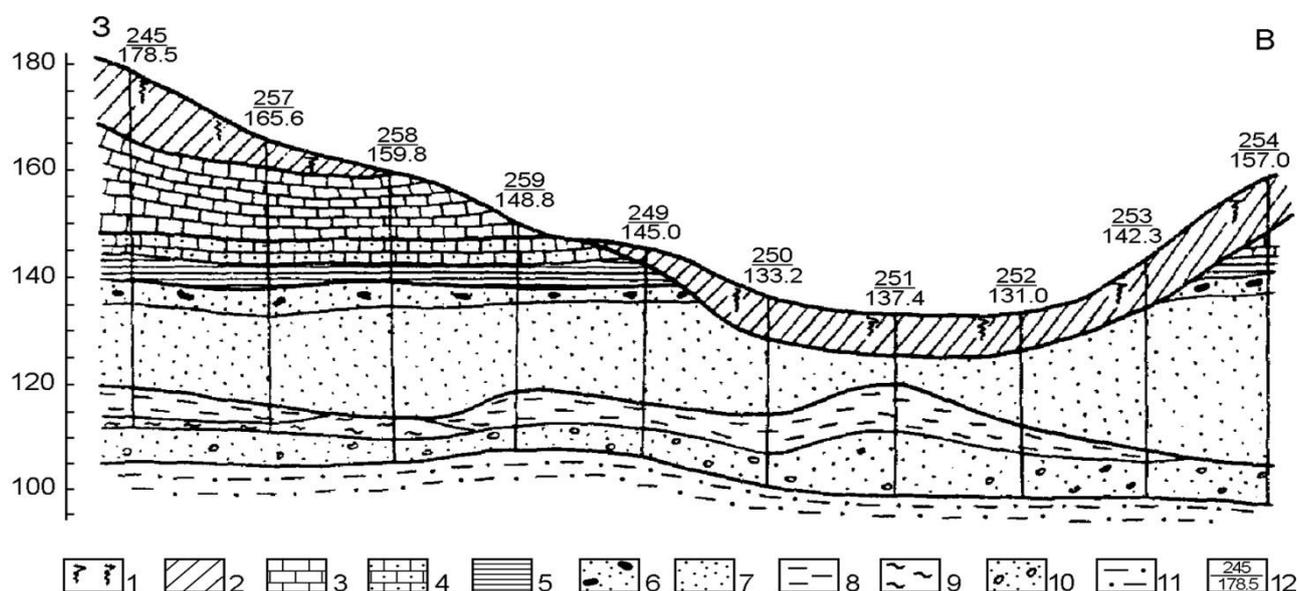
**Рис. 7.** Просьяновский карьер первичных каолинов [14].  
**[Fig. 7.** Prosyanyovskiy quarry of primary kaolin [14].]

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в среднем составляет 47% при содержаниях Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.44–1.81%, SiO<sub>2</sub> 25.2–50% [3].

В Северо-Западной субпровинции, расположены крупные районы каолиновой добычи – Турбовско-Глуховецкий и Дубровско-Хмелевский. Наиболее крупными по количеству разведанных и утвержденных балансовых запасов являются Глуховецкое, Турбовское и Велико-Гадоминецкое месторождения. Первые два из них разрабатываются. Мощность КВ по отдельным скважинам достигает 108 м. Каолины отличаются низким содержанием красящих окислов, но на отдельных участках отмечается чешуйчатый графит, являющийся вредной примесью. Наиболее высококачественные каолины развиты по пегматоидным гранитам. Суммарные геологические запасы Турбовско-Глуховецкого района более 1.5 млрд т.

В Дубовецко-Хмелевском районе установлено около 20 мелких каолиновых месторождений. Каолины щелочные, образованы за счет микроклиновых гранитов и характеризуются значительным выходом кварц-полевошпатового концентрата. Верхняя зона КВ обычно отсутствует. Наиболее перспективно Дубовецкое месторождение щелочных каолинов, сырьё которого используется в изоляторной и фарфоровой промышленности [3].

К отложениям аптского яруса на Украине приурочены месторождения огнеупорных глин, в том числе Новоселицкое, Мурзинское, Озерянское, Рыжановское и другие. Такого же типа и возраста является Латненское (рис. 8) и Кришанское месторождения, расположенные в Воронежской области.



**Рис. 8.** Геологический разрез участка Хохол–Дон Латненского месторождения огнеупорных глин [15]: 1 – почвенно–растительный слой; 2 – моренные отложения (Q); 3 – мел плотный (K2t); 4 – мел песчаный (K2s); 5 – глина плотная (K2s); 6 – песок с желваками фосфоритов (K2s); 7 – песок кварцевый (K1a); 8 – глина огнеупорная (K1a); 9 – алевроиты (K1a); 10 – песок с гравием (K1a); 11 – глина песчаная (K1n); 12 – номер скважины (числитель) и абсолютная отметка ее устья (знаменатель).

**[Fig. 8.** Geological section of the Khokhol-Don site of the Latnensky fireclay deposit [15]: (1) – soil-vegetation layer; (2) – moraine deposits (Q); (3) – dense chalk (K2t); (4) – sandy chalk (K2s); (5) – dense clay (K2s); (6) – sand with phosphorite nodules (K2s); (7) – quartz sand (K1a); (8) – fireclay (K1a); (9) – aleurites (K1a); (10) – sand with gravel (K1a); (11) – sandy clay (K1n); (12) – well number (numerator) and absolute elevation of its head (denominator).]

С размывом КВ и каолинитосодержащих пород связаны также керамические глины Липецкой, Орловской и Курской областей [16–20].

С веществом переотложения КВ часто связаны месторождения вторичных каолинов и огнеупорных глин. А. Д. Савко [21] показано, что образование огнеупорных глин Латненского месторождения во многом обусловлено процессами «проточного диагенеза» по Г. И. Бушинскому [22] в пределах озерно-аллювиальных равнин аптского века. При этом в условиях восстановительно-кислой среды заболоченных водоемов происходило «дозревание» переотложенного материала КВ в результате выноса части кремнезема, щелочей, щелочноземельных элементов, железа и накопление высокоглиноземистых каолиновых глин.

Крупные месторождения каолинов приурочены к мезозойской КВ на гранитоидах и сланцах восточного склона Урала, образуя Урало-Мугоджарскую каолиноносную провинцию. В ней около 100 месторождений и проявлений первичного и вторичного каолина. Она объединяет в себе три субпровинции: Среднеуральскую (Свердловская), Южноуральскую (Челябинская), Мугоджарскую (Оренбургская области) [23].

На Южном Урале, в пределах Зауральского пенеплена, месторождения каолинов приурочены преимущественно к линейным КВ на гранитоидах и в гораздо меньшей степени на метаморфических сланцах [24]. Наиболее благоприятными материнскими породами для образования первичных каолинов служат маложелезистые и малотитанистые калиевые лейкократовые

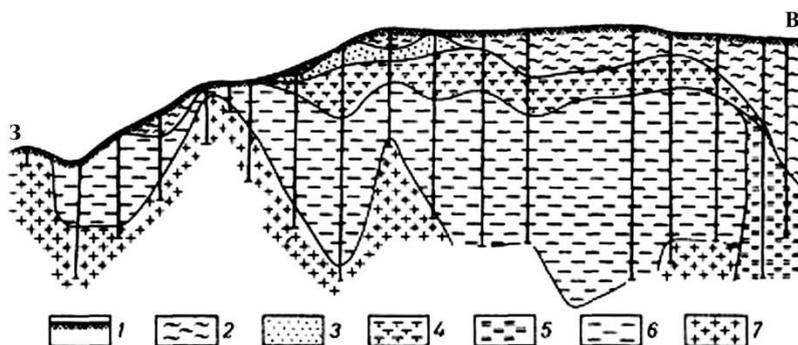
граниты. Глубина проникновения выветривания по тектоническим зонам до 200 и более м. Наиболее крупные месторождения первосортных каолинов Еленинское и Кыштымское (рис. 9), где мощности каолиновой зоны достигают 90 м.

В последнее время разведано крупнейшее Коскольское месторождение каолинов в Оренбургской области, не имеющее аналогов в России с запасами 405.8 млн т. Это столько же, сколько во всех остальных месторождениях России вместе взятых. Оно приурочено к гранитоидным породам Коскольского массива. Полезная толща приурочена к мезозойской КВ по породам кристаллического фундамента [25, 26]. Мощность ее составляет 6–57 м. Каолины белые, светло-серые, светло-желтые, неравномерно линзами, гнездами, пятнами и полосами ожелезнены. КВ развита по

лейкогранитам, мезогранитам, лейкоплагиогранитам, что и определяет вещественный состав глинистого сырья.

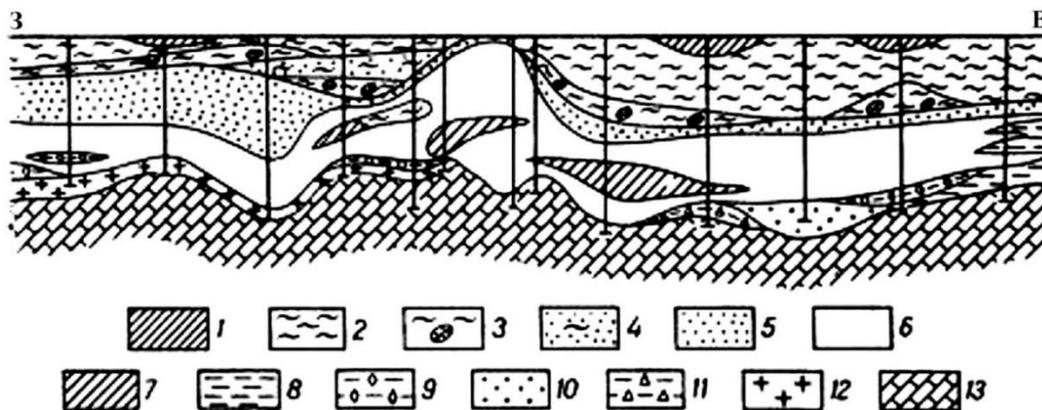
Химический состав каолина следующий (в %):  $\text{SiO}_2$  – 47–49;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 35–38;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0.55–1.4;  $\text{TiO}_2$  – 0.3–0.45 потери массы при прокаливании – 12.5–13.8. По содержанию  $\text{K}_2\text{O}$  выделено 2 типа – нормальный и щелочной каолин. К нормальным каолинам относятся разности с незначительно большим содержанием глинозема и пониженным содержанием  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  [24].

На Среднем Урале, в Свердловской области, расположена Троицко-Байновская группа месторождений огнеупорных глин, в том числе Белкинское, Троицко-Байновское (рис. 10), Первомайское и Курьинское [26]. Они образуют полосу меридионального простирания по восточному борту Уральской складчатой области.



**Рис. 9.** Геологический разрез Кыштымского месторождения каолинов [10]: 1 – растительный слой, 2 – суглинки, 3 – пески, 4 – глины песчаные, 5 – каолины переотложенные, 6 – каолины первичные, 7 – гранито-гнейсы.

[Fig. 9. Geological section of the Kyshtym kaolin deposit [10]: (1) – vegetation layer, (2) – loams, (3) – sands, (4) – sandy clays, (5) – redeposited kaolins, (6) – primary kaolins, (7) – granite-gneisses.]



**Рис. 10.** Геологический разрез Троицко-Байновского месторождения огнеупорных глин. Полдневская залежь [10]: 1 – суглинки и глины бурые, 2 – глины буровато-желтые, серые, песчаные, иногда с галькой, 3 – глины буровато-желтые с обломками опокового песчаника, 4 – глины буровато-желтые с обломками опокового песчаника, 5 – глины буровато-желтые с обломками опокового песчаника, 6 – глины буровато-желтые с обломками опокового песчаника, 7 – глины буровато-желтые с обломками опокового песчаника, 8 – глины буровато-желтые с обломками опокового песчаника, 9 – глины буровато-желтые с обломками опокового песчаника, 10 – глины буровато-желтые с обломками опокового песчаника, 11 – глины буровато-желтые с обломками опокового песчаника, 12 – глины буровато-желтые с обломками опокового песчаника, 13 – глины буровато-желтые с обломками опокового песчаника.

[Fig. 10. Geological section of the Troitsko-Bainovskaya fireclay deposit. Poldnevskaya deposit [10]: (1) – loams and brown clays, (2) – brownish-yellow, grey, sandy clays, sometimes with pebbles, (3) – brownish-yellow clays with fragments of opoka sandstone, (4) – grey and yellowish-grey sands, quartz, clayey, (5) – glauconite-quartz sands, dark green and quartz, (6) – fireclays, (7) – gray, highly sandy clays, (8) – carbonaceous clays with lignite, (9) – red and wax-red plastic clays, (10) – grey plastic clays with a large amount of pyrite and marcasite, (11) – quartz sands, grey, (12) – grey, sandy clays, with fragments of limestone and siderite, (13) – limestone.]

Глины связаны с синарской свитой апт-альбского возраста, залегающей на элювиально-делювиальных осадках апта. Свита представлена каолинистыми глинами, реже разнотекстурированными песками, чередующимися с

лигнитовыми и сажистыми породами, пестроцветными, иногда бокситовыми глинами. Выделяются преобладающий полдневский (каолинистый) и межниковский (каолинистый с примесью монтмориллонит-

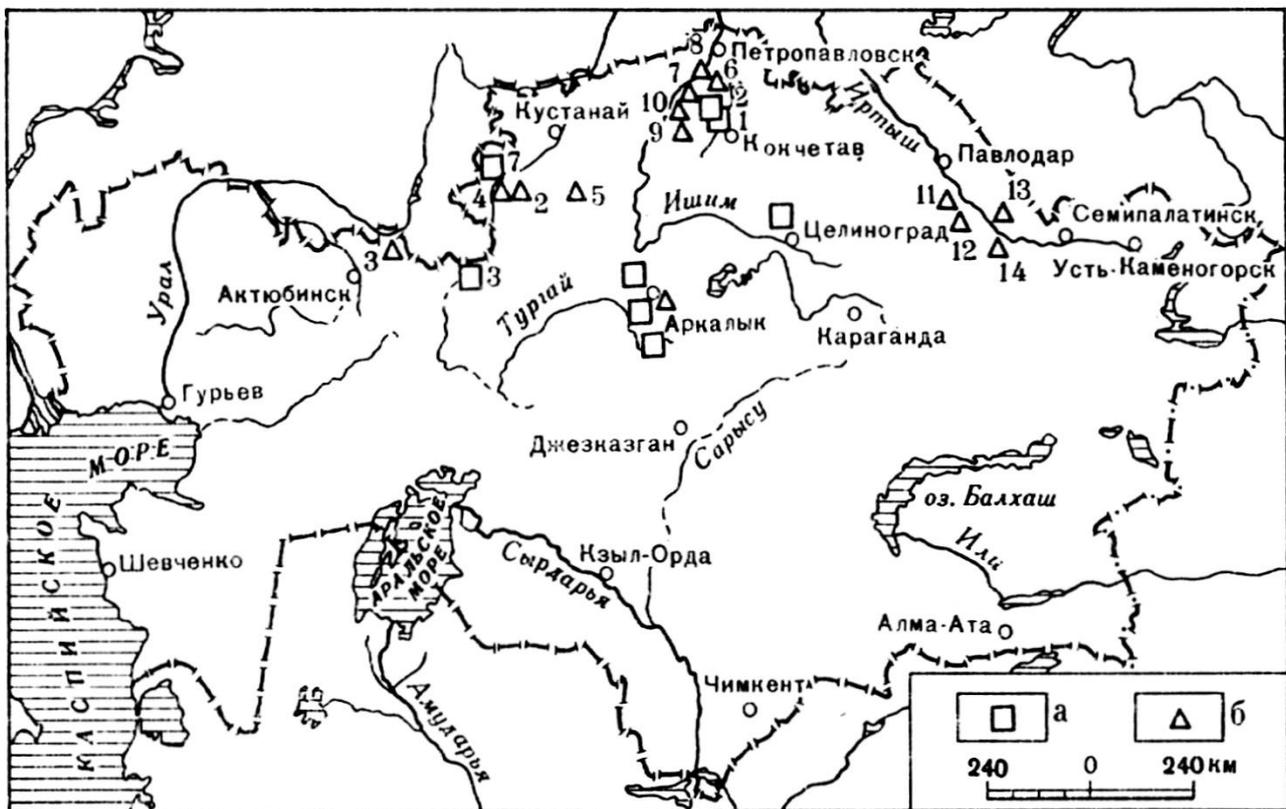
та) типы глин. Для них характерны сложные формы залегания – гребневые, гнездовые, линзовые пластовые, что сильно затрудняет разведочные работы. Глины используются для производства огнеупорных изделий. К восточному склону Урала приурочены также Нижнеуевельское, Берлинское, Кумакское месторождения идентичные по генезису и возрасту с таковыми Троицко-Байновской группы.

В *Казахстане*, его северной и северо-западной частях, известен ряд месторождений первичного каолина (рис. 11), наиболее крупными из которых являются Алексеевское, Елтайское и Союзное с запасами в десятки миллионов тонн каждое [24].

Месторождения связаны с линейными КВ на лейкократовых гранитах. Мощности каолинов до 60 м, легко обогащаются в гидроциклонах безэлектролитным способом. При этом возможно получение микроклинового и кварцевого концентратов, которые применяются в керамической и стекольной промышленности. В

нижних частях профилей широко развиты щелочные каолины, представляющие ценное сырьё для тонкой керамики. Известны также Саба-Салдинское, Бархансайское, Бисимбаевское, Южное, Джеты-Каринское, Танкерисское месторождения с запасами в сотни миллионов тонн каолина и многочисленные проявления.

К мезозойским отложениям приурочены юрские месторождения огнеупорных глин озерно-болотного происхождения, тесно связанных с КВ. К ним относится Тельманская группа в окрестностях Караганды, объединяющая месторождения Сасык-Карасу, Белое Актасское и другие. С нижнемеловыми КВ связаны комплексные месторождения осадочных бокситов и огнеупорных глин Амангельдинской группы в Северном Казахстане [24]. Как правило, огнеупорные гиббсит-каолинитовые глины имеют точную стратиграфическую привязку и являются хорошими возрастными реперами эпох корообразования.



**Рис. 11.** Схема размещения месторождений каолинов и огнеупорных глин Казахстана [Суханов, 1990]: а – каолинов: 1 – Алексеевское, 2 – Белтайское, 3 – Союзное, 4 – Сабысалдинское, 5 – Бархансай, 6 – Южное, 7 – Джаты-Маринское, 8 – Танкерисское; б – огнеупорных глин: 1 – Амангельдинские, 2 – Краснооктябрьское, 3 – Кзыл-Сайское, 4 – Шолаксайское, 5 – Сандыксайское, 6 – Валентиновское, 7 – Многоцветное, 8 – Березовское, 9 – Степное, 10 – Булак, 11 – Сухановское, 12 – Агит, 13 – Семиарское, 14 – Сухоярское.

**[Fig. 11.** Map of kaolin and fireclay deposits in Kazakhstan [Sukhanov, 1990]: a – kaolin: (1) – Alekseevskoe, (2) – Beltayskoe, (3) – Soyuznoe, (4) – Sabysaldinskoe, (5) – Barkhansai, (6) – Yuzhnoe, (7) – Dzhaty-Marinskoe, (8) – Tankeris; b – refractory clays: (1) – Amangeldy, (2) – Krasnooktyabrskoe, (3) – Kyzyl-Sayskoe, (4) – Sholaksayskoe, (5) – Sandyksayskoe, (6) – Valentinovskoe, (7) – Multicolor, (8) – Berezovskoe, (9) – Stepnoe, (10) – Bulak, (11) – Sukhanovskoe, (12) – Agit, (13) – Semyarskoe, (14) – Sukhoyarskoe. Translation of symbols from the map: Каспийское море – Caspian Sea, Аральское море – Aral Sea, Кустанай – Kostanay, Петропавловск – Petropavlovsk, Кокчетав – Kokshetau, Целиноград – Tselinograd, Караганда – Karaganda, Аркалык – Arkalyk, Павлодар – Pavlodar, Семипалатинск – Semipalatinsk, Усть-Каменогорск – Ust-Kamenogorsk, Оз.Балхаш – Lake Balkhash, Алма-Ата – Alma-Ata, Шевченко – Shevchenko, Гурьев – Guryev, Урал – Ural, Амударья – Amu-Darya, Сырдарья – Syr-Darya, Тургай – Turgay, Сарысу – Sarysu, Ишим – Ishim, Или – Ili, Актюбинск – Aktyubinsk, Дзержказган – Dzherkazgan, Кзыл-Орда – Kzyl-Orda, Чимкент – Chimkent.]

Здесь известны Аркалыкское, Нижне-Ашутское, Верхне-Ашутское, Северное, Уштобинское в Аркалыкском районе Тургайской области. Первые три эксплуатируются. Продуктивной на месторождениях является бокситорудная свита, представленная бокситами, гиббсит-каолинитовыми и каолинитовыми глинами мела. Огнеупорные глины покрывают и подстилают бокситы, образуя соответственно надрудный и подрудный горизонты. Мощности глин от 2 до 30 м, средние 4–6 м. Глинозема в них до 50%,  $TiO_2$  – 4–7%,  $Fe_2O_3$  – 4 и более процентов,  $R_2O_3$  – 3–4%.

К этой же группе относятся Краснооктябрьское и Кызыл-Сайское месторождения. В первом продуктивная континентальная верхнемеловая толща представлена каолинитовыми, лигнит-каолинитовыми, лигнит-бокситовыми и бокситовыми разностями с содержаниями  $Al_2O_3+TiO_2$  не менее 30%. Во втором месторождении представлены огнеупорные и тугоплавкие глины альбской толщи, представленные каолинитовыми и монтмориллонит-каолинитовыми глинами с огнеупорностью 1400–1730°.

В Иркутской области находится Трошковское месторождение огнеупорных глин в рэт-лейасовых отложениях [1, 27, 28]. Глины образуют линзообразную пластовую залежь мощностью от 1 до 35, в среднем 3.5 м, имеют каолиновый состав. Они сухарные или полусухарные, умеренно- и среднепластичные, высокодисперсные с низким содержанием красящих окислов. Применяются для производства огнеупоров, а высокие сорта – для изготовления тонкой керамики. Аналогично расположенное в Присяянском прогибе Катомское месторождение.

В Приморье известны Липовское и Усачевское месторождения. Первое из них практически отработано. Второе приурочено к осадочной толще галенковской свиты нижнего мела [1, 29]. Продуктивная толща имеет мощность 20–25 м и сложена вторичными каолинами, представленными слоями глин, аргиллитов, реже алевролитов белой, светло-серой, и желтоватой окраски. Основными породообразующими минералами являются каолинит и монтмориллонит. Разведанные запасы каолинов около 3-х млн т.

В Западной Европе месторождения каолиновых КВ широко распространены [1]. В Финляндии имеется три месторождения каолинов, самое крупное из них Савуоски. Они приурочены к выходам каолиновой КВ на сланцах и кварцитах PR, которые протягиваются в виде меридиональной полосы почти через всю страну. Выходы каолина достигают длины 1 км и ширины 40–50 м, совпадая с простираем материнских пород. В Южной Швеции известно не менее 10 месторождений каолинов. Наиболее крупными из них являются месторождения острова Ифо и с. Аксельторн. Каолиновая кора всех месторождений развита по докембрийским гнейсам и перекрывается озерными отложениями, представленными огнеупорными и каолиновыми глинами и песками (возможно юра-нижний мел). Выше залегают морские сенонские отложения с остатками фауны и четвертичные ледниковые образования.

Каолинизация слабая – в типичном сыром каолине о. Ифо 43–46% кварца, 25–28 полевого шпата, 24–26 каолинита и 3–5% слюды. В месторождении Аксельторн каолина 61%, кварца 33, остальных минералов около 6%. Возраст каолинов домеловой, выветривание происходило дважды – в доюрское (по юрским угленосным толщам, развитым в соседних с месторождением районах) и досенонское время.

Месторождение датского острова Борнхольм находится в его западной части, где полоса каолинизации длиной 4 км и шириной 200–300 м вытянута с северо-востока на юго-запад. Каолины мощностью до 30 м, развиты по гранодиоритам и секущим их аплитовым, пегматитовым и диабазовым жилам. КВ перекрыта отложениями нижнеюрского возраста, представленными угленосными песками и глинами, перекрытыми моренными суглинками. Крупные всемирно известные месторождения высококачественных элювиальных каолинов расположены в Юго-Западной Англии (в Корнуолле и Девоншире). Они развиты по турмалинизированному и грейзенизированному герцинским гранитам, имеют мощность до 250 м и отличаются высоким качеством. Каолин добывается несколькими десятками рудников, в массиве Бодмин-Мур их несколько меньше. Здесь известно наиболее крупное каолиновое тело, глубина его разработки составляет более 30 м.

Во Франции также имеются крупные месторождения элювиальных каолинов, образовавшихся в результате выветривания двуслюдяных гранитов, гранито-гнейсов и кварцевых диоритов. В Бретани находятся месторождения Племер, Племе, Кесуа и другие, которые интенсивно разрабатываются. В Центральном Французском массиве разрабатывались многие месторождения, глубина выемки каолина достигает 50 и более м. Характерна приуроченность лучших сортов полезного компонента к кварцевым и гранулитовым жилам в слюдяных сланцах и гранулитах. Возраст КВ мезозойский. Она перекрывается как песчаниками рэта, так и меловыми породами. И те и другие содержат каолинит.

Многочисленные месторождения элювиальных каолинов имеются в Центральной Европе. В Германии только в районе Кемлица Северо-Западной Саксонии известны 15 месторождений, из которых разрабатываются – Фриден, Глюккауф и Грёппендорф [30].

Каолины имеют мощность до 40 м и образованы по кварцевым порфирам, игнимбрикам, цехштейнам. В районе Мейсена первичные каолины развиты на кварцевых порфирах (месторождение Зайлиц), биотитовых гранитах (Оккрилла), сиенит-диоритах (Радебург) [1]. Крупнейшее месторождение каолинов расположено севернее г. Бауцена. В районе г. Галле каолины развиты по песчаникам и порфирам перми и триаса. На западе Германии известны месторождения каолинов по гранитам (Тиршенройт) и аркозовым песчаникам триаса (Шнайттенбах).

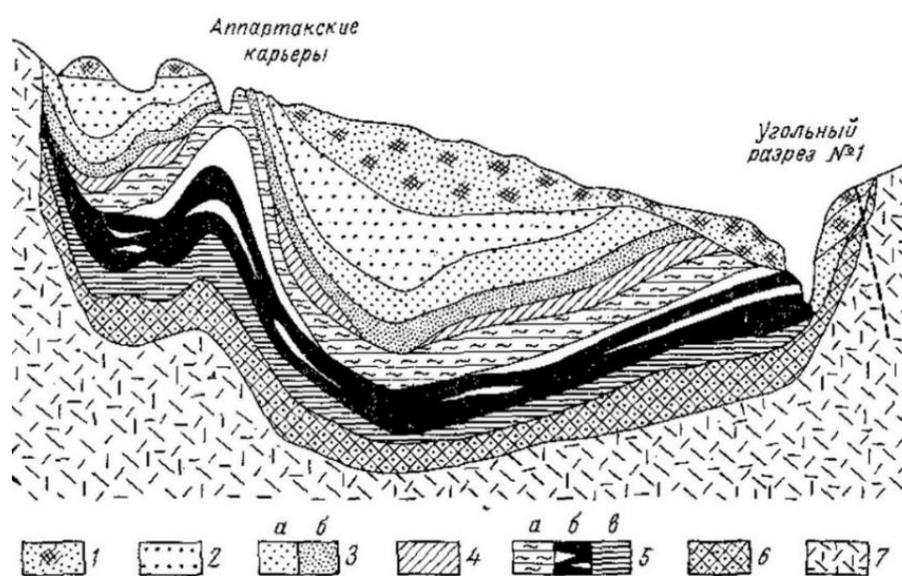
В Западной Чехии в районе Карловых Вар расположены всемирно известные месторождения высококачественных каолинов, образовавшихся по грейзенезиро-

ваным гранитам. В районе Зноймо, Южная Моравия, имеются месторождения каолинов по гранитоидам, ортогнейсам и филлитам, в районах Пльзенья и Подборани – по карбоновым песчаникам. В Австрии наиболее крупное месторождение Маллерсбах расположено северо-западнее Вены. Здесь КВ развита по гранитам, как и на месторождениях Гмюнд, Кирхбаум, Вайнцирль, Круммнуссбаум и других, составляющих единую каолиновую провинцию с месторождениями района Зноймо южной части Чешского массива. В его северной части, в Польше (Нижняя Силезия), первичные каолины по гранитам имеются в районе Болеслава и Вишоновицей, вторичные каолины верхнемелового возраста – в районе Чернихова и Червонной Воды.

В Югославии, в окрестностях Буяновца и Карачева известны месторождения каолинов по герцинским

гранитоидам. Здесь мощность коры достигает 80 м. В Испании крупные месторождения элювиальных каолинов по кислым изверженным и метаморфическим породам находятся в Галисии и Центральной Кордильере. Небольшие месторождения этого вида минерального сырья известны в провинциях Севилья (Казальяде-ля Сьерра) и Кордова (Уэльва).

Самым южным в *Евразии* является крупное Ангренское месторождение [1], где под толщей нижнеюрских углей и каолиновых глин залегает элювий (40–50 м) кварцевых порфиров палеозойского фундамента (рис. 12). На КВ залегает угленосная свита, которая выше переходит в каолиновую. Её мощность колеблется от 8 до 60 м, и она представляет наибольший интерес для добычи в этом комплексном месторождении углей и каолинов.



**Рис. 12.** Схематизированный разрез Ангренской долины [1]: 1 – четвертичные образования; 2 – неоген; 3 – палеоген; 4 – меловые отложения; 5 – юрские породы (а – каолиновая свита, б – угли и каолин, в – базальная свита); 6 – КВ; 7 – кварцевые порфиры и другие  $PZ_2$  породы. Отношение вертикального масштаба к горизонтальному – 7:1.

**[Fig. 12.** Schematised section of the Angren Valley [1]: (1) - Quaternary formations; (2) - neogene; (3) - Paleogene; (4) - chalk deposits; (5) - Jurassic rocks (a - kaolin formation, b - coals and kaolin, c - basal formation); (6) - weathering crust; (7) - quartz porphyry and other  $PZ_2$  rocks. The ratio of the vertical to horizontal scale is 7:1. Translation of symbols from the map: *Аппартакские карьеры* – *Appartaksky quarries*, *Угольный разрез №1* – *Coal quarry No. 1.*]

В Северной Америке нижнемезозойские каолиновые месторождения широко распространены [1]. В Канаде известно Квебекское месторождение, приуроченное к линейной КВ по кварцево-полевошпатовым жилам в докембрийских кварцитах. Но наиболее крупные месторождения расположены в США. Они приурочены к верхнемеловым и третичным отложениям.

Источниками каолина служат мезозойские КВ по докембрийским и палеозойским породам. Здесь имеется свыше 70 месторождений, многие из них отрабатываются. КВ развиты по гранитам и сланцам, особенно качественные каолины образуются по пегматитам, мощности элювия достигают 50 м.

**Кайнозойские месторождения.** Образование первичных каолинов, огнеупорных и керамических глин в кайнозое в условиях тропического и субтропического климатов происходило на пониженных участках рельефа с затрудненным выносом растворимых компонентов. Здесь накапливались вторичные каолины, тогда

как на возвышенных территориях формировались бокситы и богатые железные руды [31].

В США каолины приурочены не только к верхнемеловым, но и третичным отложениям. Разрабатываются крупнейшие месторождения вторичных каолинов и каолинистых песков в штатах Джорджия, Алабама, Арканзас, Техас, Калифорния. Плиоцен-плейстоценовые осадочные каолины имеются в штате Флорида, миоценовые – в штатах Вашингтон, Айдахо. Элювиальные каолины разрабатываются в штате Пенсильвания [32].

Наиболее важные месторождения каолинов сосредоточены в Арканзасе и штатах так называемого Каолинового пояса (Южная Каролина, Джорджия, Алабама) (рис. 13). В Арканзасе бокситы, залегающие в пределах полей развития нефелиновых сиенитов, через фацию бокситистых глин переходят в фацию каолинов. Мощность пород, образующих названные фации, достигает 24 м, но иногда не доходит и до 18 м.

Каолины содержат более 35%  $Al_2O_3$ , менее 45%  $SiO_2$ , менее 5%  $Fe_2O_3$ . По самым осторожным оценкам, их запасы в Арканзасе на площадях с мощностью вскрыши менее 15 м – 100 млн т.

Залежи разных мощностей и экономического значения распространены вместе с отложениями группы Уилкоккс в округах Грант, Хот Спрингс, Уочита, Даллас, Миллер. Там линзы каолинов имеют мощность от 15 см до 9 м и площади выходов от нескольких квадратных метров до 16 га и более. В каолинах встречаются прослойки нелигитифицированного песка и лигнитов, хотя частично каолины «чистые». Иногда каолинит в глинах сопровождается монтмориллонитом. Бокситовый регион Арканзаса и протянувшийся от него на ЮЗ Каолиновый пояс в отложениях группы Уилкоккс содержит 545 млн т. каолинов со средним содержанием 31%  $Al_2O_3$ .



**Рис. 13.** Каолиновый пояс Южной Каролины–Джорджии–Алабамы в составе 6 каолиновых районов: Augusta–Aiken, Wrens, Sandersville, Macon–Gordon, Andersonville, Eufaula. По Patterson и Murrey [30].

[Fig. 13. Kaolin belt of South Carolina-Georgia-Alabama consisting of 6 kaolin regions: Augusta-Aiken, Wrens, Sandersville, Macon-Gordon, Andersonville, Eufaula. According to Patterson and Murrey (1984 г.), from books.google.ru/books?id=RAIIAQ AAI-AAJ [30].]

Каолиновый пояс Южной Каролины–Джорджии–Алабамы прослежен на 400 км между городами Айцкен (Южная Каролина) и Эуфола (Алабама). В его пределах различают шесть каолиновых районов: Аугуста–Айкен, Вренс, Сандерсвилль, Макон–Гордон, Андерсонвилль, Эуфола. Все месторождения ассоциируют с осадочными толщами. Пояс мирового значения – поставщик качественных каолинов на рынок, произвел 100 млн т.

этой продукции. Его ресурсы каолинов оценивают в 7–10 млрд т., и это чрезвычайно консервативная оценка, так как учитывает ресурсы лишь 3 из 6 районов.

На Кубе месторождения каолина приурочены к КВ на различных по составу породах, в том числе на кислых эффузивах, порфиридах, метаморфизованных песчаниках и сланцах [33]. На острове Пинос на западе страны известны месторождения Рио-дель-Кайехон, Маккинлей, Километр-13. На первом наиболее крупном, мощность каолинов колеблется от первых до 75 м и в среднем составляет 15–25 м. В провинциях Камагуэй и Ориенте каолины связаны с КВ линейного типа. Наиболее крупными являются месторождение Дюманьюэко с залежами неправильной формы, вытянутые вдоль контакта риолитов с андезитами и их туфами. Месторождение Понтесуэло представлено каолинами, развитыми по порфиридам, представлено железистыми и маложелезистыми разновидностями каолиновых глин.

В Южной Америке небольшие месторождения элювиальных и осадочных каолинов известны в Венесуэле и Колумбии, а крупные – в Бразилии [34]. В Аргентине первичные каолины (70% их всей добычи страны) кайнозойских КВ развиты по гранитоидам докембрия. В провинции Чубут сосредоточено 70% всей добычи каолинов этой страны.

В Африке, на северном побережье Туниса в олигоценовых отложениях также имеются небольшие месторождения осадочных каолинов. В Танзании севернее озера Ньяса известно месторождение Чимала, где первичные каолины сформировались за счет выветривания лейкократового габбро. К западу от Дар-Эс-Салама находится месторождение вторичных каолинов Пугу Хило, где в мощной миоценовой толще дельтовых рыхлых песчаников содержится 25–30% цементирующего их каолина, принесенного при размыве кайнозойских КВ. Каолины месторождения используются в качестве наполнителя резин, пластмасс, в огнеупорной промышленности. В Малави известны первичные каолины по анортозитам, в ЮАР находятся многочисленные месторождения элювиальных каолинов по протерозойским гранитам, девонским и каменноугольным сланцам.

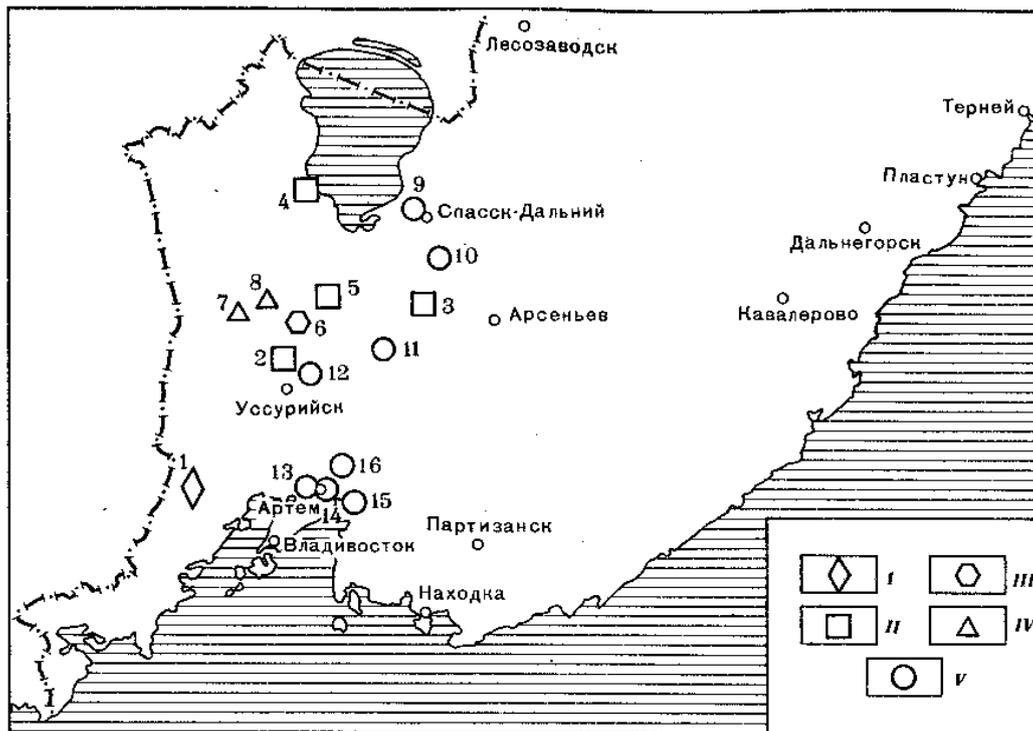
В Австралии и Тасмании известны многочисленные промышленные месторождения первичных каолинов из КВ по метаморфическим, изверженным и осадочным породам докембрийского и палеозойского возраста [35]. Наиболее крупным является месторождение высококачественных каолинов Габбин, приуроченное к КВ адаметеллитовых гранитов. Мощность залежи каолинов от 30 до 50 м. Она перекрыта сцементированным латеритным панцирем (8–10 м) каолина с белизной 87.7%, пригодного для мелования бумаги. Каолин отличает высокие огнеупорность и содержания глинозема.

На Дальнем Востоке, в Приморье, имеется ряд месторождений каолинов, в том числе одно (Гусевское) гидротермального [3], остальные элювиального и осадочного происхождения (рис. 14). Первичные каолины образуются по гранитоидам (Михайловское), сланцам (Павловское), диабазовым порфиридам (Вознесенское месторождения). Осадочные каолинистые глины

аллювиально-делювиальные и элювиально-делювиальные. Они слагают многочисленные месторождения тугоплавких и огнеупорных глин кайнозоя.

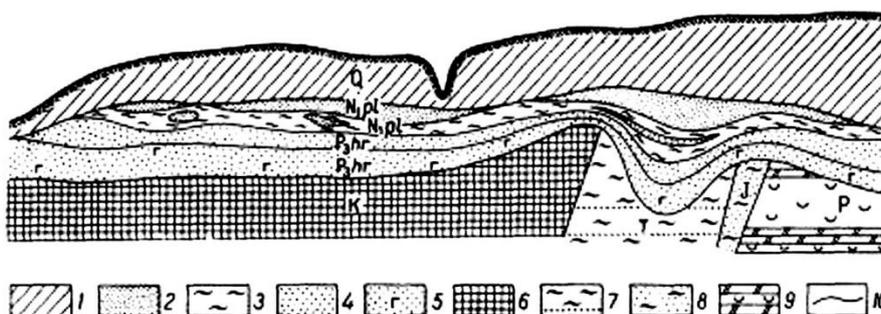
На Украине в кайнозое сформировались многочисленные месторождения огнеупорных глин [3]. В Донбассе, известна группа Часовярских месторождений, куда входят Часов-Ярское (рис. 15), Веселовское, Новорайское, Андреевское. Глины высокого качества, приурочены к палеоген-неогеновым отложениям, залегаю-

щим на закарстованной поверхности верхнемеловых образований Бахмутской котловины. Пласт глин в центральной части котловины имеет мощность 3–4 м, в карстовых воронках – до 18 м и может уменьшаться до 1.5 м, вплоть до полного его замещения песками. Глины по составу каолиновые с примесью смешаннослойных минералов, монтмориллонита, иллита. Они высокодисперсные, пластичные, с низкими температурой, интервалом спекаемости и содержаниями красящих окислов.



**Рис. 14.** Основные каолиновые месторождения и проявления в Приморье [22]: Генетические типы каолинов: I – гидротермальный; II – КВ на магматических породах; III – КВ на метаморфических сланцах; IV, V – осадочный (IV – аллювиальный, V – аллювиально-делювиальный и элювиально-делювиальный); месторождения и их проявления: 1 – Гусевское, 2 – Михайловское, 3 – Реттиховское, 4 – Ханкайское, 5 – Вознесенское, 6 – Павловское, 7 – Липовецкое, 8 – Усачевское, 9 – Спасское, 10 – Меркушевское, 11 – Ширяевское, 12 – Раковское, 13 – Озерновское, 14 – карьер «Приморрыбпрома», 15 – Шкотовское, 16 – Кневичанское.

[Fig. 14. The main kaolin deposits and occurrences in Primorye [22]. Genetic types of kaolin: I – hydrothermal; II – weathering crust on magmatic rocks; III – weathering crust on metamorphic shales; IV, V – sedimentary (IV – alluvial, V – alluvial-deluvial and eluvial-deluvial); deposits and their manifestations: (1) – Gusevskoe, (2) – Mikhailovskoe, (3) – Rettikhovskoe, (4) – Khankaiskoe, (5) – Voznesenskoe, (6) – Pavlovskoe, (7) – Lipovetskoe, (8) – Usachevskoe, (9) – Spasskoe, (10) – Merkushevskoe, (11) – Shiryayevskoe (12) – Rakovskoe, (13) – Ozerovskoe, (14) – Primorribprom quarry, (15) – Shkotovskoe, (16) – Knevichanskoe. Translation of symbols from the map: Владивосток – Vladivostok, Находка – Nakhodka, Партизанск – Partizansk, Артём – Artyom, Уссурийск – Ussuriysk, Арсеньев – Arsenyev, Кавалерово – Kavalerovo, Спасск-Дальний – Spassk-Dalny, Лесозаводск – Lesozavodsk, Дальнегорск – Dalnegorsk, Пластун – Plastun, Терней – Terney.]



**Рис. 15.** Геологический разрез Часов-Ярского месторождения огнеупорных глин и формовочных песков: 1 – суглинки покровные, 2 – пески надглиняные, 3 – глины огнеупорные, 4 – пески кварцевые, 5 – пески кварцево-глауконитовые формовочные, 6 – мел, 7 – глины, 8 – песчаники, глины, 9 – гипсы, мергели, 10 – границы продуктивной толщи огнеупорных глин.

[Fig. 15. Geological section of the Chasov-Yarsk deposit of fireclays and moulding sands: (1) – cover loams, (2) – over-clay sands, (3) – fireclays, (4) – quartz sands, (5) – quartz-glaucanite moulding sands, (6) – chalk, (7) – clays, (8) – sandstones, clays, (9) – gypsum, marls, (10) – boundaries of productive strata of fireclays.]

Используются для производства огнеупоров, а лучшие сорта – в фарфорофаянсовой, электронно-технической, электронной и других отраслях промышленности.

В кайнозойе ВА за счет размыва позднемиоценовой-раннепалеогеновой КВ осадочных пород в морских бассейнах сформировались керамические глины низкого качества [36]. В неогене в континентальных условиях в пределах аллювиальных равнин образовались месторождения тугоплавких глин лучшего качества, чем прибрежно-морских палеогеновых. На северном склоне ВА даже имеется неогеновое Шулеповское месторождение огнеупорных глин [37]. Но они уступают по качеству как латненским, так и часовярским глинам

В *Северном Казахстане* кайнозойские месторождения имеются в Кустанайской, Актюбинской, Павлодарской, Семипалатинской, Кокчетавской и Целиноградской областях (см. рис. 11). В Кустанайской области на Шолаксайском месторождении верхнеолигоценовые огнеупорные глины имеют мощность от 2.4 до 11 м, среднюю мощность вскрыши 5 м, огнеупорность 1430–1670° и монтмориллонит-каолиновый состав. Такого же возраста несколько лучшие по качеству, но меньшей мощности (4 м), глины Сандыксайского месторождения. В Актюбинской области, по западному борту Тургайской впадины выявлены многие месторождения огнеупорных глин высокого качества на площади около 1000 км<sup>2</sup>.

В Кокчетавской области расположены Валентиновское, Многоцветное, Березовское, Степное, Булакское месторождения огнеупорных глин, представленных вторичными каолинами и приуроченные также к олигоценовым отложениям [3]. Средняя мощность глин 5–6 м, вскрыша от 1 до 20 м. В Павлодарском Прииртышье, в южной части Павлодарской и на севере Семипалатинской областей, находятся Семиарское и Горностаевское месторождения, а также многочисленные проявления огнеупорных глин в верхнеолигоценых отложениях. Мощность продуктивного пласта достигает 28 м, средняя – 5–11 м.

### Обсуждение результатов

В фанерозое ВА каолиновые КВ, приуроченные к перерывам в осадконакоплении, формировались неоднократно (см. рис. 1). Наиболее мощный элювий развит по гранитоидам, гнейсам и сланцам. Но в раннем палеозое КВ были маломощными, иллит-каолиновыми. Они месторождений каолина, а также коррелятных им вторичных огнеупорных и тугоплавких глин не дали. Такая картина отмечается для ВЕП и материков всех регионов Земли. Это связано, по-видимому, с отсутствием в додевонское время на суше растительности, оказывающей огромное влияние на выветривание.

Первые месторождения первичных и вторичных каолинов появились в позднем девоне. На Среднем Тимане каолины развиты в КВ на рифейских терригенно-карбонатных породах рифея и эффузивно-осадочных образованиях раннефранского возраста. Они ассоциируются с бокситами, залегающими на повышенных

участках рельефа (см. рис. 2).

На юге ВА в результате размыва КВ на породах докембрия в эрозионно-тектонической депрессии накопилась мощная (до 200 м) мамонская толща, включающая вторичные каолины, песчано-каолиновые смеси и кварцевые пески, в том числе каолинистые [3]. По аналогии с одновозрастными породами Среднего Тимана основная масса выветрелого материала в источниках сноса образовалась в раннефранское время. Вместе с тем их большая мощность пород толщи не исключает суммарный эффект от размыва раннепалеозойских КВ ВА, известных в других структурах ВЕП [4].

Раннекаменноугольные КВ по кристаллическим породам фундамента развиты на юго-западе ВА, где они перекрыты отложениями визейского яруса карбона. В большинстве своем элювий образовался по гранито-гнейсам обоянской серии нижнего архея и имеет каолиновый состав. Но в пределах развития гряд железистых кварцитов и межрудных сланцев раннего протерозоя, возвышающихся в рельефе докембрия, формировался латеритный профиль с богатыми железными рудами и бокситами.

В пределах гряд при размыве КВ нижние горизонты визе на склонах поднятий и в мелких долинах сложены обломочными железными рудами и бокситами, кварц-каолиновыми породами, каолиновыми, в том числе сухарными глинами и осадочными бокситами хомогенно-коллоидного происхождения [38]. С удалением от гряд в основании визейского яруса распространены преимущественно кварцевые пески и алевриты, каолиновые и иллит-каолиновые глины бобринского горизонта. Большая глубина залегания отложений, образованных за счет размыва раннекаменноугольной КВ отрицательно сказывается на перспективах поисков месторождений керамических глин.

Особенностью раннекаменноугольного гипергенеза по сравнению с девонским является увеличение интенсивности процессов выветривания. Это сказалось на увеличении мощностей КВ и образовании значительных месторождений бокситов в пределах зоны тропического климата, протягивающейся от северо-западной части Восточной Европы через Казахстан, Китай до Восточной Австралии включительно [32]. Отмечается тяготение месторождений бокситов к краевым частям угленосных бассейнов [39].

Каолиновые КВ в это время формировались на пониженных формах рельефа, занимая промежуточное место в сопряженной цепочке: бокситы КВ, каолины КВ, переслаивающиеся осадочные бокситы, пластические, сухарные, полусухарные каолиновые глины. При этом практически все месторождения каолиновых глин тяготеют к последнему звену этой цепочки. Среди них преобладают огнеупорные разности, ассоциирующиеся с пластами углей, песчаников, алевритов и глин, включающих многочисленные углефицированные растительные остатки.

Анализ времени формирования месторождений бокситов, каолиновых глин и углей показывает омоложение их возраста по направлению с северо-запада

(склоны Балтийского Щита) на юго-восток от раннекаменноугольного до раннепермского (Китай, Корея). Увеличение интенсивности гипергенных процессов связано с массовым развитием растительности. В карбоне она распространилась на приморские низменности, где формировались параллические угленосные бассейны, где чередовались континентальные и прибрежно-морские обстановки. В раннепермское время растительность завоевала и водораздельные пространства, и осадконакопление в зонах гумидного климата было сосредоточено в озерно-болотных обстановках аллювиальных равнин.

В мезозое в пределах ВА породы докембрия и КВ по ним практически полностью были перекрыты осадочным чехлом. Поэтому в континентальные перерывы в источниках сноса размывались в разной степени «зрелые» осадочные породы. Их выветривание приводило к каолинизации неустойчивых в гипергенезе минералов (полевых шпатов, иллита, глауконита и др.). Важную роль играли процессы «проточного диагенеза» по Г.А. Бушинскому [22] или «дозревания» по Б.М. Михайлову [31] на аллювиальных равнинах.

По коррелятным отложениям с использованием данных по другим регионам выявлены два уровня формирования КВ, приуроченных к континентальным перерывам, – поздне триасово-раннеюрской и раннемеловой. Элювий первого уровня не обнаружен. Но в основании бата во врезанных в девонские породы эрозионных долинах на КМА развиты залегающие в кварцевых песках линзы каолиновых глин, имеющие ограниченное распространение [2]. Второй уровень зафиксирован более четко. Ещё в 1979 г. в работе [40] описаны КВ на неокотских глауконит-кварцевых песках и глинистых алевролитах, превращенных в обохренные каолинит-кварцевые разности и перекрытые аптскими песками. Последние на территории ВА имеют кварцевый состав и включают линзы огнеупорных и тугоплавких каолиновых глин. Эти отложения сформировались за счет «высокозрелых» пород КВ и осадочного чехла.

За пределами ВА первичные каолины широко распространены. Они развиты в КВ на кристаллических породах, имеют мощности в десятки метров, а их многочисленные месторождения известны на обширной территории Евразии от полуострова Корнуолл на юго-западе Англии до юго-восточных районов Китая. Как показал В.П. Петров [1], мезозой – время наибольшего развития каолинов в истории Земли. Это связано с чрезвычайно благоприятными условиями корообразования на обширных пенеупенизированных территориях при теплом гумидном климате и обилии органики.

Два указанных выше уровня развития каолиновых КВ, приуроченных к значительным перерывам, фиксируются и по коррелятным осадкам в основании базальных горизонтов юры и апта. Это обычно каолиновые глины и кварцевые пески. В тех случаях, когда КВ перекрыта нижнемеловыми породами, а юрские отсутствуют, то её возраст принимается как мезозойский.

В мезозойских КВ, в отличие от палеозойских, пространственные парагенетические связи между бокситами каолинами (первые образуются на повышенных, вторые – на пониженных участках рельефа) обычно не прослеживаются. Но в зоне литомаржа бокситового профиля каолиновые глины могут присутствовать. При этом масштабы накопления мезозойских бокситов на докембрийских и молодых платформах значительно сокращены, тогда как в подвижных областях они наращиваются при выветривании карбонатных толщ, включающих терригенный и эффузивный материал (тип «терра-росса»).

Несмотря на значительно меньшую продолжительность кайнозоя по сравнению с палеозоем и мезозоем, большинство месторождений, связанных с КВ – бокситов, богатых железных руд, силикатных Ni и Co, Au и других полезных ископаемых, образовалось в последние 65 млн лет. Это связано с рядом факторов. Во-первых, кайнозой – геократический этап и возросли площади суши, где выветривались горные породы, во-вторых, теплый гумидный климат практически на всех континентах (до плиоцена), за исключением Антарктиды, где в олигоцене началось формирование ледника, в третьих – сохранность от размыва КВ на высоко стоящих материках, затронутых трансгрессиями только в краевых своих частях. Все это особенно четко проявилось в пределах континентов, являвшихся частями Гондваны, ныне разделенных океанами.

Каолиновые КВ кайнозоя на алюмосиликатах довольно широко распространены в Северной Америке, где они ассоциируют с бокситами, располагаясь на пониженных формах рельефа. Такие же взаимоотношения этих полезных ископаемых обычны для КВ материков бывшей Гондваны. В пределах платформенных областей большей части Евразии, в значительной мере покрытых кайнозойскими осадочными отложениями, четких связей между образованием каолинов и бокситов не прослеживается. Последние сосредоточены в подвижных областях в виде образований «терра-росса».

В кайнозое Евразии отмечается два уровня развития КВ – кратковременный поздне меловой-раннепалеогеновый и олигоцен-четвертичный, продолжающийся до настоящего времени. Огнеупорные и тугоплавкие глины преимущественно развиты в олигоцен-миоценовых отложениях.

### Выводы

Анализ данных по каолиновым породам ВА и других структур регионов Мира показал, что месторождения первичных и вторичных каолинов, каолиновых огнеупорных, тугоплавких глин и песчано-каолиновых смесей связаны с перерывами в осадконакоплении, формированием КВ и переотложением их вещества в фациях ближнего сноса. Вместе с тем, фациальные обстановки формирования глин на каждом стратиграфическом уровне существенно различались, что сказалось на вещественном составе,

технологических свойствах и качестве сырья и масштабах месторождений.

В течение фанерозоя в зависимости от меняющихся тектонических и палеогеографических факторов, а также развития органической жизни, эволюционировало и образование каолиновых пород. Оно выразилось в изменении их состава, масштабов развития и образования концентраций полезного вещества.

В досреднедевонское время каолиновые КВ были маломощными и практически не содержали месторождений. Они появились с франского времени, представлены первичными и вторичными каолинами, но широкого распространения не получили. В карбоне в окраинных частях угольных бассейнов с обильной растительностью КВ были источником вещества для месторождений огнеупорных и тугоплавких глин. В поздне-триасово-раннеюрское и раннемеловое время образовались основные месторождения первичных и вторичных каолинов. Для территории Северной Америки пик накопления вторичных каолинов пришелся на верхнемеловое и третичное время.

В кайнозое масштабы каолинитонакопления, по сравнению с мезозойским, заметно сократились, уступив место бокситообразованию, сосредоточенному в латеритных покровах тропических стран. В это время накопилось более 80% всех бокситов в истории Земли. Каолиновые породы в виде элювия, вторичных каолинов и каолиновых глин формировались преимущественно в пределах пониженных участков пенеппленов и на аллювиальных равнинах.

Полученные результаты показали, что эволюция каолинитонакопления, основную массу которого составляют первичные каолины, имеет прерывисто-направленный тренд. Она связана с геократическими этапами развития Земли, увеличением площадей суши и планацией поднятых территорий. Формирование каолиновых месторождений началось в позднем девоне, чему способствовал выход растительности на сушу, достигло максимума в мезозое в его континентальные перерывы и снизилось в кайнозое. Причиной снижения явилась увеличивающаяся интенсивность выветривания, когда на обширных территориях начали возникать латеритные покровы, оттеснив каолинитонакопление на пониженные участки пенеппленов и аллювиальные равнины.

*Конфликт интересов:* Авторы декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Петров В. П. Основы учения о древних корах выветривания. М.: 1967. 344 с.
- Савко А. Д. Фанерозойские коры выветривания и связанные с ними отложения Воронежской антеклизы, их неметаллические полезные ископаемые: дисс. ... докт. геол.-мин. наук. Воронеж, 1984. 551 с.
- Савко А. Д., Бугельский Ю. Ю., Новиков В. М. Коры выветривания и связанные с ними полезные ископаемые. Науч. ред. А. Д. Додатко. Воронеж : Истоки, 2007. 355 с.
- Савко А. Д. Додатко А. Д. Кора выветривания в геологической истории Восточно-Европейской платформы. Воронеж : Изд-во ВГУ, 1991. 232 с.
- Зинчук Н. Н., Савко А. Д., Шевырев Л. Т. Историческая минерагения : в 3-х томах. Воронеж : Воронеж. гос. ун-т, 2005. Т. 1 : Введение в историческую минерагению. – 590 с.; Т. 2; Историческая минерагения древних платформ. 2007. 570 с. Т. 3. Историческая минерагения подвижных супер поясов. 2008 622 с.
- Вежаю-Ворыквинское месторождение алюминия [Электронный ресурс]. URL: <http://geomineral.ru/vezhayu-vorykvinskoe-mestorozhdenie-alyuminiya/> (дата обращения 02.08.2021)
- Савко А. Д., Мануковский, С. В., Шевырев Л. Т. Литология и полезные ископаемые мамонской песчано-каолиновой толщи Воронежской антеклизы. Труды научно-исследовательского института геологии: Воронеж, Изд-во Воронеж. гос. ун-та. Вып. 53, 2009. 112 с.
- Савко А. Д., Новиков В. М., Боева Н. М., Крайнов А. В., Милаш А. В., Жегалло Е. А., Овчинникова М. Ю., Бортников Н. С. Новая каолиноносная провинция России в южной части Воронежской антеклизы // Доклады Академии наук. 2019. Т. 489. № 6. С. 621–625. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524896621-625>
- Савко А. Д., Крайнов А. В., Овчинникова М. Ю., Милаш А. В., Новиков В. М. Эпохи формирования кор выветривания и связь с ними месторождений вторичных каолинов и керамических глин в фанерозое Воронежской антеклизы // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2019. № 3. С. 23–34. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology.2019.3/1809>
- Портал scicenter.online [Электронный ресурс]. URL: <https://scicenter.online/> (дата обращения 02.08.2021)
- Mineralogy Database [Электронный ресурс]. URL: <http://www.webmineral.com/> (дата обращения 02.08.2021)
- Генетические типы месторождений глин и каолинов и их промышленное значение [Электронный ресурс]. URL: [fccland.ru/mestorozhdeniya...tipy...glin-i-kaolinov-i](http://fccland.ru/mestorozhdeniya...tipy...glin-i-kaolinov-i) (дата обращения 02.08.2021)
- Каолины. М.: Наука, 1974. 192 с.
- Каолины Украины. Киев: Наукова думка, 1982. 368 с.
- Дубяга К. Г., Кондрачук В. Ю., Мельничук Э. В., Ремизов И. Н., Русько Ю. А., Сивоконь В. И., Сонкин Л. С. Украинская каолиновая провинция. Каолины. Отв. Ред. В.П. Петров. М.: Наука, 1974. С 66–79.
- Просьяновский каолиновый карьер [Электронный ресурс]. URL: [wikimaria.org/9066737/ru/Просьяновский-каолиновый](http://wikimaria.org/9066737/ru/Просьяновский-каолиновый) (дата обращения 02.08.2021)
- Савко А. Д. Огнеупорные глины и каолины Воронежской антеклизы. Генезис и ресурсы каолинов и огнеупорных глин. Наука. М. 1990. С. 35–47
- Андреев В. В. Аптские керамические глины Липецкой области // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2000. Вып. 5 (10). С. 148–158.
- Савко А. Д., Новиков В. М., Крайнов А. В., Давыдов Д. Н. Ратников В. Ю. Минерагения аптских отложений Воронежской антеклизы. Статья 1. Огнеупорные и керамические глины // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. № 2. 2011. С. 116–136.
- Бортников Н. С., Минеева Р. М., Савко А. Д., Новиков В. М., Крайнов А. В., Беркета А. Г., Сперанский А. В. История каолинита в коре выветривания и связанных с ней месторождения глин по данным ЭПР // ДАН. 2010. Т. 433. № 2. С. 227–230.
- Савко А. Д. Минеральный состав огнеупорных глин

- латненского типа // *Изв. АН СССР.: Сер. геол.* 1977. № 3. С. 126–129.
22. Бушинский Г. И. О выветривании, промывном гидролизе и проточном диагенезе // *Литология и полезные ископаемые.* 1977. № 6. С. 32–43.
23. Солодкий Н. Ф., Шамриков А. С., Погребенков В. М. Минерально-сырьевая база Урала для керамической, огнеупорной и стекольной промышленности. Справочное пособие. Под ред. проф. Г.Н. Масленниковой. Томск: Изд-во ТПУ, 2009. 332 с.
24. Генезис и ресурсы каолинов и огнеупорных глин. М.: Наука, 1990. 253 с.
25. Горбачев Б. Ф., Васянов Г. П., Красникова Е. В. Каолины Орского Зауралья – сырьевая база для формирования в Приволжском федеральном округе специализированного горно-промышленного комплекса // *Георесурсы.* № 4(63). Т.1. 2015. С. 25–32.
26. Gorbachev B. F., Vasyanov G. P. The Kovilnyeluvial kaolin deposit (the Orenburg region): material composition and effective directions industrial development. Int. Conf.: «Clays, clay minerals and layered materials». 2009. 260 p.
27. Неметаллические полезные ископаемые СССР. Справочное пособие. Под ред. В. П. Петрова. М.: Недра, 1984. 407 с.
28. Трошковское месторождение огнеупорных глин [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/>
29. Семенов Е. Ф., Коренбаум В. С., Финько В. И. Генезис каолинов Приморья и области их возможного использования. Генезис и ресурсы каолинов и огнеупорных глин. М.: Наука, 1990. С. 135–141.
30. Минералы. Т.IV. Вып.1. М.: Наука, 1992. С. 25–62.
31. Михайлов Б. М. Куликова Г. В. Фациальный анализ кор выветривания. Л.: Недра. 1977. 159 с.
32. Каолиновый пояс Южной Каролины-Джорджии-Алабамы [Электронный ресурс]. URL: [https://www.google.ru/books/edition/Geological\\_Survey\\_Professional\\_Paper/Ez1f2Cor58C?hl=ru&gbpv=0](https://www.google.ru/books/edition/Geological_Survey_Professional_Paper/Ez1f2Cor58C?hl=ru&gbpv=0) (дата обращения 02.08.2021)
33. Бугельский Ю. Ю. Рудоносные коры выветривания влажных тропиков. М.: Наука, 1979. 286 с.
34. Минерагения осадочных бассейнов континентов и периферических областей. М.: Недра, 1998. 590 с.
35. AMG Australia [Электронный ресурс]. URL: <https://www.amg.com/australia.html> (дата обращения 02.08.2021)
36. Савко А. Д., Крайнов А. В. Керамические глины Центрально-Черноземного района. Труды научно-исследовательского института геологии Воронежского государственного университета. Вып. 88. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2015. 109 с.
37. Коршунов Д. М., Богуславский М. А. Минеральный состав и морфологические особенности каолинита керамических глин Шулеповского месторождения (Рязанская область, центральная часть Европейской России) // *Литология и полез. ископаемые.* 2021. № 2. С. 184–190.
38. Сиротин В. И., Белявцева А. Е. Бокситы КМА. Труды научно-исследовательского института геологии Воронежского гос. ун-та. Воронеж: Воронежский гос. ун-т. Вып. 93, 2016. 104 с.
39. Овчинникова М. Ю., Савко А. Д. Коры выветривания пород железисто-кремнисто-сланцевой формации КМА. Труды научно-исследовательского института геологии Воронежского гос. ун-та. Воронеж: Воронежский гос. ун-т. Вып. 105, 2020. 105 с.
40. Савко А. Д. Эпохи корообразования в истории Воронежской антеклизы. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1979. 120 с.

## Evolution of kaolinite accumulation in the Phanerozoic

© 2021 A. D. Savko<sup>✉</sup>, A. V. Kraynov

<sup>1</sup>*Voronezh State University, 1 Universitetskaya pl., Voronezh 394018, Russian Federation*

### Abstract

**Introduction:** Kaolin weathering crusts were formed during continental breaks when the relief was removed under warm moist climatic conditions. In the Phanerozoic, long breaks with weak tectonic movements were the most favourable and contributed to the formation, preservation, and disposal of eluvial and other correlate formations. These are the eras of active crust formation that were identified by V. P. Petrov in 1967. They can be repeatedly manifested within positive structures, a typical example of which is the Voronezh antecline (VA). Its weathering crust correlate rather well with coeval formations of other structures of the East European Platform (EEP). However, they do not have such full sections with the determined age of the weathering crusts as compared to the VA. Therefore, the Voronezh section with the specified levels of the development of the weathering crusts can act as a reference section for the EEP and, possibly, for the other regions in the world on the whole.

**Results and discussion:** In the pre-Middle Devonian kaolin weathering crusts were low-yield and had almost no deposits. They started to appear in the Frasnian stage and are represented by primary and secondary kaolins but did not become widespread. In the Carboniferous period, weathering crusts were the sources of substances for the deposits of fireclay and high-melting clay on the margins of coal basins with abundant vegetation. The main deposits of primary and secondary kaolins were formed in the Late Triassic - Early Jurassic and the Lower Cretaceous periods. In North America the peak of accumulation of secondary kaolins was during the Upper Cretaceous and the Tertiary. In the Cenozoic, the extent of kaolinite accumulation considerably reduced, as compared to the Mesozoic, giving way to bauxite formation concentrated in the lateritic covers of tropical countries. During that time, over 80% of all bauxites in the history of the Earth were accumulated. Kaolin rocks in the form of eluvium, secondary kaolins, and kaolinite clays were formed mainly within the lower areas of peneplains and on alluvial plains.

**Conclusions:** The obtained results showed that the evolution of kaolinite accumulation, the majority of which are primary kaolins, had an interrupted-directional trend. It is connected with the geocratic stages of the Earth's development, the increase of land area, and reduction of elevated territories. The formation of kaolinite deposits began in the Late Devonian, which was facilitated by the establishment of plant life on land, reached its maximum in the Mesozoic during the continental breaks and slowed down in the Cenozoic. This slowdown was due to the increased intensity of weathering with the formation of the final products of hydrolysis represented by alumina and iron oxides. Laterites appeared in vast areas, pushing kaolinite accumulation off to the lower areas of peneplains and alluvial plains.

**Keywords:** Weathering crust, primary and secondary kaolins, fireclays.

*For citation:* Savko A. D., Kraynov A. V. Evolution of kaolinite accumulation in the Phanerozoic. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2021, no. 3, pp.4–24. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology.2021.3/3647>



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

---

<sup>✉</sup> Arkady D. Savko, e-mail: [savko@geol.vsu.ru](mailto:savko@geol.vsu.ru)

**Conflict of interests:** The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

## REFERENCES

- Petrov V. P. *Osnovy ucheniya o drevnikh korakh vyvetrivaniya* [Fundamentals of the doctrine of ancient weathering crust]. Moscow, 1967. 344 p. (In Russ.)
- Savko A. D. *Fanerozoiskie kory vyvetrivaniya i svyazannye s nimi otlozheniya Voronezhskoi anteklizy, ikh nemetallicheskie poleznye iskopaemye*. Diss. dokt. geol.-min. nauk [Phanerozoic weathering crusts and associated deposits of the Voronezh anteclise, their non-metallic minerals. Dr. geol.-min. sciences diss.]. Voronezh, 1984. 551 p. (In Russ.)
- Savko A. D., Bugel'skii Yu. Yu., Novikov V. M. *Kory vyvetrivaniya i svyazannye s nimi poleznye iskopaemye*. [Weathering barks and associated useful minerals.]. red. A. D. Dodatk. Voronezh, Istoki publ., 2007. 355 p. (In Russ.)
- Savko A. D., Dodatk A. D. *Kory vyvetrivaniya v geologicheskoi istorii Vostochno-Evropskoi platform* [Weathering crust in the geological history of the East European Platform]. Voronezh, VGU publ., 1991, 232 p. (In Russ.)
- Zinchuk N. N., Savko A. D., Shevyrev L. T. *Istoricheskaya minerageniya*. [Historical Minerageny]. In 3 vol. Vol. 1. *Vvedenie v istoricheskuyu minerageniyu*. [Introduction to historical minerageny]. Voronezh, VSU publ., 2005, 587 p; Vol. 2. *Istoricheskaya minerageniya drevnikh platform*. [Historical Minerageny of Ancient Platforms]. Voronezh, VSU publ., 2007, 570 p. Vol. 3. *Istoricheskaya minerageniya podvizhnykh superpoyasov*. [Historical minerageny of mobile superbelts]. Voronezh, VSU publ., 622 p. (In Russ.)
- Vezhayu-Vorykvinskoe mestorozhdenie alyuminiya [Vezhayu-Vorykvinskoe aluminum deposit]. Available at: <http://geomineral.ru/vezhayu-vorykvinskoe-mestorozhdenie-alyuminiya/> (accessed 2 august 2021) (In Russ.)
- Savko A. D., Manukovskii S. V., Shevyrev L. T. *Litologiya i poleznye iskopaemye mamonskoi peschano-kaolinovoi tolshchi Voronezhskoi anteklizy* [Lithology and minerals of the Mamon sand-kaolin strata of the Voronezh anteclise.]. *Trudy Nauchno-issledovatel'skogo Instituta Geologii* [The work of the Research Institute of Geology], Voronezh, VSU Publ., vol. 53, 2009, 112 p. (In Russ.)
- Savko A. D., Krainov A. V., Milash A. V., Ovchinnikova M. Y., Novikov V. M., Boeva N. M., Bortnikov N. S., Zhegallo E. A. New kaolin-bearing province of Russia in the southern part of the Voronezh Anteclise. *Doklady Earth Sciences*, 2019, vol. 489, no. 2, pp. 1417–1420. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1028334X19120225>
- Savko A. D., Krainov A. V., Ovchinnikova M. Yu., Milash A. V., Novikov V. M. Epochs of the formation of weathering crusts and the relationship with them of deposits of secondary kaolin and ceramic clays in the Phanerozoic of the Voronezh anteclise. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya –Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2019, no. 3, pp. 23–34. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology.2019.3/1809> (In Russ.)
- Portal scicenter.online. Available at: <https://scicenter.online/> (accessed 2 august 2021)
- Mineralogy Database. Available at: <http://www.webmineral.com/> (accessed 2 august 2021)
- Geneticheskie tipy mestorozhdenii glin i kaolinov i ikh promyshlennoe znachenie [Genetic types of deposits of clays and kaolins and their industrial value]. Available at: [fccland.ru/mestorozhdeniya...tipy...glin-i-kaolinov-I](http://fccland.ru/mestorozhdeniya...tipy...glin-i-kaolinov-I) (accessed 2 august 2021)
- Kaoliny* [Kaolins]. Moscow, Nauka publ., 1974, 192 p. (In Russ.)
- Kaoliny Ukrainy* [Kaolin of Ukraine]. Kiev, Naukova dumka publ., 1982, 368 p. (In Russ.)
- Dubyaga K. G., Kondrachuk V. Yu., Mel'nichuk E. V., Remizov I. N., Rus'ko Yu. A., Sivokon' V. I., Sonkin L. S. *Ukrainskaya kalinovaya provintsiya. Kaoliny*. [Ukrainian viburnum province. Kaolins.] Ed. V.P. Petrov. Moscow, Nauka publ., 1974, pp. 66–79. (In Russ.)
- Prosyanovskii kaolinovyi kar'er [Prosyanovsky kaolin quarry]. Available at: [wikimapia.org/9066737/ru/Prosyanovskii-kaolinovyi](http://wikimapia.org/9066737/ru/Prosyanovskii-kaolinovyi) (accessed 2 august 2021) (In Russ.)
- Savko A. D. *Ogneupornye gliny i kaoliny Voronezhskoi anteklizy. Genesis i resursy kaolinov i ogneupornykh glin* [Refractory clays and kaolins of the Voronezh anteclise. Genesis and resources of kaolin and refractory clay]. Moscow, Nauka publ., 1990, pp. 35–47 (In Russ.)
- Andreenkov V. V. Aptskie keramicheskie gliny Lipetskoj oblasti [Aptian ceramic clays of the Lipetsk region]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2000, vol. 5 (10), pp. 148–158. (In Russ.)
- Savko A. D., Novikov V. M., Krainov A. V., Davydov D. N., Ratnikov V. Yu. *Minerageniya apskikh otlozhenii Voronezhskoi anteklizy. Stat'ya 1. Ogneupornye i keramicheskie gliny* [Minerageny of Aptian deposits of the Voronezh anteclise. Article 1. Refractory and ceramic clays]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, no. 2, 2011, pp. 116–136. (In Russ.)
- Bortnikov N. S., Mineeva R. M., Savko A. D., Novikov V. M., Krainov A. V., Berketa A. G., Cperanskii A. V. *Istoriya kaolinita v kore vyvetrivaniya i svyazannykh s nei mestorozhdeniyakh glin po dannym EPR* [History of kaolinite in the weathering crust and associated with it in clay deposits according to EPR data]. *DAN – Academy of Sciences reports*, 2010, vol. 433, no. 2, pp. 227–230. (In Russ.)
- Savko A. D. *Mineral'nyi sostav ogneupornykh glin latnenskogo tipa* [Mineral composition of refractory clays of the Latno type]. *Izv. AN SSSR.: Ser.geol – Izv. USSR Academy of Sciences: Ser. Geol*, 1977, no. 3, pp. 126–129. (In Russ.)
- Bushinskii G. I. *O vyvetrivanii, promyvnom gidrolize i protochnom diagenoze* [On weathering, washing hydrolysis and flow diagenesis]. *Litologiya i poleznye iskopaemye – Lithology and minerals resource*, 1977, no. 6, pp. 32–43. (In Russ.)
- Solodkii N. F., Shamrikov A. S., Pogrebenkov V. M. *Mineral'no-syr'evaya baza Urala dlya keramicheskoi, ogneupornoj i stekol'noi promyshlennosti. Spravochnoe posobie* [Mineral-raw materials base of the Urals for ceramic, refractory and glass industries. Reference manual.]. Ed. prof. G.N. Maslennikovoi. Tomsk, TPU publ., 2009, 332 p. (In Russ.)
- Genesis i resursy kaolinov i ogneupornykh glin* [Genesis and resources of kaolin and refractory clays]. Moscow, Nauka publ., 1990, 253 p. (In Russ.)
- Gorbachev B. F., Vasyanov G. P., Krasnikova E. V. *Kaoliny Orskogo Zaural'ya – syr'evaya baza dlya formirovaniya v Privolzhskom federal'nom okruge spetsializirovannogo gornopromyshlennogo kompleksa* [Kaolins of the Orsk Trans-Urals - a raw material base for the formation of a specialized mining complex in the Volga Federal District]. *Georesursy*, no. 4(63), vol.1, 2015, pp. 25–32. (In Russ.)
- Gorbachev B. F., Vasyanov G. P. *The Kovilnyeluvial kaolin deposit (the Orenburg region): material composition and effective directions industrial development*. Int. Conf.: «Clays, clay minerals and layered materials». 2009. 260 p.

27. *Nemetallicheskie poleznye iskopaemye SSSR. Spravochnoe posobie* [Non-metallic minerals of the USSR. Reference manual.]. Ed. V. P. Petrova. Moscow, Nedra publ., 1984, 407 p. (In Russ.)
28. Troshkovskoe mestorozhdenie ogneupornykh glin [Troshkovskoe deposit of refractory clays]. Available at: <https://ru.wikipedia.org/> (accessed 2 august 2021) (In Russ.)
29. Semenov E. F., Korenbaum V. S., Fin'ko V. I. *Genesis kaolinov Primor'ya i oblasti ikh vozmozhnogo ispol'zovaniya. Genesis i resursy kaolinov i ogneupornykh glin* [Primorye kaolin and the area of their possible use. Genesis and resources of kaolin and refractory clay.]. Moscow, Nauka publ., 1990, pp. 135–141. (In Russ.)
30. *Mineraly. T.IV. Vyp.1* [Minerals. T.IV. Issue 1.]. Moscow, Nauka publ., 1992, pp. 25–62. (In Russ.)
31. Mikhailov B. M., Kulikova G. V. *Fatsial'nyi analiz kor vyvetrivaniya* [Facial analysis of weathering crusts.]. Leningrad, Nedra publ., 1977, 159 p. (In Russ.)
32. Kaolinovi pojas Yuzhnoi Karoliny-Dzhordzhii-Alabamy [Kaolin belt of South Carolina-Georgia-Alabama]. Available at: [https://www.google.ru/books/edition/Geological\\_Survey\\_Professional\\_Paper/Ez1f2Cor58C?hl=ru&gbpv=0](https://www.google.ru/books/edition/Geological_Survey_Professional_Paper/Ez1f2Cor58C?hl=ru&gbpv=0) (accessed 2 august 2021) (In Russ.)
33. Bugel'skii Yu. Yu. *Rudonosnye kory vyvetrivaniya vlazhnykh tropikov* [Ore-bearing weathering crust of humid tropics]. Moscow, Nauka publ., 1979, 286 p. (In Russ.)
34. *Minerageniya osadochnykh basseinov kontinentov i peri-oceanicheskikh oblastei* [Minerageny of sedimentary basins of continents and perioceanic regions]. Moscow, Nedra publ., 1998, 590 p. (In Russ.)
35. AMG Australia. Available at: <https://www.amg.com/australia.html> (accessed 2 august 2021)
36. Savko A. D., Kraynov A. V. *Keramicheskie gliny Tsentral'no-Chernozemnogo raiona* [Ceramic clays of the Central Black Earth Region]. *Trudy Nauchno-issledovatel'skogo Instituta Geologii* [The work of the Research Institute of Geology], Voronezh, VSU Publ., vol. 88, 2015. 109 p. (In Russ.)
37. Korshunov D. M., Boguslavskii M. A. Mineral Composition and Morphological Features of Kaolinite in Ceramic Clays of the Shulepovo Deposit (Ryazan Region, Central European Russia). *Lithology and Mineral Resources*. 2021, no.2, vol. 56, pp. 184–190. DOI: <https://doi.org/10.1134/S002449022101003X>
38. Sirotin V. I., Belyavtseva A. E. Boksity KMA [Boxites of KMA]. *Trudy Nauchno-issledovatel'skogo Instituta Geologii* [The work of the Research Institute of Geology], Voronezh, VSU Publ., vol. 93, 2016. 104 p. (In Russ.)
39. Ovchinnikova M. Yu., Savko A. D. *Kory vyvetrivani porod zhelezisto-kremnistykh slantsevoi formatsii KMA* [Weathering crusts of the ferruginous-siliceous-shale formation of the KMA]. *Trudy Nauchno-issledovatel'skogo Instituta Geologii* [The work of the Research Institute of Geology], Voronezh, VSU Publ., vol. 105, 2020, 105 p. (In Russ.)
40. Savko A. D. *Epokhi koroobrazovaniya v istorii Voronezhskoi anteklizi* [Epochs of crust formation in the history of the Voronezh antecline]. Voronezh, VGU publ., 1979, 120 p. (In Russ.)

*Савко Аркадий Дмитриевич* – д. г.-м. н., профессор, Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская федерация; e-mail: [savko@geol.vsu.ru](mailto:savko@geol.vsu.ru); ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2133-3317>

*Крайнов Алексей Владимирович* – к. г.-м. н., доцент, Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская Федерация; e-mail: [aleksey\\_vsu\\_geo@mail.ru](mailto:aleksey_vsu_geo@mail.ru); ORCID [0000-0003-0038-0990](https://orcid.org/0000-0003-0038-0990)

*Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

*Arkadiy D. Savko* – PhD, Dr. habil. in Geol.-Min., Professor, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation; e-mail: [savko@geol.vsu.ru](mailto:savko@geol.vsu.ru); ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2133-3317>

*Aleksey V. Kraynov* – PhD in Geol.-Min., Associate Professor, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation; e-mail: [aleksey\\_vsu\\_geo@mail.ru](mailto:aleksey_vsu_geo@mail.ru); ORCID [0000-0003-0038-0990](https://orcid.org/0000-0003-0038-0990)

*All authors have read and approved the final manuscript.*