

МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ, ЛИТОЛОГИЯ

УДК. 549.623.91:551.311.231:552.52

*Д.Д. КОТЕЛЬНИКОВ, Н.Н. ЗИНЧУК, В. А. КУЗЬМИН*

**МОРФОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ РАЗНОВИДНОСТИ КАОЛИНИТА  
В КОРАХ ВЫВЕТРИВАНИЯ И ОСАДОЧНОМ ЧЕХЛЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ.  
Статья II. Изменение каолинита в различных литологических типах отложений  
и геологическая интерпретация полученных результатов**

Закономерная приуроченность к профилям выветривания лейкократовых пород относительно крупнокристаллического каолинита, а меланократовых пород мелкокристаллической его разновидности наследуется и при накоплении в отложениях различных литологических типов. В глинистых отложениях за счет механодеструкции и частичной сепарации при размыве и переносе элювиального материала накапливаются более дисперсные разновидности каолинита. Соответственно на стадии раннего катагенеза в порых песчано-алевритовых пород при поступлении в среду минералообразования из элювия меланократовых пород значительного объема Mg и Fe<sup>2+</sup> каолинит кристаллизуется также в виде более мелких идиоморфных псевдогексагональных частиц, чем в продуктах переотложения грубозернистого элювия лейкократовых пород. Проанализировано влияние двух морфологических разновидностей каолинита, связанных с гипергенным изменением различных петрохимических типов пород в источниках сноса на физико-механические свойства каолиновых пород, как сырья используемого для ряда отраслей промышленности. Особое внимание уделено, кроме того, роли каолинита в формировании покрышек и коллекторов нефти и газа, при разработке залежей, а также при решении ряда других вопросов нефтегазовой геологии.

Продукты выветривания зрелых каолиновых кор при перестройке тектонического плана территории могут изменяться в основном двояко. Во-первых, при отрицательных движениях земной коры в области сформировавшегося пенеплена с развитым на нем элювием и повышением базиса эрозии каолинит испытывает определенные преобразования *in situ*. Во-вторых, в процессе омоложения рельефа и понижения базиса эрозии обогащенные каолинитом элювиальные толщи могут подвергаться размыву.

При заболачивании пенеплена в условиях кислой среды и вследствие разложения богатого растительного материала возникает восстановительная обстановка. В этом случае каолинит с сохранением структурного подобия 1:1 сеток трансформируется в бертьерин [17]. В структуре последнего Al в октаэдрических сетках замещается на Mg и Fe<sup>2+</sup>, а Si в тетраэдрических — частично на Al.

Однако в значительно более широком масштабе в природе протекает другой процесс, связанный с размывом и переотложением элювиального материала. В зависимости от структурно-тектонических и палеогеографических условий в пределах водосборной площади мобилизованный на суше

материал накапливается в дальнейшем либо в пресных водоемах, либо в осолоненных озерах и в различных частях морских бассейнов.

Накапливающиеся отложения по мере погружения в стратисферу под действием давления (*P*) и особенно температуры (*T*) изменяются [12, 24, 27, 32]. Это сопровождается уплотнением отложений и преобразованием их на стадии диагенеза (ДГ) в породы, причем рыхлые глинистые отложения переходят на стадии протокатагенеза (ПК<sub>1-3</sub>) и ранних этапов мезакатагенеза (МК<sub>1+2</sub>) в последовательно уплотняющиеся разности. На границе раннего и позднего катагенеза, в него включаются подстадии мезакатагенеза (МК<sub>3-5</sub>) и стадия апокатагенеза (АК<sub>1-4</sub>), уплотненные глины переходят в аргиллиты, а на стадии метагенеза (МГ) перекристаллизуются в глинистые сланцы. Одновременно гранулярные, т. е. песчано-алевритовые отложения на указанных стадиях преобразуются во все более цементированные разности песчаников и алевролитов, причем последние из-за меньшей скорости движения в них пластовых вод изменяются быстрее. Далее обе разности гранулярных пород перекристаллизуются в крупно- и мелкозернистые кварциты. В зависимости от гидрохимического ха-

рактера среды осадконакопления (пресно- либо соленоватоводной), наследуемой в той или иной степени литифицируемыми отложениями, во всех литологических типах происходит закономерная трансформация аллотигенных минералов [26]. Менее стабильные их разновидности по мере увеличения на глубине  $P$  и  $T$  переходят в более устойчивые, свойственные каждому последующему циклу литогенеза с определенными термобарическими и гидрогеохимическими параметрами среды [12, 24, 27, 32]. Одновременно в поровом пространстве песчано-алевритовых отложений последовательно интенсифицируется аутигенное образование глинистых минералов, природа которых зависит от минерализации пластовых вод [14]. Причем пластовые воды изменяются от карбонатного типа к сульфатному и хлоридному [1] при погружении в стратиферу содержащих их пород.

На основе принципа цикличности преобразования глинистых минералов в осадочном чехле земной коры [27, 32] они изменяются скачкообразно по мере достижения определенных  $PT$ -параметров среды. Используя этот принцип, С.Г. Саркисян и Д.Д. Котельников [24] выделили в указанном чехле четыре зоны: ДГ—ПК<sub>1,3</sub>, МК<sub>1 и 2</sub>, МК<sub>3-5</sub>—АК<sub>1,4</sub> и МГ. При этом первые три зоны соответствуют собственно осадкам и осадочным породам, а в четвертой они теряют характерные для них свойства.

#### Условия переотложения продуктов выветривания лейко- и меланократовых пород

**Элювиальный материал лейкократовых пород.** В процессе переотложения элювиального материала средних и кислых пород в пресных водоемах продолжается увеличение лейкократовости накапливающихся отложений (гидрогеохимические параметры среды в общем наследуются от условий, свойственных корам выветривания), а каолинит подвергается механодеструкции. Это сопровождается расщеплением его кристаллов вдоль базисной плоскости  $ab$  [35, 36], начавшемся еще в профиле выветривания при взаимодействии с пресной водой, а также частичной потерей их кристаллографической огранки (рис. 1 *a, б*) в зависимости от динамики и длительности переноса. В результате происходит разупорядочение структуры каолинита и понижение его сингонии с  $1TC$  до  $1M$  [2], причем индивиды минерала сохраняют не более 2—3 кристаллографических граней.

В спокойных гидродинамических условиях размыва и переотложения продуктов выветривания в основном накапливаются осадки глинистого типа. Вследствие быстрого их уплотнения и перехода в породы при погружении в стратосферу, что определяет образование закрытой системы, каолинит, приобретающий на стадии мотогенеза указанные выше морфологические особенности, подвергается автоконсервации. При условии сохранения кислой среды и окислительной обстановки (особенно при накоплении осадков в пресных водоемах) каолинит остается стабильным вплоть до конечных этапов стадии АК [12, 24].

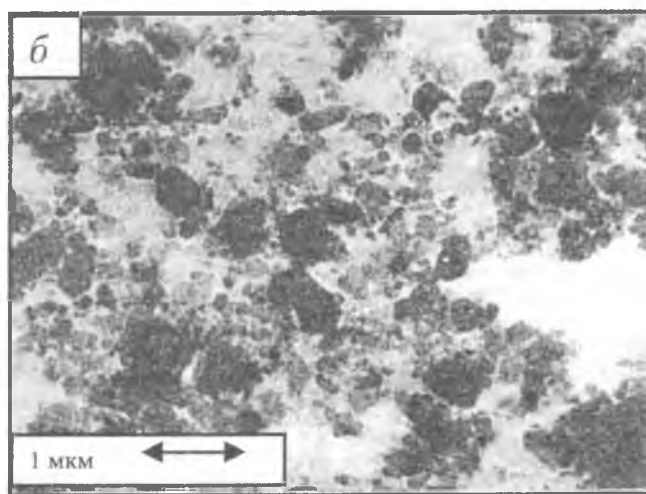
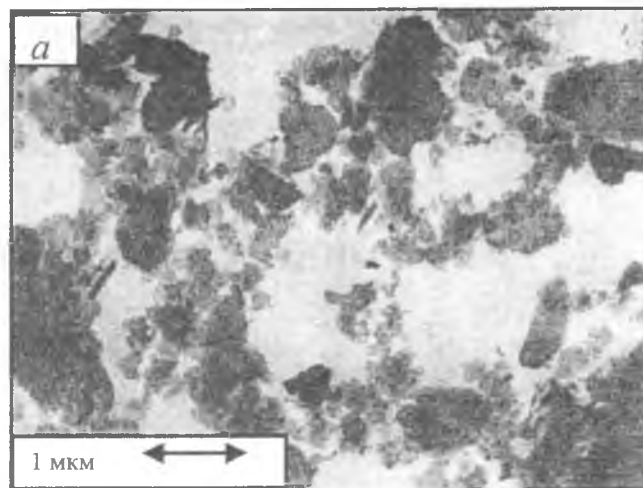


Рис. 1. Электронно-микроскопическое изображение (ПЭМ) аллотигенного каолинита [23]: *a* — крупнокристаллическая разновидность, *б* — мелкокристаллическая разновидность

При накоплении элювиального материала в пресноводной среде с высокой гидродинамической активностью, что определяет формирование песчано-алевритовых отложений гидрогеохимическая обстановка, характерная в общих чертах для профиля выветривания, сохраняется. В условиях открытой системы и сохранения кислой среды и окислительной обстановки в этих породах продолжается деструкция реликтов первичных минералов с выносом из их структур неустойчивых химических элементов, главным образом щелочных (Na и K) и щелочно-земельных (Mg и Ca), и синтезом каолинита с более совершенным, чем у аллотигенной разновидности, габитусом кристаллов. Однако при быстром изменении в проницаемых породах состава пластовых вод (в связи с погружением их в стратиферу), а также при возникновении резко восстановительной обстановки каолинит, образованный в порах пород за счет изменения реликтовых зерен плагиоклазов, замещается бертьерином (рис. 2, II, *a-г*), который образует так называемые, кристификационные каемки (рис. 3, I, *a-e*). В контактирующих с песчано-алевритовыми прослоями уплотненных глинистых породах (аргиллитах), например, в отложениях вандадынской свиты севе-



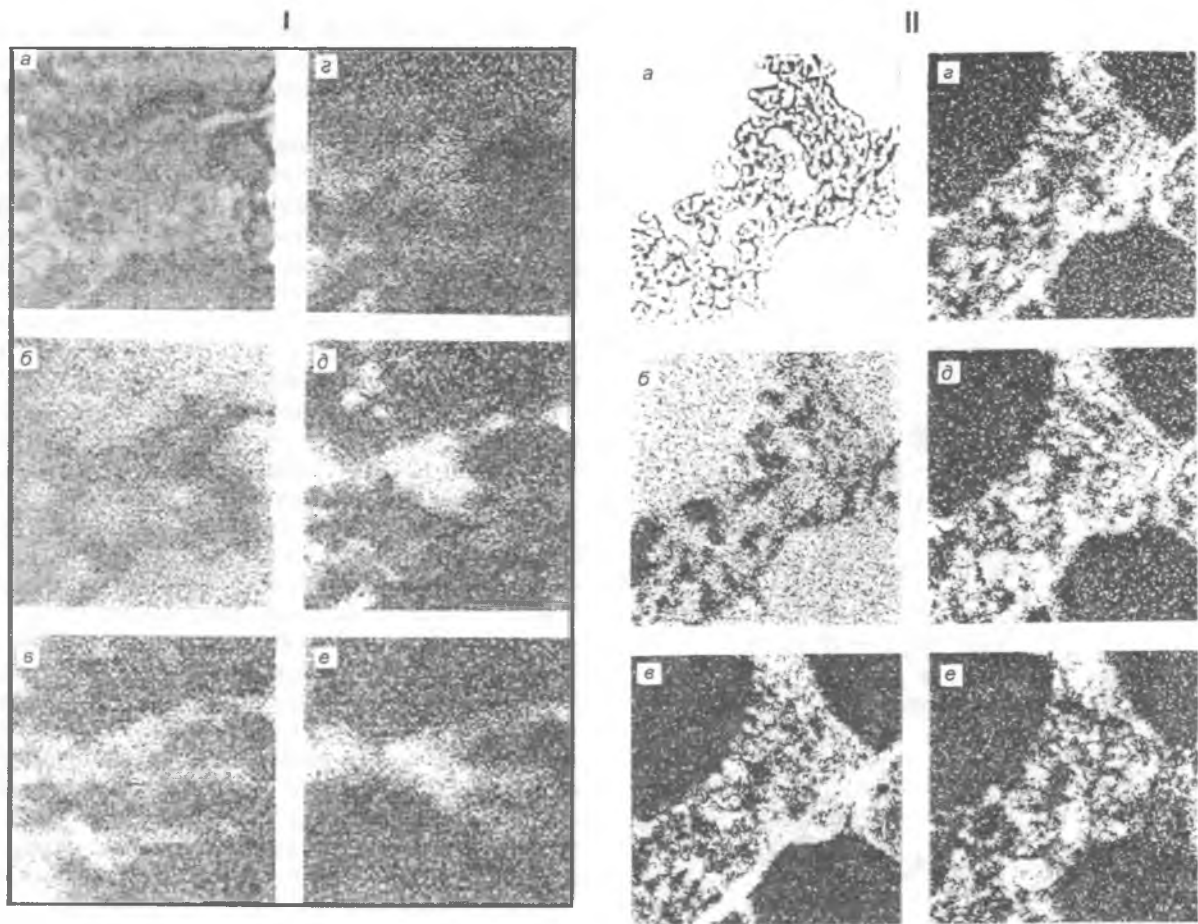


Рис. 3. Микронзондовые изображения ( $70 \times 70$  мкм) в поглощенных электронах (а) и в характеристических рентгеновских лучах (б — SiK $_{\alpha}$ , в — FeK $_{\alpha}$ , г — MgK $_{\alpha}$ , д — AlK $_{\alpha}$ , е — KК $_{\alpha}$ ) порового пространства кварцевого песчаника вандадынской свиты, р. Тея, северо-восточная часть Енисейского кряжа (I), содержащего аутигенный бертьериновый цемент с примесью аутигенной удлиненнопластинчатой гидрослюды и Mg-Fe-хлорита, и туфопесчаника чивидинской свиты, р. Вороговка, ниже устья р. Лиственной, Енисейский кряж (II), содержащего аутигенный Mg-Fe-хлоритовый цемент с примесью аллотигенной изометричнопластинчатой гидрослюды [24]

лitate взаимодействия железоалюмосиликатных растворов и K, возникает «удлиненочешуйчатый монтмориллонит», представляющий в структурном отношении монтмориллонит-гидрослюдистое смешанослойное образование, содержащее более 40% разбухающих слоев, или неупорядоченного типа [3]. В отличие от бертьерина и хлорита этот минерал синтезируется при повышенных термобарических параметрах среды, поэтому локализуется в центральных частях пор [12, 23, 24].

Вследствие повышения как *PT* параметров, так и рН при погружении отложений в стратосферу, начиная с ранних этапов позднего катагенеза, т. е. с МК $_3$ , во всех литологических типах пород увеличивается степень замещения Si на Al в тетраэдрах структуры аллотигенных разбухающих минералов, поступающих из средних горизонтов кор выветривания. Например, различные смектиты и ассоциирующие с гидрослюдой генетически связанные с ней неупорядоченные монтмориллонит-гидрослюдистые смешанослойные образования, а также монтмориллонит, развивающийся за счет раскристаллизации гиалокластического материала. За счет изменения катионного состава тетраэдров существенно возрастает межслоевой заряд этих минералов.

Аналогичные замещения происходят и в тетраэдрических позициях структуры приуроченного к песчано-алевритовым породам и развивающегося на поздних этапах раннего катагенеза «удлиненочешуйчатого монтмориллонита». Такая тенденция обуславливает необходимость компенсации повышающегося отрицательного заряда тетраэдрических сеток структуры этих минералов дополнительной фиксации K в их межслоевых промежутках. Все это приводит к последовательной трансформации «удлиненочешуйчатого монтмориллонита» в зоне позднего катагенеза в удлиненнопластинчатую гидрослюду [8, 12, 14, 23, 24], также соответствующую монтмориллонит-гидрослюдистому смешанослойному образованию, но с содержанием менее 40% лабильных слоев, с которыми с тенденцией к упорядоченности чередуются преобладающие — неразбухающие.

На стадии МГ во всех литологических типах отложений морского генезиса уменьшается количество разбухающих слоев в структуре 2:1 минералов, < 5%, с образованием серицита. За счет перераспределения Mg и Fe $^{2+}$  между ним и ранее образовавшимся хлоритом, который становится более магнезиальным, образуется хлорит II генерации.

### *Элювиальный материал меланократовых пород.*

При переотложении продуктов выветривания меланократовых пород в пресных водоемах метеорные воды в процессе дренирования элювиальных толщ выносят из них более значительное количество неустойчивых химических элементов, прежде всего Mg и Fe<sup>2+</sup>, а также частично Si, чем из изменяющихся в зоне гипергенеза средних и кислых пород. В связи с этим в зоны аккумуляции сноса с суши элювия ультраосновных и основных пород кроме твердой фазы поступают насыщенные указанными катионами растворы. В таких условиях, как и при переотложении продуктов выветривания средних и кислых пород, возникающий в элювии ультраосновных и основных пород мелкокристаллический каолинит сохраняется не только в глинистых отложениях, но и уже на начальных этапах раннего катагенеза происходит дополнительная кристаллизация минерала с наиболее совершенной формой частиц в порых песчано-алевритовых пород рассматриваемого фациального типа [23]. Новообразованный в проницаемых породах мелкокристаллический каолинит обладает наиболее высоким идиоморфизмом, что свидетельствует о его образовании из высокоминерализованных Si-Al растворов. Аналогичные процессы микрокристаллизации из пересыщенных растворов хлоридов, сульфатов, карбонатов и нитратов Na, K, Mg и Ca отмечены в [6]. Более значительная плотность частиц мелкокристаллического каолинита по данным РЭМ показывает, что рассматриваемая разновидность каолинита кристаллизовалась в среде, содержащей значительные количества Mg и Fe. Идиоморфизм кристаллов возникающего в этом случае мелкокристаллического каолинита коррелирует также с более высоким, чем в корях выветривания, относительным совершенством структуры минерала. Лишь в глинистых породах, в зависимости от длительности транспортировки аллотигенного каолинита, отмечается его некоторая сепарация по размеру частиц.

Накопление продуктов выветривания меланократовых пород в морских бассейнах протекает по схеме, подобной переотложению элювия средних и кислых пород. Однако с собственно мелкокристаллическим каолинитом в конечную область осадконакопления выносятся более значительные, чем из лейкократовых пород, количество выщелачиваемых из меланократовых разновидностей химических компонентов. С учетом высокой минерализации морской воды, в этом случае наряду с указанной выше генерацией триоктаэдрических минералов [13] значительно интенсифицируется дробление каолинита перпендикулярно базисной плоскости *ab* [37]. Все это способствует быстрой деструкции последнего по мере погружения отложений морского типа в стратисферу. В отложениях позднего катагенеза становится неустойчивым также монтмориллонит-каолинитовое смешанослойное образование, возникающее по основным породам в зоне гипергенеза [3, 5].

### **Влияние различных по дисперсности разновидностей каолинита на петрофизические свойства осадочных толщ**

Каолиновые породы и обогащенные каолиниты широко используются в качестве сырья в различных областях промышленности, в частности, в фарфорово-фаянсовом производстве, металлургической, резиновой, бумажной, косметической, а также в некоторых других. При этом наиболее ценны каолиниты с наибольшим размером частиц и низким содержанием мафических компонентов, относящихся к продуктам переотложения гипергенно измененных пород лейкократового типа [28].

Морфология частиц каолинита и их распределение в осадках и осадочных породах важны, кроме того, при реконструкции палеогеографических условий осадконакопления, расчленении и корреляции осадочных толщ, в процессе формирования нефтяных и газовых месторождений, при оценке флюидоупорной способности отложений, емкостно-фильтрационных свойств пород-коллекторов, при разработке залежей нефти и газа, а также геологической интерпретации результатов геофизических исследований скважин [10, 23, 24]. Принимая во внимание изложенные в [11] морфолого-генетические и структурно-кристаллохимические особенности каолинита, необходимо учитывать его роль главным образом при рассмотрении флюидоупорности глинистых отложений — покрышек залежей углеводородов, и емкостных свойств песчано-алевритовых пород — коллекторов нефти и газа, а также при разработке месторождений [18, 19, 23, 24, 28]. Особенности изменения различных по дисперсности каолинитов при накоплении в глинистых и песчано-алевритовых отложениях, образованных в пределах как пресноводных, так и морских бассейнах, следует рассматривать дифференцированно в каждой из четырех зон, в пределах которых глинистые минералы характеризуются специфическими функциональными свойствами [24]. Особенно это касается трех верхних зон осадочного чехла земной коры, в которых каолинит сохраняет стабильность в зависимости от литолого-фациальных условий накопления содержащих его отложений. Каолинит наиболее устойчив в зоне гипергенеза, где он возникает в наибольшем объеме. Минерал стабилен также в отложениях пресных водоемов или опресненных дельтовых участков морских бассейнов, обеспечивающих не только сохранность его аллотигенной разновидности, но, хотя и фациально ограниченный, однако довольно существенный масштаб дополнительной генерации каолинита в кислых условиях и окислительной обстановке [22, 23, 31]. Поэтому при рассмотрении роли каолинита при формировании экранирующих и коллекторских свойств осадочных пород главное внимание следует обращать на содержащие его пресноводные или близкие к ним формации. Для решения указанных задач важно восстановление петрохимической природы исходных пород в источниках сноса, главным образом морфолого-генетических особенностей разновидностей каолинита, возни-



кающих за счет гипергенного преобразования различных пород [16, 29, 30].

Как известно, флюидоупорной способностью обладают глинистые, глинисто-карбонатные и галогенные отложения, а также породы, содержащие подобные прослои [10, 18, 19, 23, 24]. Наибольшее распространение и практическое значение имеют глинистые породы, сложенные в основном аллотигенными глинистыми минералами разбухающего типа (монтмориллонитом и монтмориллонит-гидрослюдистыми смешанослойными образованиями, содержащими > 40% лабильных слоев) с переменной примесью хлорита, расслоенными по оси с «доменами» каолинита и других минералов. Оптимальными экранирующими свойствами обладают также глинисто-карбонатные толщи, включающие часто глинистые прослои, представленные сингенетично образующимися Mg-силикатами (сепиолитом и палыгорскитом) в слабо катагенетически измененных отложениях и продуктами преобразования (талк- и хлорит-сапонитом) [12, 23, 24]. В некоторых типах отложений существенно улучшают экранирующие свойства пород прослои хлорит-вермикулитов, близких по физико-механическим свойствам с хлорит-сапонитами [12, 23, 24]. Кроме того, следует отметить, что иногда ассоциирующий в корах выветривания с каолинитом галлуазит, как неустойчивый при переотложении элювий минерал [12, 23, 24], практически не участвует в формировании флюидоупорных свойств рассматриваемых отложений.

Экранирующие свойства наиболее важных в этом отношении глинистых отложений определяются их фациальными условиями накопления, мощностью, природой и количественным соотношением глинистых минералов, а также степенью преобразования и текстурированностью специфических для каждого минерала частиц [18]. В общем случае частицы глинистых минералов [33] могут представлять собой крупные «домены», или «вермикулитоподобные» сростки, для каолинита и микроблоки для слабо деградированной слюды. Смектитам свойственны микроагрегаты, состоящие из ультрамикроблоков. Указанные индивидуальными частицы или их полиформенные сочетания при накоплении образуют вначале ячеистые микроструктуры [15, 18, 34], которые в дальнейшем развиваются во все более ориентированные микроструктуры. При этом увеличение контактов частиц от типа скол—грань к типу грань—грань зависит от положения глинистых толщ в одной из четырех зон осадочного чехла [24].

Для характеристики флюидоупорности глинистых пород важно, кроме того, количественное содержание в них песчано-алевритовой примеси, которая препятствует оптимальной ориентировке глинистых частиц и снижает качество покрышек [15, 18]. Относительно малые мощности каолиновых горизонтов в профилях выветривания и соответственно образуемых при их переотложении вторичных каолинов также ограничивают изолирующие свойства таких пород. Учитывая крупный размер как индивидуальных кристаллов каолини-

та, так и особенно «доменных» или «вермикулитоподобных» микроблоков, переотложенные каолины характеризуются наибольшей пористостью и проницаемостью вследствие небольшой удельной поверхности и наименьшей обменной способности (таблица) по сравнению с другими группами глинистых минералов. Поэтому по мере постседиментационного преобразования каолинит в наибольшей степени препятствует развитию в глинистых отложениях ориентированных микроструктур, что ухудшает флюидоупорность глинистых покрышек, особенно в случае присутствия в них крупнокристаллической разновидности «доменного» или «вермикулитоподобного» минерала.

**Величины сорбционной емкости глинистых минералов и слоистых силикатов и алюмосиликатов относительно красителя метиленового голубого**

Минерал, месторождение, фракция	Емкость поглощения, мг экв на 100 г вещества
Каолинит, Просяновское (Украина), <0,001 мм	8,3
Каолинит, Кыштымское (Урал), <0,001 мм	9,0
Каолинит, Глуховское (Украина), <0,001 мм	9,1
Файрклея (в породе), Латненское (Воронежская область)	23,0
Гидрослоды, <0,001 мм	18,0—50,0
Вермикулит (в породе), Кыштым (Урал)	30
Монтмориллонит, Огланлы (Туркмения), <0,001 мм	80
Монтмориллонит (в породе), Аскана (Грузия)	116,0
Монтмориллонит, Гумбри (Грузия), <0,001 мм	84,0
Монтмориллонит, Курцы (Крым) <0,001 мм	107,0
Хлорит (в породе), Кемпирсай (Казахстан)	33,0
Сепиолит (в породе), Новая Акермановка (Урал)	31,0
Мусковит, Мамское (Восточная Сибирь)	4,8
Пирофиллит (в породе), Бахговский завод (Урал)	14,0
Талк (в породе), р.Онот (Восточная Сибирь)	13,0

Более значительную роль играет каолинит при оценке коллекторских свойств нефтегазоносных, в частности, песчано-алевритовых, отложений [23, 24, 28], в том числе при выяснении механизма формирования в них структуры порового пространства. Причем, как и для покрышек, значение содержания каолинита в гранулярных породах различно [24].

Например, при переотложении в пресных водах аркозового песчано-алевритового материала и продолжающемся развитии в них аутигенного каолинитового цемента увеличение общей пористости сопровождается уменьшением эффективного порового пространства и снижением проницаемо-

сти пластов. Это связано с деструкцией кристаллов полевых шпатов, главным образом микроклина [11], которые распадаются вначале на микроблоки с последующим образованием по ним расщепляющихся вдоль базисной плоскости «доменов» каолинита. Однако отмеченный выше относительно крупный размер частиц каолинита при выветривании лейкократовых пород обеспечивает пористость и проницаемость коллекторов, необходимые для формирования в них залежей углеводородов.

В то же время при накоплении в пресных водах песчано-алевритовых отложений грауваккового типа интенсивное разложение в них неустойчивых в этих условиях реликтовых Mg-Fe-минералов и основных плагиоклазов приводит, с одной стороны, к увеличению размера пор, а с другой, к образованию мелкокристаллического каолинита с большей емкостью поглощения (способностью к гидратации), определяемой повышенной удельной поверхностью чешуйчатых частиц минерала (таблица). В целом это ведет к снижению емкостных и фильтрационных свойств таких пород.

Соответственно седиментация в морских бассейнах гранулярных осадков с аллотигенным каолинитовым цементом, генетически связанным с выветриванием лейкократовых или меланократовых пород, в контрастной геохимической среде сопровождается не только прекращением генерации вторичного каолинита, но и последовательной деградацией первично накапливающегося минерала. Например, при электронно-микроскопическом изучении интенсивно измененных в зоне позднего катагенеза различных литологических типов терригенных (пашийско-кыновских) пород девона Татарии [7], наблюдалось резкое уменьшение в песчано-алевритовых разностях содержания каолинита. Более глубокие постседиментационные преобразования гранулярных пород связаны в этом случае не только с дроблением частиц минерала, особенно его крупнокристаллической разновидности, перпендикулярно плоскости *ab* [37], но и с развитием в первично каолинитовом цементе за счет трансформации в зоне позднего катагенеза возникающего на поздних этапах раннего катагенеза аутигенного «удлинночночешуйчатого» монтмориллонита удлинночнопластинчатой гидрослюды. Затем процессы аутигенного образования глинистых минералов в порах песчано-алевритовых пород затухают и они по значениям пористости и проницаемости сближаются с вмещающими их аргиллитами [20]. Таким образом, при оценке коллекторских свойств гранулярных пород необходимо устанавливать морфолого-генетические особенности глинистых минералов, в том числе каолинита.

Кроме того, исследование каолинита важно при разработке залежей нефти и газа. Это относится прежде всего к оценке фильтрационной динамики их движения в продуктивных пластах, а также масштабов и особенностей локализации остаточных жидких углеводородов.

Вследствие гидрофобности каолинита (таблица) при вскрытии нефтегазоносных пластов с каолинитовым цементом и использования буровых рас-

творов на основе пресной воды не происходит активного его взаимодействия, в отличие от цемента, содержащего разбухающие минералы [23, 24], с указанным флюидом, несмотря на возникающее в этом случае снижение минерализации пластовых вод в призабойной зоне. В то же время минералы с лабильными межслоями в структуре при уменьшении концентрации поровых растворов приобретают тенденцию к диспергированию слагаемых ими микроагрегатов [23] и уменьшению скорости движения углеводородов к забою скважин за счет перекрытия наиболее тонких межпоровых каналов.

Залежи жидких углеводородов формируются [25] до развития в породах-коллекторах процесса максимального аутигенеза минералов, в том числе слоистого типа, т. е. на заключительных этапах раннего катагенеза [24]. Поэтому в продуктивных пластах, представленных в этой части разреза отложениями терригенных платформенных субформаций [9] в песчано-алевритовых их разностях, присутствуют в основном аллотигенные глинистые минералы, образующие первичный цемент. Аутигенные глинистые минералы в таких пластах могут возникать лишь в условиях переформирования месторождений в тектонически активных областях за счет развития в отложениях вторичных коллекторских свойств в виде трещинной пористости и проницаемости в первоначально глубоко погруженных интенсивно измененных отложениях, которые в дальнейшем подвергались тектоническим дислокациям.

## Заключение

Таким образом, обогащенность как глинистых, так и песчано-алевритовых отложений пресноводного типа платформенных областей крупнокристаллическим каолинитом свидетельствует о перетолжении элювиальных продуктов выветривания лейкократовых пород с тенденцией расслоения кристаллов каолинита вдоль плоскости *ab*. При этом присутствие в проницаемых разностях пород последнего типа, а также в трещинах сильно катагенетически измененных и дислоцированных отложений, накапливавшихся в опресненных водах наряду с аллотигенным каолинитом с низким идиоморфизмом частиц кристаллов с относительно совершенной псевдогексагональной огранкой свидетельствует о дополнительном аутигенном образовании минерала на ранних этапах подстадий МК<sub>1</sub> и 2 и в процессе более позднего наложенного низкотемпературно-гидротермального изменения отложений.

При накоплении крупнокристаллического каолинита в отложениях морского типа частицы минерала дробятся перпендикулярно плоскости *ab*. Кроме того, каолинит подвергается общей существенной деградации в процессе постседиментационного преобразования осадков и формирующихся из них пород в агрессивной по отношению к каолину среде.

Идентификация в элювие и в коррелятивных осадочных образованиях мелкокристаллического

каолинита прямо указывает на генезис минерала в результате выветривания в первом случае меланократовых пород и вследствие переотложения во втором их продуктов гипергенного преобразования. При этом в открытой системе минералообразования с рН и Eh, обеспечивающими свободный вынос из нее Mg и Fe<sup>2+</sup>, а также избытка Si, наблюдается не только сохранение мелкокристаллического каолинита при его переотложении, но и продолжение кристаллизации такой разновидности минерала в проницаемых породах. В последнем случае кристаллизация мелкокристаллического каолинита непосредственно связана с процессом выноса из соответствующих кор выветривания растворимых продуктов, содержащих наряду с Si больше мафических компонентов. Это говорит об определенной, в отличие от накопления коррелятивных толщ, содержащих только продукты выветривания лейкократовых пород, закрытости системы минералообразования, способствующей одновременно с сохранением в ней кислой среды слабо восстановительной обстановки.

Выделение двух морфолого-генетических разновидностей каолинита в зависимости от петрохимического типа выветривающихся пород в источниках сноса, открывает возможность дифференцированного использования этих признаков минерала в различных областях нефтегазовой геологии и при разработке нефтяных и газовых месторождений. Присутствие в покрывках «доменов» крупнокристаллического каолинита значительно ухудшает их экранирующие свойства. В отличие от этого накопление в песчано-алевритовых отложениях крупнокристаллического каолинитового цемента аллотигенного типа, даже при последующем дополнительном развитии в породах вторичного каолинита, обеспечивает сохранение более значительных емкостных свойств пород по сравнению с породами, содержащими мелкокристаллический каолинит. Аналогично объем остаточной нефти в продуктивных пластах существенно возрастает при наличии в них мелкокристаллического каолинита.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Алехин О.А. Основы гидрохимии. М.: Гидрометеиздат, 1953. 296 с.
- Виколова М.Ф., Звягин Б.Б. Влияние условий образования глинистых пород на развитие и изменение структурных особенностей глинистых минералов // Советская геология. 1965. № 5. С. 24–37.
- Градусов Б.П. Минералы со смешанослойной структурой в почвах. М.: Наука, 1976. 128 с.
- Дриц В.А., Косовская А.Г. Глинистые минералы: слюды, хлориты. М.: Наука, 1991. 176 с.
- Зинчук Н.Н., Котельников Д.Д., Градусов Б.П. Генезис и распространение каолинит-монтмориллонитов в осадочных чехле // Изв. вузов. Геология и разведка. 1997. № 4. С. 35–43.
- Котельников Д.Д. Влияние воднорастворимых солей в глинах на характер электронных микрофотографий глинистых минералов // Изв. АН СССР. Серия геолог. 1959. № 12. С. 28–35.
- Котельников Д.Д. Зависимость морфологии частиц гидрослюды и каолинита от литологических особенностей и степени постседиментационных изменений древних осадочных пород морского происхождения // Докл. АН СССР. 1965. Т. 160. № 2. С. 442–446.
- Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н. Генезис и эволюция глинистых минералов в осадочном чехле земной коры // Изв. вузов. Геология и разведка. 1999. № 4. С. 58–68.
- Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н. Условия накопления и постседиментационного преобразования глинистых минералов в отложениях терригенной формации // Бюл. МОИП. Отд. геолог. В. 1. 2001. Т. 76. С. 45–53.
- Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н. Геологическая интерпретация результатов изучения глинистых минералов в осадочном чехле земной коры // Вестник Воронежск. госуд. ун-та. Геология. 2001. № 12. С. 45–51.
- Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н., Кузьмин В.А. Морфолого-генетические разновидности каолинита в корах выветривания и осадочном чехле земной коры. Статья 1. Механизм образования каолинита в корах выветривания различных петрохимических типов пород // Изв. вузов. Геология и разведка. 2006. № 5. С. 19–25.
- Котельников Д.Д., Конюхов А.И. Глинистые минералы осадочных пород. М.: Недра, 1986. 247 с.
- Котельников Д.Д., Солодкова Н.А. Роль ди- и триоктаэдрических глинистых минералов в осадочных образованиях // Изв. вузов. Геология и разведка. 1993. № 2. С. 54–63.
- Котельников Д.Д., Солодкова Н.А. Структурные преобразования и морфологические особенности глинистых минералов в седименто- и литогенезе // Бюл. МОИП. Отд. геолог. 1995. Т. 70. В. 3. С. 72–85.
- Котельников Д.Д., Солодкова Н.А. Изменение седиментационных микроструктур глинистых отложений в процессе литогенеза // Геология и геофизика. 1999. Т. 40. № 4. С. 537–544.
- Котельников Д.Д., Домбровская Ж.В., Зинчук Н.Н. Основные закономерности выветривания силикатных пород различного химического и минералогического типа // Литология и полезн. ископаемые. 1995. № 6. С. 594–601.
- Никитина А.П., Витовская И.В., Никитин К.К. Минералого-геолохимические закономерности формирования профилей и полезных ископаемых коры выветривания. М.: Недра, 1971. 92 с.
- Осипов В.И., Соколов В.Н., Еремеев В.В. Глинистые покрывки нефтяных и газовых месторождений. М.: Наука, 2001. 328 с.
- Прозорович Г.Э. Покрывки залежей нефти и газа / Под ред. П.К. Куликова. Тр. Зап-Сиб НИГНИ. В. 49. М.: Недра, 1972. 120 с.
- Прошляков Б.К. Вторичные изменения пород-коллекторов нефти и газа. М.: Недра, 1974. 232 с.
- Русько Ю.А. Вариация структурного совершенства каолинита, как типоморфная особенность // Кристаллохимия минералов и геологические проблемы. М.: Наука, 1975. С. 81–89.
- Савко А.Д., Дадатко А.Д. Кора выветривания в геологической истории Восточно-Европейской платформы. Воронеж: Изд-во Воронежск. ун-та, 1991. 232 с.
- Саркисян С.Г., Котельников Д.Д., Глинистые минералы и проблемы нефтегазовой геологии. М.: Недра, 1971. 183 с.
- Саркисян С.Г., Котельников Д.Д. Глинистые минералы и проблемы нефтегазовой геологии. Изд. 2-е перераб. и доп. М.: Недра, 1980. 232 с.
- Условия формирования пород-коллекторов и миграция нефти / К.Р. Чепиков, Е.П. Ермолова, Г.И. Суркова и др. М.: Недра, 1976. 107 с.
- Франк-Каменецкий В.А., Котов Н.В., Гойло Э.А. Трансформационные преобразования слоистых силикатов при повышенных P-T параметрах. М.: Недра, 1983. 151 с.
- Фролов В.Т. Литология. М.: Изд-во МГУ, 1992. Кн. 1, 336 с. Кн. 2, 1993. 432 с. Кн. 3, 1995. 352 с.
- Хитров В.Г., Зинчук Н.Н., Котельников Д.Д. Применение кластер-анализа для выяснения закономерностей выветривания пород различного состава // Докл. АН СССР. Т. 296. 1987. № 5. С. 1228–1233.



29. Хитров В.Г., Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н. Непараметрический кластер-анализ горных пород. Статья 1. Основы метода. Магматические породы // Бюл. МОИП. Отд. геол. Т. 78. В. 5. 2003. С. 78–87.
30. Хитров В.Г., Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н. Непараметрический кластер-анализ горных пород. Статья 2. Коры выветривания. Метаморфические и осадочные породы // Бюл. МОИП. Отд. геол. Т. 79. В. 1. 2004. С. 65–76.
31. Экзогенные рудообразующие системы кор выветривания / Ю.Ю. Бурельский, И.В. Витовская, А.П. Никитина и др. М.: Наука, 1990. 244 с.
32. Япаскурт О.В., Карпова Е.В., Ростовцева Ю.В. Литология. Краткий курс (избранные лекции). Учебное пособие. М.: Изд-во МГУ, 2004. 228 с.
33. Vosko R.A. Types of microtextural elements and microposity in clays (based on scanning electron microscopy studies) // Intern. Symp on Soil Structure, Gothenburg. Swedich, 1973. P. 97–103.
34. Grabowska – Olszewska B., Osipov V., Sokolov V. Atlas of the Microstructure of Clay Soil. Panstov wydawnictwo naukowe. Warszawa, 1984. 414 p.
35. Oberlin A. Alteration des cristaux de determination par microdiffraction electronique de la structure des produits altires // Comp. Rend. Acad. Sci. Vol. 244. N 12. 1957. P. 1658–1661.
36. Oberlin A. Tchoubar C. Etude en microscopie electronique de l'alteration des cristaux kaolinite // Comp. Rend. Acad. Sci. 1957. V. 24, N 11. P. 1524–1526.
37. Oberlin A. Tchoubar C. Etude en microscopie electronique de l'alteration des cristaux kaolinite parinesolution magnesienne // Comp. Rend. Acad. Sci. 1958. V. 247. N 3. P. 308–311.

Якутский научный центр АН  
Республика Саха (Якутия)  
Институт проблем нефти и газа РАН  
Рецензент — Н.А. Скибицкая

УДК 552.321.5

А.В. ЧИСТЯКОВ

## ПЕТРОЛОГИЯ КРУПНЕЙШЕЙ АВДЕЕВСКОЙ ДАЙКИ В СОСТАВЕ РАННЕПРОТЕРОЗОЙСКОГО БУРАКОВСКОГО МАФИТ-УЛЬТРАМАФИТОВОГО КОМПЛЕКСА (ЮЖНАЯ КАРЕЛИЯ)

На основе петролого-геохимических данных по одной из крупнейших на Балтийском щите Авдеевской габброноритовой дайке подтверждена ее принадлежность к раннепротерозойскому бураковскому комплексу. Sm-Nd минерально-изохронными исследованиями доказана синхронность формирования дайки (возраст  $2436 \pm 46$  млн. лет при  $\epsilon_{Nd} -1,5$ ) и Шалозерско-Бураковского тела Бураковского расслоенного плутона ( $2433 \pm 28$  млн. лет при  $\epsilon_{Nd} -3,14$ ) в составе одноименного комплекса. Геохимически обоснована принадлежность Авдеевской дайки к образованиям кремнеземистой высокомагнезиальной серии, широко представленной на Балтийском щите в раннем палеопротерозое.

Раннепалеопротерозойский бураковский комплекс основных и ультраосновных пород (рис. 1) развит к востоку от Онежского оз., на территории, практически полностью перекрытой четвертичными отложениями. Помимо крупнейшего в Европе Бураковского расслоенного плутона в состав комплекса предположительно включаются относительно слабо изученные ультрамафитовая Копполозерская и крупная габброноритовая Авдеевская дайки. Выявленный в начале 1950-х гг. при разбуривании крупной магнитной аномалии бураковский комплекс с 1964 г. изучается Карельской геолого-разведочной экспедицией. Параллельно исследования ведутся сотрудниками институтов РАН Петрозаводска, Москвы и Санкт-Петербурга с целью изучения строения, условий формирования и геохимических особенностей комплекса, а также оценки его рудоносности. Представления о строении комплекса базируются главным образом на материалах бурения неглубоких (200–500 м) и неравномерно распределенных по площади скважин. Несмотря на многочисленные исследования, остается много вопросов, связанных с формированием данного комплекса.

Цель автора — на основе комплексных петролого-геохимических и изотопно-геохронологических ис-

следований подтвердить, что Авдеевская дайка является составной частью бураковского комплекса.

### Геолого-петрографическая характеристика бураковского комплекса

Бураковский комплекс установлен в юго-восточной части Балтийского щита в пределах древнейшего в Карельской гранит-зеленокаменной области Водлозерского блока, образованного преимущественно архейскими тоналитовыми гнейсогранитами с сетью зеленокаменных поясов.

Основу комплекса составляет наиболее изученный Бураковский плутон, достигающий 50 км в длину, 13–17 км в ширину при мощности от 5–7 до 10 км и площади более 600 км<sup>2</sup>. Ранее предполагалось, что плутон представляет собой единый интрузив, разбитый в позднем протерозое на три тектонических блока [1, 2]. Однако комплексные геолого-петрографические, геохимические и изотопные исследования последних лет позволили установить, что плутон образован двумя самостоятельными однотипными интрузивами — Аганозерским (АТ) и Шалозерско-Бураковским (ШБТ) [1, 3, 7].

Ранее в [3] для двух проб, отобранных из верхних частей разрезов расслоенных серий в обоих телах Бураковского плутона, были построены Sm-Nd