



УДК 622.276+552.2:504

Статья / Article

© ПНИПУ / PNRPU, 2019

ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА ГЛИН, ПОДВЕРЖЕННЫХ ТЕХНОГЕННОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ

К.А. Алванян, А.В. Растегаев¹, Т.Ю. Хлуденева

Пермский государственный национальный исследовательский университет (614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15)

¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет
(614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29)

CHANGES IN THE COMPOSITION OF CLAYS SUBJECTED TO MAN-MADE IMPACT

Karine A. Alvanyan, Aleksandr V. Rastegaev¹, Tatyana Yu. Khludeneva

Perm State National Research University (15 Bukireva st., Perm, 614068, Russian Federation)

¹Perm National Research Polytechnic University
(29 Komsomolskiy av., Perm, 614990, Russian Federation)

Получена / Received: 25.04.2019. Принята / Accepted: 01.06.2019. Опубликовано / Published: 28.06.2019

Ключевые слова:

глина, монтмориллонит, каолинит, гранулометрический состав, микроагрегатный состав, агрегация, диспергация, давление, техногенная нагрузка, коагуляционные, переходные и фазовые контакты.

Физико-химические свойства глин зависят от группы факторов, определяющих энергетический потенциал на поверхности частиц, и от факторов, формирующих удельную поверхность частиц.

Формирование удельной поверхности частиц напрямую связано с вопросами образования микроагрегатов в грунтах. Исследования влияния давления на формирование агрегатов в дисперсных грунтах показали, что при давлениях до 200 МПа наблюдается незначительное изменение агрегатного состава сырых грунтов. При давлении 300 МПа пылеватого грунта содержание тонкой песчаной фракции увеличилось от 13 до 51 %, пылевой – от 5 до 23 %, а глинистой – от 2,15 до 5,42 %. При испытании покровных суглинков давлением $P=2000$ МПа и $P=3660$ МПа получены аналогичные результаты. Из приведенного выше следует, что вопросы влияния давления на образование микроагрегатного состава и, как следствие, физико-химических свойств глин представляют значительный интерес.

Исследованы закономерности изменения состава глин, подверженных высоким давлениям. В результате экспериментальных исследований установлено, что с увеличением давления наблюдается общая тенденция снижения содержания глинистой и увеличения пылевой фракций. Наряду с этой закономерностью в каждом классе выявлены локальные изменения содержания фракционного состава глин в зависимости от давления. С увеличением давления площадь удельной поверхности частиц каолиновой и монтмориллонитовой глин уменьшается. Изменения гранулометрического состава обусловлены процессами агрегации и диспергации частиц. В процессе агрегации, вызванной высоким давлением, формируются коагуляционные, переходные и фазовые контакты между частицами. Дробление и расклинивающее давление пленки связанной воды вокруг частиц являются ведущими факторами, определяющими процесс их диспергации.

Key words:

clay, montmorillonite, kaolinite, particle size distribution, microaggregate composition, aggregation, dispersion, pressure, technogenic load, coagulation, transient and phase contacts.

The physicochemical properties of clays depend on the group of factors that determine the energy potential on the surface of the particles, and on the factors that form the specific surface of the particles.

The formation of the specific surface of the particles is directly related to the issues of microaggregates formation in soils. The study of the pressure effect on the aggregates formation in dispersed soils showed that at pressures up to 200 MPa, there is a slight change in the aggregate composition of wet soils. With a pressure of 300 MPa of silty soil, the content of fine sand fraction increased from 13 to 51 %, silt – from 5 to 23 %, and clay – from 2.15 to 5.42 %. When testing cover loam with pressure $P = 2000$ MPa and $P = 3660$ MPa, similar results were obtained. It can be seen from the above that the issues of the pressure influence on the microaggregate formation composition and, as a consequence, the physicochemical properties of clays are of considerable interest.

Therefore, the aim of the work is to study the patterns of changes in the composition of clays exposed to high pressures. As a result of experimental studies, it was found that with increasing pressure, there is a general tendency for a decrease in the clay content and an increase in the dust fraction. Along with this pattern, in each class, local changes in the content of the fractional composition of clays depending on pressure were revealed. With increasing pressure, the specific surface area of kaolin and montmorillonite clay particles decreases. Changes in the particle size distribution are due to the processes of aggregation and dispersion of particles. In the process of aggregation caused by high pressure, coagulation, transitional and phase contacts between particles are formed. The crushing and propping pressure of a film of bound water around particles are the leading factors determining the process of their dispersion.

Алванян Карине Антоновна – аспирант кафедры инженерной геологии и охраны недр (тел.: +007 342 239 64 39, e-mail: karishuta@yandex.ru). Контактное лицо для переписки.

Растегаев Александр Васильевич – доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геологии нефти и газа (тел.: +007 219 80 00, e-mail: arastegaev@mail.ru).

Хлуденева Татьяна Юрьевна – аспирант кафедры инженерной геологии и охраны недр (тел.: +007 342 239 64 39, e-mail: seredin@nedra.perm.ru).

Karine A. Alvanyan – PhD student at the Department of Engineering Geology and Mineral Protection (tel.: +007 342 239 64 39, e-mail: karishuta@yandex.ru). The contact person for correspondence.

Aleksandr V. Rastegaev (Author ID in Scopus: 55531816900) – Doctor of Geology and Mineralogy, Professor of the Department of Geology of Oil and Gas (tel.: +007 342 219 83 14, e-mail: arastegaev@mail.ru).

Tatyana Yu. Khludeneva – PhD student at the Department of Engineering Geology and Mineral Protection (tel.: +007 342 239 64 39, e-mail: seredin@nedra.perm.ru).

Введение

Физико-химические свойства глин зависят от факторов, определяющих энергетический потенциал на поверхности частиц [1–4], и от факторов, формирующих удельную поверхность частиц [5, 6].

Для формирования энергетического потенциала глин разработаны различные способы их обработки (активации): термический [7–10], химический, с помощью кислот [11], щелочей [12], соли с различной продолжительностью воздействия [13].

По данным Б.К. Кара-Сал и др. [8], при нагревании глин до температур 400–600 °С их сорбционная активность увеличивается за счет высвобождения высокоэнергетических центров на поверхности минерала. По мнению Ж.А. Сапроновой и др. [14], при ультрафиолетовой активации глин за счет ослабления связей в кристаллической решетке минералов ионы металлов выходят из октаэдрических позиций. Это способствует увеличению активности глин в 1,3 раза. Обработка глин ультразвуком приводит к разрушению агрегатов и достройке кристаллической структуры, что повышает активность глин [15].

Изучению вопроса, касающегося изменения физико-химических свойств каолина, обработанного давлением, посвящено ограниченное число работ. Наиболее детально этими вопросами занимались А.Г. Косовская и др. [16], В.А. Ерощев-Шак и др. [17], Э.А. Гойло и др. [18], К.Л. Range и др. [19], В.А. Франк-Каменецкий и др. [20], La Iglesia [21], Galan и др. [22]. La Iglesia [21] установил, что воздействие давления (100–2000 МПа) на каолин не приводит к существенным изменениям размера области когерентного рассеивания d_{001} (энергетического потенциала), а при давлениях более 4 000 МПа эти изменения проявляются.

Формирование удельной поверхности частиц напрямую связано с вопросами образования микроагрегатов в грунтах [1, 23, 24]. В работах [23, 25] представлена информация по формированию гранулометрического и микроагрегатного состава сырых глин в процессах их природного образования и преобразования. В работах [5, 6] опубликована информация по глинам, подверженным техногенному воздействию растворами $MgCl_2$, $CaCl_2$, KCl и $NaCl$. Авторы пришли к выводу, что процесс агрегации связан с концентрацией солевого раствора и минеральным составом частиц.

Вопросами влияния механического фактора, например давления, на формирование агрегатов в дисперсных сырых грунтах занимались в работах [25–27]. Проведенные исследования [28] показали, что при давлениях до 200 МПа наблюдается незначительное изменение агрегатного состава

сырых грунтов. При давлении 300 МПа пылеватого грунта содержание тонкой песчаной фракции увеличилось от 13 до 51 %, пылевой – от 5 до 23 %, а глинистой – от 2,15 до 5,42 %. При испытании покровных суглинков давлением $P = 2000$ МПа и $P = 3660$ МПа получены аналогичные результаты [28]. На основании экспериментальных исследований были разработаны методики прогноза гранулометрического состава не только земных [29], но и лунных грунтов [30].

При обработке глин давлением наряду с процессом агрегации протекают и процессы диспергации и дробления. Для каолинита [21, 31–33] дробление изменяет размер и форму частиц и распределение пор. Кроме того, дробление влияет на физико-химические свойства глин [34–38]. Измельчение каолинита не приводит к постепенному увеличению дефектности для всех кристаллитов, присутствующих в образце [39–42].

Из приведенного выше видно, что вопросы влияния давления на образование микроагрегатного состава и, как следствие, физико-химических свойств глин представляют значительный интерес.

Поэтому целью работы является исследование закономерностей изменения состава глин, подверженных высоким давлениям.

Объектом исследования являются четвертичная каолиновая глина Нижне-Увельского месторождения Челябинской области и лобановская аргиллитоподобная монтмориллонитовая глина шешминского горизонта верхней перми.

Методика исследования

Для передачи давления на образец глин спроектирован и изготовлен прибор высокого давления [43]. Его рабочие поверхности выполнены из твердосплавного материала, их площадь составляла $S = 0,75$ см². В качестве нагрузочного устройства использовался пресс марки ПЛГ-20.

Подготовку образцов глины для гранулометрического анализа осуществляли по методике, изложенной в работе [5]. Максимальное давление составляло $P = 2200$ МПа. Всего изготовлено 56 образцов монтмориллонитовой и 65 каолиновой глин.

Гранулометрический состав глин определялся на лазерном дифракционном анализаторе «Анализетте-22» по методике, изложенной в работе [5].

Технические возможности данного прибора позволяют произвести измерения частиц размерами от 0,08 до 20000 мкм. В работе [25] отмечалось, что тонкая глинистая фракция меньше 1 мкм во многом определяет физико-химические свойства глин. Поэтому, исходя из возможностей прибора и значительного влияния

тонкодисперсных частиц на свойства грунтов, нами исследованы следующие фракции (мкм): $\Phi_{<0,1}$, $\Phi_{0,1-0,2}$, $\Phi_{0,2-0,5}$, $\Phi_{0,5-1,0}$, Φ_{1-2} , Φ_{2-5} , Φ_{5-50} .

Всего произведено 319 определений гранулометрического состава монтмориллонитовой и 385 каолининовой глин.

Следует отметить, что определение размера частиц на данном приборе осуществлялось следующим образом: первоначально происходит диспергирование, а затем измерение частиц, поэтому на выходе должны получить гранулометрический состав грунта. Однако уменьшение фракции $\Phi_{<0,1}$ свидетельствует о том, что не все частицы в процессе диспергирования разрушаются до размера первичных, поэтому фактически получаем микроагрегатный состав грунта. Исходя из смысла обсуждаемого вопроса, далее в тексте используем термины «гранулометрический и микроагрегатный состав».

Результаты исследований

Исследования проводили поэтапно. *На первом этапе* изучали влияние давления и минерального состава глин на изменение их фракционного

состава. Экспериментальные данные приведены на рис. 1, на котором видно, что корреляционные поля имеют близкий характер изменения для различных фракций. Однако поля фракции $\Phi_{<0,1}$ – Φ_{2-5} каолиновой глины располагаются над соответствующими полями монтмориллонитовой глины, а для Φ_{5-50} – наоборот. Данное обстоятельство вызвано тем, что на изменение содержания глинистых фракций в грунте при его сжатии существенное влияние оказывает минеральный состав глин.

Для подтверждения вывода о влиянии минерального состава глин на формирование их гранулометрического состава использованы статистические методы [44], результаты расчетов приведены в табл. 1. Как видно из табл. 1, расчетные значения коэффициента Стьюдента (t_p) для каждой исследуемой фракции выше, чем $t_m = 0,03$, поэтому можно считать, что на формирование фракционного состава грунтов, подверженных давлению, минеральный состав оказывает существенное влияние. Критерий Стьюдента показывает, что выборочные совокупности статистически разделяются.

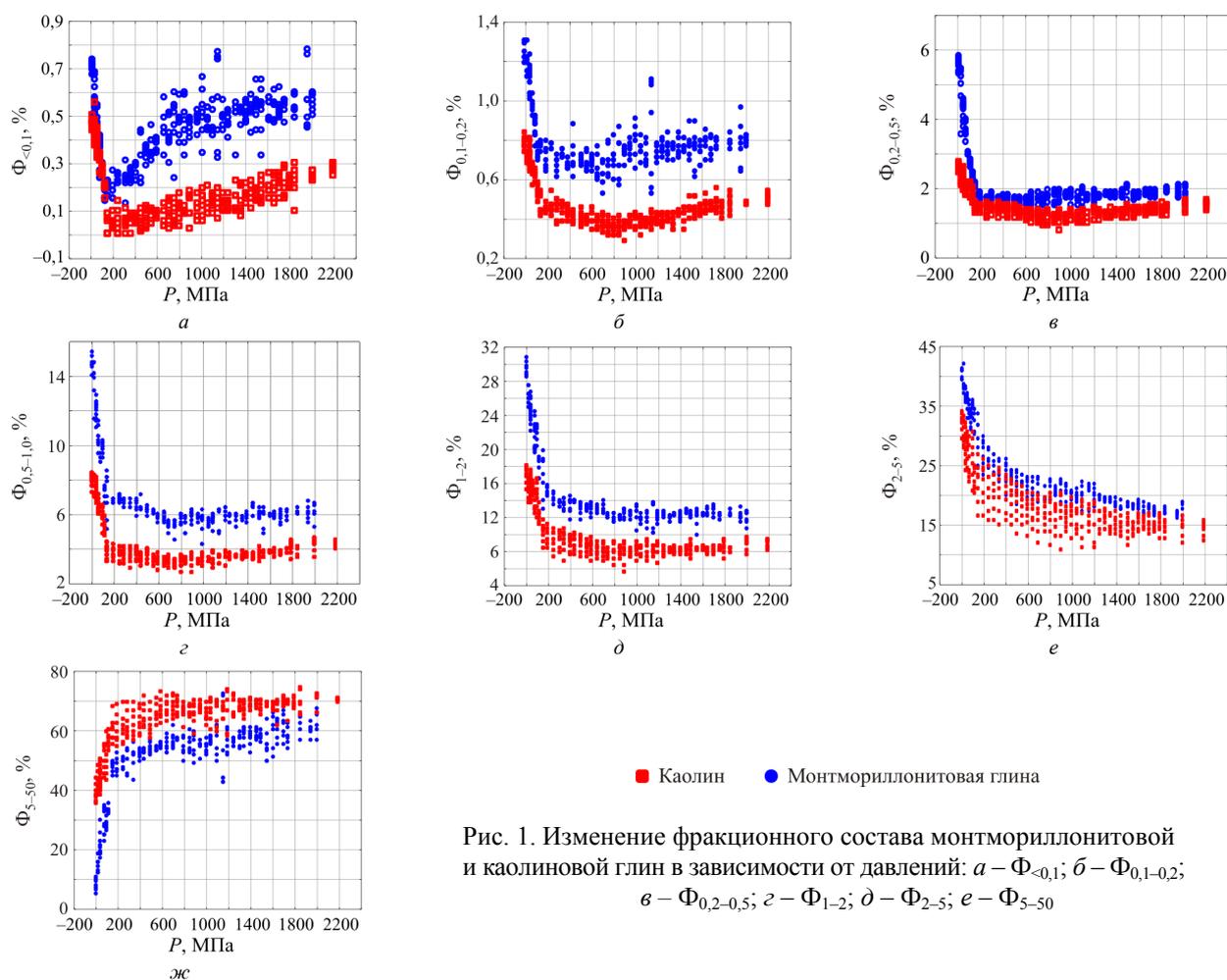


Рис. 1. Изменение фракционного состава монтмориллонитовой и каолиновой глин в зависимости от давлений: а – $\Phi_{<0,1}$; б – $\Phi_{0,1-0,2}$; в – $\Phi_{0,2-0,5}$; г – $\Phi_{0,5-1,0}$; д – Φ_{1-2} ; е – Φ_{2-5} ; ж – Φ_{5-50}

Таблица 1

Статистические характеристики глин

Фракция, %	Каолиновая глина		Монтмориллонитовая глина		Расчетное значение коэффициента Стьюдента t_p	Распознавание выборочных совокупностей, %		
	среднее	стандартное отклонение	среднее	стандартное отклонение		каолиновая глина	монтмориллонитовая глина	общее
$\Phi_{<0,1}$	0,449	0,139	0,180	0,120	25,911	80,0	85,9	83,0
$\Phi_{0,1-0,2}$	0,787	0,148	0,471	0,122	29,197	93,4	85,0	89,1
$\Phi_{0,2-0,5}$	2,184	0,938	1,508	0,397	11,801	42,3	83,4	63,3
$\Phi_{0,5-1,0}$	6,961	2,291	4,262	1,420	17,771	83,6	83,4	83,5
Φ_{1-2}	14,637	4,538	9,673	2,798	16,526	67,5	82,1	75,0
Φ_{2-5}	23,203	6,637	18,812	5,329	9,134	44,6	74,6	59,9
Φ_{5-50}	49,961	13,960	62,695	9,197	-13,511	58,4	81,8	70,4
Z	-1,759	1,020	1,682	0,980	-42,967	97,0	93,4	95,2

Для количественной оценки разделения использован линейный дискриминантный анализ (Linear Discriminant Analysis). Результаты расчетов приведены в табл. 1. Показано, что максимальное различие между каолином и монтмориллонитом наблюдается для фракций $\Phi_{0,1-0,2}$ и $\Phi_{<0,1}$, а минимальное – для фракции Φ_{2-5} .

Остальные фракции занимают промежуточное положение. Для них критерий t_p изменяется от 9,1 до 17,8, а общая правильность распознавания – от 59,5 до 83,5 %. Необходимо отметить, что в преобладающем большинстве случаев фракции монтмориллонитовой глины распознаются лучше, чем каолиновой.

На втором этапе изучали влияние давления на общие закономерности изменения гранулометрического состава глин (выделение классов – диапазон давлений).

Изменение фракционного состава глин при увеличении давления приведено на рис. 1. Видно, что при возрастании давления до $P = 125$ МПа наблюдается существенное уменьшение содержания глинистых ($\Phi_{<5}$) и увеличение пылевой (Φ_{5-50}) фракций. При повышении давления до $P = 750$ МПа содержание глинистых фракций изменяется разнонаправленно, а пылевой – возрастает. При дальнейшем увеличении давления до 2200 МПа содержание глинистых фракций возрастает, а содержание пылевой фракции изменяется хаотично.

Для подтверждения предположения о наличии граничных давлений $P = 125$ МПа и $P = 750$ МПа использовали линейный дискриминантный анализ. Выполненные расчеты по дискриминантным функциям показали, что правильная распознаваемость всех выборок составляет 100 %.

Таким образом, доказано, что граничные значения давления $P = 125$ МПа и $P = 750$ МПа выбраны обоснованно. Это свидетельствует о том, что в каждом классе интенсивность протекания процессов агрегации и диспергации различна, поэтому и условия формирования фракционного

состава глин также имеют свою индивидуальную специфику.

На третьем этапе изучали влияние давления на изменение гранулометрического состава глин в рамках выделенных классов (*внутри классов*). Для этого использовали корреляционный анализ.

В классе 1 ($P = 0-125$ МПа) среднее содержание глинистых фракций меньше, чем в исходной пробе. Это изменение связано, вероятно, с процессами агрегации глинистых частиц, результатом которых явилось увеличение содержания пылевой фракции Φ_{5-50} .

Расчеты показали, что между P и Φ установлены статистические связи, о чем свидетельствуют значимые коэффициенты парной корреляции (r). Наличие отрицательных значений r между P и $\Phi_{<5}$ подтверждает наш вывод о том, что с увеличением давления содержание глинистых фракций уменьшается. Положительные значения r между давлением и содержанием пылевой фракции, наоборот, говорят о том, что с увеличением P содержание Φ_{5-50} возрастает.

Для оценки степени влияния давления на изменение содержания исследуемых фракций использовали показатель k – угловой коэффициент, который представляет собой тангенс наклона прямой в уравнении связи между давлением и фракцией. Его можно интерпретировать следующим образом: чем выше значения k , тем большее влияние оказывает давление на изменение содержания исследуемой фракции [32]. Результаты расчетов представлены на рис. 2.

Установлено, что с уменьшением размера частиц влияние давления на изменение содержания этих фракций уменьшается, при этом наиболее чувствительной к давлению является пылевая фракция Φ_{5-50} , а наименее – глинистая $\Phi_{<0,1}$. Следует отметить, что из всех глинистых фракций в большей степени подвержены давлению фракции Φ_{1-2} и Φ_{2-5} в монтмориллонитовой и каолиновой глине соответственно.

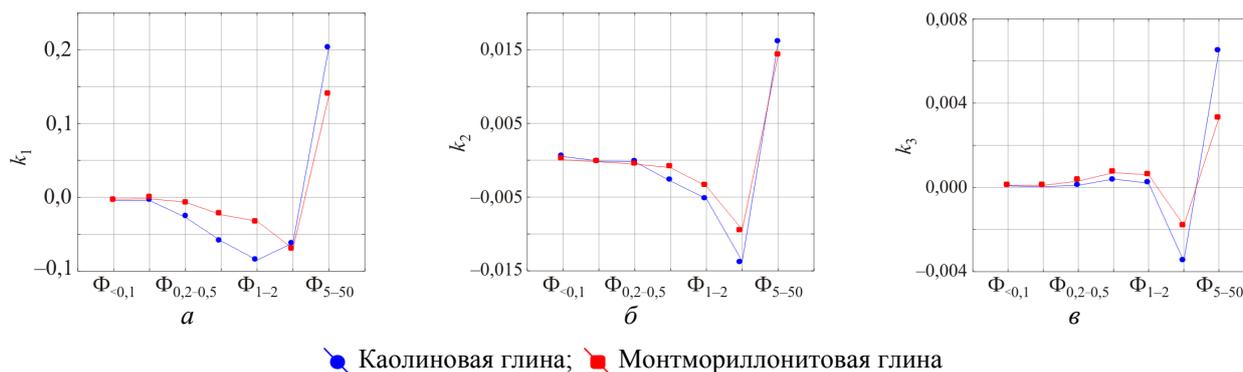


Рис. 2. Зависимость степени влияния давления на изменение содержания исследуемых фракций каолиновой и монтмориллонитовой глин в классах 1 (а), 2 (б) и 3 (в)

Скорость изменения содержания глинистых фракций при увеличении давления в каолиновой сырой глине выше по сравнению с монтмориллонитовой, о чем свидетельствуют более высокие значения показателя k (рис. 2).

В классе 2 ($P = 150–750$ МПа) так же, как и в классе 1, наблюдается уменьшение содержания глинистой фракции $\Phi_{<5}$ и увеличение пылевой фракции Φ_{5-50} (см. табл. 1). При этом для фракции $\Phi_{<0,1}$ отмечается иная закономерность: с увеличением давления содержание $\Phi_{<0,1}$ возрастает, что обусловлено процессами диспергации других фракций. Увеличение содержания Φ_{5-50} связано с процессами агрегации глинистых частиц до размеров пылевой фракции.

Из всех глинистых фракций наиболее чувствительной к давлению является фракция Φ_{2-5} . При этом давление оказывает большее влияние на каолиновую глину, чем на монтмориллонитовую, о чем свидетельствуют более высокие значения показателя k .

В классе 3 ($P = 800–2200$ МПа) влияние давления на изменение фракционного состава глин принципиально отличается от классов 1 и 2. С увеличением давления содержание всех фракций, кроме Φ_{2-5} , возрастает, на что указывают положительные значения r . Между P и Φ установлены статистические связи, об этом свидетельствуют значимые коэффициенты парной корреляции. Наибольшее влияние давление оказывает на образование фракции Φ_{5-50} , а наименьшее – на $\Phi_{<0,1}$.

Из всех глинистых фракций, как и в предыдущих двух классах, наиболее чувствительной к давлению является фракция Φ_{2-5} . При этом давление оказывает более существенное влияние на каолиновую глину, чем на монтмориллонитовую, о чем свидетельствуют более высокие значения показателя k .

На четвертом этапе изучали влияние давления на формирование удельной поверхности

частиц глинистых грунтов. Результаты исследования приведены на рис. 3. Расчет удельной площади частиц производили на 1 мм^3 глины.

Из рис. 3 видно, что с увеличением давления площадь удельной поверхности частиц каолиновой (S_K) и монтмориллонитовой (S_M) глин уменьшается. При этом наибольшая скорость уменьшения S наблюдается в классе 1 (при давлениях до 125 МПа). При давлении более 125 МПа его влияние на изменение S менее значительно. В случае монтмориллонитовой глины на качественном уровне наблюдается взаимосвязь между давлением и площадью, а в каолиновой глине взаимосвязь не выражена.

Для количественной оценки взаимосвязей между P и S проведен корреляционный и регрессионный анализы. Результаты корреляционного анализа представлены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что между давлением и площадью удельных поверхностей частиц глин установлены статистические связи, о чем свидетельствуют значимые коэффициенты парной корреляции. Расчетное значение коэффициента корреляции между площадью удельных поверхностей частиц глин в классе 3 и давлением, равным $r_p = 0,25$, больше критического значения $r_T = 0,17$ при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы $n = 160$.

Таблица 2

Корреляционная матрица

Показатель	Каолиновая глина			Монтмориллонитовая глина		
	S_{K_1}	S_{K_2}	S_{K_3}	S_{M_1}	S_{M_2}	S_{M_3}
Давление P , МПа	-0,98	-0,55	0,25	-0,88	-0,61	0,70

Примечание: S_{K_i}, S_{M_i} – площадь удельных (активных) поверхностей частиц в классах 1, 2, 3.

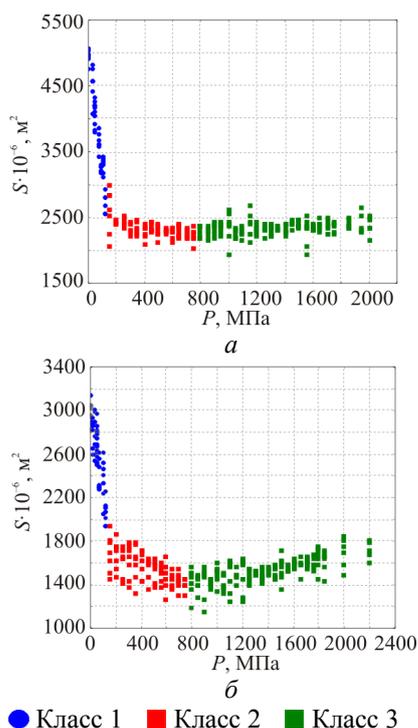


Рис. 3. Изменение удельной площади поверхности каолиновой (а) и монтмориллонитовой (б) глин в зависимости от давлений

На пятом этапе изучали условия формирования гранулометрического состава глин, подверженных давлению. При обработке глин давлением в исследуемых образцах наблюдаются процессы дробления и агрегации частиц. Процесс агрегации обусловлен силами взаимодействия частиц между собой, имеющими физико-химическую природу, а процесс дробления – деформациями частиц. Рассмотрим влияние давления на агрегацию и диспергацию частиц с позиций их размерности.

В кристаллитах процесс агрегации протекает по следующему сценарию: при давлении $P = 0$ МПа (в природных глинах) кристаллиты связаны между собой молекулярными связями (через катионы диффузных слоев воды), т.е. связь между кристаллитами осуществляется посредством коагуляционных контактов. При давлении на грунт от 0 до 125 МПа адсорбированные пленки воды (диффузные слои) на поверхности кристаллита [45] частично прорываются, поэтому кристаллиты между собой контактируют, с одной стороны, точно (переходные контакты), а с другой стороны, через диффузные слои (коагуляционные контакты). При увеличении давления от 125 до 2 000 МПа процесс агрегации сменяется процессом диспергации кристаллитов, из-за которого происходит частичное разрушение химических связей между кристаллитами. Причиной

разрушения является расклинивающее давление пленки связанной воды, сформированной повышенным энергетическим потенциалом на поверхности кристаллита. То есть наблюдается уменьшение влияния в агрегате точечных контактов (электростатических и химических связей) и увеличение более слабых коагуляционных (молекулярных связей) контактов, а часть контактов между кристаллитами разрывается полностью.

В тонких коллоидах (размером 0,1–2,0 мкм) при давлениях до 125 МПа процессы агрегации протекают по сценарию, описанному выше. При давлениях от 125 до 2 200 МПа интенсивность процессов агрегации и диспергации незначительная, они компенсируют друг друга, поэтому содержание этих фракций изменяется не сильно.

В крупных коллоидах (размером 2–5 мкм) при давлениях от 0 до 2200 МПа протекают только процессы агрегации с различным механизмом их формирования и интенсивностью. При увеличении давления от 0 до 125 МПа возрастает количество точек прорыва адсорбированных пленок воды (диффузные слои) на поверхности кристаллитов, что приводит к уменьшению коагуляционных контактов и увеличению переходных контактов. То есть наблюдается уменьшение молекулярных и увеличение химических связей между коллоидами. При дальнейшем возрастании давления от 125 до 800 МПа количество переходных контактов увеличивается и появляются единичные фазовые контакты. То есть возрастает роль химических связей между коллоидами. При дальнейшем увеличении давления от 800 до 2200 МПа роль химических связей между коллоидами (фазовые контакты) превалирует. Полученные результаты не противоречат природе формирования микроагрегатного состава глин.

Выводы

Экспериментально установлено, что с увеличением давления наблюдается общая тенденция снижения содержания глинистой и увеличения пылеватой фракций. Наряду с этой закономерностью в каждом классе выявлены локальные изменения содержания фракционного состава глин в зависимости от давления. С увеличением давления площадь удельной поверхности частиц каолиновой и монтмориллонитовой глин уменьшается. Изменения гранулометрического состава обусловлены процессами агрегации и диспергации частиц. В процессе агрегации, вызванной высоким давлением, формируются коагуляционные, переходные и фазовые контакты между частицами. Дробление и расклинивающее давление пленки связанной воды

вокруг частиц являются ведущими факторами, определяющими процесс их диспергации.

Библиографический список

1. Осипов В.И., Соколов В.Н., Румянцева Н.А. Микроструктура глинистых пород. – Москва: Недра, 1989. – 211 с.
2. Середин В.В., Красильников П.А., Медведева Н.А. Изменение электрокинетического потенциала глинистых коллоидов в водной и углеводородной средах // *Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология.* – 2017. – № 1. – С. 66–74.
3. Закономерности изменения структурных связей (электрокинетического потенциала) глинистых частиц в водном растворе / В.В. Середин, П.А. Красильников, Н.А. Медведева, Т.Ю. Паршина, Т.А. Пешкова // *Современные проблемы науки и образования.* – 2015. – № 2–2. – С. 888.
4. Changes of energy potential on clay particle surfaces at high pressures / V.V. Seredin, T.Y. Parshina, A.V. Rastegaev, V.I. Galkin, G.A. Isaeva // *Applied Clay Science.* – 2018. – Vol. 155. – P. 8–14. DOI: 10.1016/j.clay.2017.12.042
5. Влияние давления на площадь активной поверхности частиц глинистых грунтов / В.В. Середин, А.В. Растегаев, Н.А. Медведева, Т.Ю. Паршина // *Инженерная геология.* – 2017. – № 3. – С. 18–27. DOI: 10.25296/1993-5056-2017-3-18-27
6. Паршина Т.Ю., Середин В.В. Формирование микроагрегатного состава глин при их сжатии // *Современные технологии в строительстве. Теория и практика.* – 2017. – Т. 2. – С. 142–146.
7. Тучкова А.И., Тюпина Е.А. Влияние температуры активации бентонита на его сорбционную способность к извлечению Cs-137 из вакуумных масел // *Успехи в химии и химической технологии: сборник научных трудов.* – 2010. – Т. 24, 7 (112). – С. 12–15.
8. Кара-Сал Б.К., Сапелкина Т.В. Повышение адсорбционных свойств глинистых пород Тувы в зависимости от методов активации // *Актуальные проблемы современной науки.* – 2012 – № 5. – С. 158–162.
9. Термообработка бентонита и адсорбция метилена голубого / Л.А. Биннатова [и др.] // *Конденсированные среды и межфазные границы.* – 2007. – Т. 9, № 2. – С. 99–101.
10. Влияние термического модифицирования на адсорбционные свойства природных силикатов / Л.И. Бельчинская [и др.] // *Сорбционные и хроматографические процессы.* – 2006. – Т. 6, вып. 1. – С. 80–81.
11. Мосталыгина Л.В., Чернова Е.А., Бухтояров О.И. Кислотная активация бентонитовой глины // *Вестник ЮУрГУ.* – 2012. – № 24. – С. 57–61.
12. Тучкова А.И., Тюпина Е.А., Рахимов М.Г. Влияние щелочной активации глинистых минералов на их сорбционную способность к извлечению Cs-137 из отработанного масла // *Успехи в химии и химической технологии: сборник научных трудов.* – 2012. – Т. 26, 6 (135). – С. 92–55.
13. Куртукова Л.В., Сомин В.А., Комарова Л.Ф. Исследования по удалению из воды солей жесткости с применением сорбентов на основе минеральных волокон и бентонитовых глин // *Успехи современного естествознания.* – 2011. – № 12. – С. 29–31.
14. Сорбционные свойства УФ-активированных глин Ангольских месторождений / Ж.А. Сапронова, В.С. Лесовик, М.Ж. Гомес, К.И. Шайхиева // *Вестник КазНУ.* – 2015. – Т. 18, № 1. – С. 91–93.
15. Пушкарева Г.И. Влияние температурной обработки брусита на его сорбционные свойства // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых.* – 2000. – № 6. – С. 90–93.
16. Коссовская А.Г., Шутов В.Д., Дриц В.А. Глинистые минералы – индикаторы глубинного изменения терригенных пород // *Геохимия, минералогия и петрография осадочных образований* / под ред. акад. Д.И. Щербакова. – Москва: Изд-во АН СССР, 1963.
17. Ерошев-Шак В.А., Богатырев Б.А. Размерность и форма минералов семейства каолинита разного генезиса и возраста // *Концептуальные проблемы литологических исследований в России.* – Казань, 2011. – Т. 1. – С. 293–297.
18. Гойло Э.А., Котов Н.В., Франк-Каменецкий В.А. Экспериментальное исследование влияния давления и температуры на кристаллические структуры каолинита, иллита и монтмориллонита // *Физические методы исследования осадочных пород.* – Москва: Наука, 1966. – С. 123–129.
19. Range K.J., Range A., Weiss A. Fire-clay type kaolinite or fire-clay mineral Experimental classification of kaolinite-halloysite minerals // *Proc. Int. Clay Conf.* – Tokyo, 1969. – P. 3–13.
20. Франк-Каменецкий В.А., Котов Н.В., Гойло Э.А. Изменение структуры глинистых минералов в различных термодинамических условиях // *Рентгенография минерального сырья.* – 1970. – № 7. – С. 166–174.
21. La Iglesia A. Pressure induced disorder in kaolinite // *Clay Minerals.* – 1993. – Vol. 28. – P. 311–319. DOI: 10.1180/claymin.1993.028.2.11

22. Galan E., Aparicio P., Gonzalez Á. The effect of pressure on order/disorder in kaolinite under wet and dry conditions // *Clays and Clay Minerals*. – 2006. – Vol. 54, no. 2. – P. 230–239. DOI: 10.1346/CCMN.2006.0540208
23. Осовецкий Б.М. Дробная гранулометрия аллювия. – Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1993. – 343 с.
24. Савко А.Д., Свиридов В.А. Эволюция минерального состава глин в зависимости от условий их седиментации и диагенеза (на примере кайнозойских отложений Воронежской антеклизы) // *Эволюция осадочных процессов в истории Земли: Материалы VIII Всероссийского литологического совещания*. – Москва, 2015. – С. 293–296.
25. О природе изменения состава и свойств глинистых пород в процессе литогенеза / З.А. Кривошеева, Р.И. Злочевская, В.А. Королёв, Е.М. Сергеев // *Вестник Московского университета. Серия Геология*. – 1977. – № 4. – С. 60–73.
26. Stability of lanthanum-saturated montmorillonite under high pressure and high temperature conditions / V.F. Stefani, R.V. Conceição, N.M. Balzaretto, L.C. Carniel // *Applied Clay Science*. – 2014. – T. 102. – P. 51–59. DOI: 10.1016/j.clay.2014.10.012
27. Examining structural and related spectral change in marsrelevant phyllosilicates after experimental impacts between 10–40 gpa / L.R. Friedlander, T.D. Glotch, B.L. Phillips, J.S. Vaughn, J.R. Michalski // *Clays and Clay Minerals*. – 2016. – Vol. 64, № 3. – P. 189–209. DOI: 10.1346/CCMN.2016.0640302
28. Сергеев Е.М. К вопросу уплотнения пылеватого грунта большими нагрузками // *Вестник Московского университета*. – 1946. – № 1. – С. 91–93.
29. Зависимость гранулометрических характеристик дисперсного брусита от срока хранения / В.Ф. Бойко, А.Д. Верхотуров, Т.Б. Ершова, Н.М. Власова // *Огнеупоры и техническая керамика*. – 2009. – № 6. – С. 47–49.
30. Королёв В.А. Моделирование гранулометрического состава лунных грунтов // *Инженерная геология*. – 2016. – № 5. – С. 40–50.
31. Depth-dependent transformation of kaolinite to dickite in sandstones of the Norwegian continental shelf / S.N. Ehrenberg, P. Aagaard, M.J. Wilson, A.R. Fraser, D.M.L. Duthie // *Clay Minerals*. – 1993. – Vol. 28. – P. 325–352. DOI: 10.1180/claymin.1993.028.3.01
32. Ruiz Cruz M.D., Andreo B. Genesis and transformation of dickite in Permo-Triassic sediments (Betic Cordilleras, Spain) // *Clay Minerals*. – 1996. – Vol. 31. – P. 133–152. DOI: 10.1180/claymin.1996.031.2.01
33. Evaluation and prediction of the swelling pressures of gmz bentonites saturated with saline solution / D. Sun, L. Zhang, B. Zhang, J. Li // *Applied Clay Science*. – 2015. – Vol. 105–106. – P. 207–216. DOI: 10.1016/j.clay.2014.12.032
34. Changes in physical-chemical properties of clay under compression / V.V. Seredin, A.V. Rastegayev, E.G. Panova, N.A. Medvedeva // *International Journal of Engineering and Applied Sciences*. – 2017. – Vol. 4, № 3. – P. 22–29.
35. Hills J.F., Pettifer G.S. The clay mineral content of various rock types compared with the methylene blue value // *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. – 1985. – Vol. 35A. – P. 168–180. DOI: 10.1002/jctb.5040350404
36. Yeliz Yukselen, Abidin Kaya. Suitability of the methylene blue test for surface area, cation exchange capacity and swell potential determination of clayey soils // *Engineering Geology*. – 2008. – Vol. 102, iss. 1–2. – P. 38–45. DOI: 10.1016/j.enggeo.2008.07.002
37. Tang L., Sparks D.L. Cation-exchange kinetics on montmorillonite using pressure-jump relaxation // *Soil Science Society of America Journal*. – 1993. – Vol. 57, № 1. – P. 42–46. DOI: 10.2136/sssaj1993.03615995005700010009x
38. Bhattacharyya K.G., Gupta S.S. Adsorption of a few heavy metals on natural and modified kaolinite and montmorillonite: A review // *Advances in Colloid and Interface Science*. – 2008. – № 140. – P. 114–131. DOI: 10.1016/j.cis.2007.12.008
39. Guo Yu., Xiong (Bill) Yu. Characterizing the surface charge of clay minerals with Atomic Force Microscope (AFM) // *AIMS Materials Science*. – 2017 – Vol. 4, № 3. – P. 582–593. DOI: 10.3934/matricsci.2017.3.582
40. Impact of surface defects on the surface charge of gibbsite nanoparticles / A. Klaassen, F. Liu, D. Van den Ende, F. Mugele, I. Siretanu // *Nanoscale*. – 2017. – 9 (14). – P. 4721–4729. DOI: 10.1039/c6nr09491k
41. Zhou Z., Gunter W.D. The nature of the surface charge of kaolinite // *Clays and Clay Minerals*. – 1992. – Vol. 40. – P. 365–368. DOI: 10.1346/CCMN.1992.0400320
42. Defects in structure as the sources of the surface charges of kaolinite / X. Zhu, Z. Zhu, X. Lei, C. Yan // *Appl. Clay Sci*. – 2016. – Vol. 124–125. – P. 127–136. DOI: 10.1016/j.clay.2016.01.033
43. Влияние давления и гранулометрического состава на энергетическую активность глин / В.В. Середин, А.В. Растегаев, В.И. Галкин, Т.Ю. Паршина, Г.А. Исаева // *Инженерная геология*. – 2017. – № 4. – С. 62–71. DOI: 10.25296/1993-5056-2017-4-62-71

44. Галкин В.И., Растегаев А.В., Галкин С.В. Вероятностно-статистическая оценка нефтегазоносности локальных структур. – Екатеринбург: Уро РАН, 2001. – 277 с.

45. Середин В.В., Паршина Т.Ю. Изменение массы связанной воды в глинах при сжатии // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2017 – Т. 16, № 1 – С. 23–32. DOI: 10.15593/2224-9923/2017.1.3

References

1. Osipov V.I., Sokolov V.N., Rumiantseva N.A. Mikrostruktura glinistykh porod [Micro structure of clay rocks]. Moscow, Nedra, 1989, 211 p.

2. Seredin V.V., Krasilnikov P.A., Medvedeva N.A. izmenenie elek-trokineticheskogo potentsiala glinistykh kolloidov v vodnoi i uglevodorodnoi sredakh [Variation of electrokinetic potential of clayey colloids in aquatic and hydrocarbon media]. *Geoekologiya. Inzhenernaia geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*, 2017, no.1, pp.66-74.

3. Seredin V.V., Krasilnikov P.A., Medvedeva N.A., Parshina T.Iu., Peshkova T.A. Zakonomernosti izmeneniia strukturnykh svyazei (elektrokineticheskogo potentsiala) glinistykh chastits v vodnom rastvore [Laws changes of structural links (zeta potential) of particles clay in aqueous solution]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia*, 2015, no.2-2, p.888.

4. Seredin V.V., Parshina T.Y., Rastegaev A.V., Galkin V.I., Isaeva G.A. Changes of energy potential on clay particle surfaces at high pressures. *Applied Clay Science*, 2018, vol.155, pp.8-14. DOI: 10.1016/j.clay.2017.12.042

5. Seredin V.V., Rastegaev A.V., Medvedeva N.A., Parshina T.Iu. Vliianie davleniia na ploshchad aktivnoi poverkhnosti chastits glinistykh gruntov [The effect of pressure on the active surface area of clay soil particles]. *Inzhenernaia geologiya*, 2017, no.3, pp.18-27. DOI: 10.25296/1993-5056-2017-3-18-27

6. Parshina T.Iu., Seredin V.V. Formirovanie mikroagregatnogo sostava glin pri ikh szhatii [The formation microaggregate composition of clays during their compression]. *Sovremennye tekhnologii v stroitelstve. teoriia i praktika*, 2017, vol.2, pp.142-146.

7. Tuchkova A.I., Tiupina E.A. Vliianie temperatury aktivatsii bentonita na ego sorbtionnuiu sposobnost k izvlecheniiu Cs-137 iz vakumnykh masel [The effect of the activation temperature of bentonite on its sorption ability to extract Cs-137 from vacuum oils]. *Uspekhi v khimii i khimicheskoi tekhnologii*, 2010, vol.24, 7(112), pp.12-15.

8. Kara-Sal B.K., Sapelkina T.V. Povyshenie adsorbtsionnykh svoistv glinistykh porod Tuvy v

zavisimosti ot metodov aktivatsii [Increasing the adsorption properties of clay rocks of Tuva, depending on the activation methods]. *Aktualnye problemy sovremennoi nauki*, 2012, no.5, pp.158-162.

9. Binnatova L.A. et al. Termoobrabotka bentonita i adsorbtsiia metilena golubogo [Heat treatment of bentonite and methylene blue adsorption]. *Kondensirovannye sredy i mezhfaznye granitsy*, 2007, vol.9, no.2, pp.99-101.

10. Belchinskaia L.I. et al. Vliianie termicheskogo modifitsirovaniia na adsorbtsionnye svoistva prirodnykh silikatov [Effect of thermal modification on the adsorption properties of natural silicates]. *Sorbtsionnye i khromato-graficheskie protsessy*, 2006, vol.6, iss.1, pp.80-81.

11. Mostalygina L.V., Chernova E.A., Bukhtoiarov O.I. Kislotnaia aktivatsiia bentonitovoi gliny [Acid activation of bentonite clay]. *Vestnik IuUrGU*, 2012, no.24, pp.57-61.

12. Tuchkova A.I., Tiupina E.A., Rakhimov M.G. Vliianie shchelochnoi aktivatsii glinistykh mineralov na ikh sorbtionnuiu sposobnost k izvlecheniiu Cs-137 iz otrabotannogo masla [The effect of alkaline activation of clay minerals on their sorption ability to extract Cs-137 from waste oil]. *Uspekhi v khimii i khimicheskoi tekhnologii*, 2012, vol.26, 6 (135), pp.92-55.

13. Kurtukova L.V., Somin V.A., Komarova L.F. Issledovaniia po udaleniiu iz vody solei zhestkosti s primeneniem sorbentov na osnove mineralnykh volokon i bentonitovykh glin [Studies on the removal of hardness salts from water using sorbents based on mineral fibers and bentonite clays]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniia*, 2011, no.12, pp.29-31.

14. Sapronova Zh.A., Lesovik V.S., Gomes M.Zh., Shaikhieva K.I. Sorbtionnye svoistva UF-aktivirovannykh glin angolskikh mestorozhdenii [Sorption properties of UV-activated clays of the Angolan deposits]. *Vestnik KazNITU*, 2015, vol.18, no.1, pp.91-93.

15. Pushkareva G.I. Vliianie temperaturnoi obrabotki brusita na ego sorbtionnye svoistva [The effect of thermal treatment of brucite on its sorption properties]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*, 2000, no.6, pp.90-93.

16. Kossovskaya A.G., Shutov V.D., Drita V.A. Glinistye mineraly - indikatory glubinnogo izmeneniia terrigenykh porod [Clay minerals - indicators of deep changes in terrigenous rocks]. *Geokhimiia, mineralogiia i petrografiia osadochnykh obrazovaniia*. Ed. D.I. Shcherbakov. Moscow, Izdatelstvo AN SSSR, 1963.

17. Eroshchev-Shak V.A., Bogatyrev B.A. Razmernost i forma mineralov semeistva kaolinita

raznogo genezisa i vozrasta [The dimension and shape of the kaolinite family of minerals of different genesis and age]. *Kontseptualnye problemy litologicheskikh issledovaniy v Rossii*. Kazan, 2011. vol.1, pp.293-297.

18. Goilo E.A., Kotov N.V., Frank-Kamenetskii V.A. Eksperimentalnoe issledovanie vliianiia davleniia i temperatury na kristallicheskie struktury kaolinita, illita i montmorillonita [Experimental study of the effect of pressure and temperature on the crystal structures of kaolinite, illite and montmorillonite]. *Fizicheskie metody issledovaniia osadochnykh porod*. Moscow, Nauka, 1966, pp.123-129.

19. Range K.J., Range A., Weiss A. Fire-clay type kaolinite or fire-clay mineral Experimental classification of kaolinite-halloysite minerals. *Proc. Int. Clay Conf*, Tokyo, 1969, pp.3-13.

20. Frank-Kamenetskii V.A., Kotov N.V., Goilo E.A. Izmenenie struktury glinistykh mineralov v razlichnykh termodinamicheskikh usloviakh [Changes in the structure of clay minerals in different thermodynamic conditions]. *Rentgenografiia mineralnogo syria*, 1970, no.7, pp.166-174.

21. La Iglesia A. Pressure induced disorder in kaolinite. *Clay Minerals*, 1993, vol.28, pp.311-319. DOI: 10.1180/claymin.1993.028.2.11

22. Galan E., Aparicio P., Gonzalez Â. The effect of pressure on order/disorder in kaolinite under wet and dry conditions. *Clays and Clay Minerals*, 2006, vol.54, no.2, pp.230-239. DOI: 10.1346/CCMN.2006.0540208

23. Osovetskii B.M. Drobnaiia granulometriia alliuviia [Fractional alluvium granulometry]. Perm, Izdatelstvo Permskogo universiteta, 1993, 343 p.

24. Savko A.D., Sviridov V.A. Evoliutsiia mineralnogo sostava glin v zavisimosti ot uslovii ikh sedimentatsii i diageniza (na primere kainozoiskikh otlozhenii Voronezhskoi anteklizy) [The evolution of the mineral composition of clays depending on the conditions of their sedimentation and diagenesis (on the example of the Cenozoic deposits of the Voronezh anticline)]. *Evoliutsiia osadochnykh protsessov v istorii Zemli. Materialy VIII Vserossiiskogo litologicheskogo soveshchaniia*, Moscow, 2015, pp.293-296.

25. Krivosheeva Z.A., Zlochevskaia R.I., Korolev V.A., Sergeev E.M. O prirode izmeneniia sostava i svoistv glinistykh porod v protsesse litogeneza [On the nature of changes in the composition and properties of clay rocks in the process of lithogenesis]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Serii Geologiya*, 1977, no.4, pp.60-73.

26. Stefani V.F., Conceição R.V., Balzaretto N.M., Carniel L.C. Stability of lanthanum-saturated montmorillonite under high pressure and high temperature conditions. *Applied Clay Science*, 2014, vol.102, pp.51-59. DOI: 10.1016/j.clay.2014.10.012

27. Friedlander L.R., Glotch T.D., Phillips B.L., Vaughn J.S., Michalski J.R. Examining structural and related spectral change in marsrelevant phyllosilicates after experimental impacts between 10-40 gpa. *Clays and Clay Minerals*, 2016, vol.64, no.3, pp.189-209. DOI: 10.1346/CCMN.2016.0640302

28. Sergeev E.M. K voprosu uplotneniia pylevatogo grunta bolshimi nagruzkami [To the issue of compaction of silty soil with heavy loads]. *Vestnik Moskovskogo universiteta*, 1946, no.1, pp.91-93.

29. Boiko V.F., Verkhoturov A.D., Ershova T.B., Vlasova N.M. Zavisimost granulometricheskikh kharakteristik dispersnogo brusita ot sroka khraneniia [The dependence of the particle size characteristics of dispersed brucite on the shelf life]. *Ogneupory i tekhnicheskaiia keramika*, 2009, no.6, pp.47-49.

30. Korolev V.A. Modelirovanie granulometricheskogo sostava lunnykh gruntov [Simulation of the particle size distribution of lunar soils]. *Inzhenernaia geologiya*, 2016, no.5, pp.40-50.

31. Ehrenberg S.N., Aagaard P., Wilson M.J., Fraser A.R., Duthie D.M.L. Depth-dependent transformation of kaolinite to dickite in sandstones of the Norwegian continental shelf. *Clay Minerals*, 1993, vol.28, pp.325-352. DOI: 10.1180/claymin.1993.028.3.01

32. Ruiz Cruz M.D., Andreo B. Genesis and transformation of dickite in Permo-Triassic sediments (Betic Cordilleras, Spain). *Clay Minerals*, 1996, vol.31, pp.133-152. DOI: 10.1180/claymin.1996.031.2.01

33. Sun D., Zhang L., Zhang B., Li J. Evaluation and prediction of the swelling pressures of gmz bentonites saturated with saline solution. *Applied Clay Science*, 2015, vol.105-106, pp.207-216. DOI: 10.1016/j.clay.2014.12.032

34. Seredin V.V., Rastegayev A.V., Panova E.G., Medvedeva N.A. Changes in physical-chemical properties of clay under compression. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2017, vol.4, no.3, pp.22-29.

35. Hills J.F., Pettifer G.S. The clay mineral content of various rock types compared with the methylene blue value. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 1985, vol.35A, pp.168-180. DOI: 10.1002/jctb.5040350404

36. Yeliz Yukselen, Abidin Kaya. Suitability of the methylene blue test for surface area, cation exchange capacity and swell potential determination of clayey soils. *Engineering Geology*, 2008, vol.102, iss.1-2, pp.38-45. DOI: 10.1016/j.enggeo.2008.07.002

37. Tang L., Sparks D.L. Cation-exchange kinetics on montmorillonite using pressure-

jump relaxation. *Soil Science Society of America Journal*, 1993, vol.57, no.1, pp.42-46. DOI:10.2136/sssaj1993.03615995005700010009x

38. Bhattacharyya K.G., Gupta S.S. Adsorption of a few heavy metals on natural and modified kaolinite and montmorillonite: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2008, no.140, pp.114-131. DOI: 10.1016/j.cis.2007.12.008

39. Guo Yu., Xiong (Bill) Yu. Characterizing the surface charge of clay minerals with Atomic Force Microscope (AFM). *AIMS Materials Science*, 2017, vol.4, no.3, pp.582-593 (12). DOI: 10.3934/mat.2017.3.582

40. Klaassen A., Liu F., Van den Ende D., Mugele F., Siretanu I. Impact of surface defects on the surface charge of gibbsite nanoparticles. *Nanoscale*, 2017, 9 (14), pp.4721-4729. DOI: 10.1039/c6nr09491k

41. Zhou Z., Gunter W.D. The nature of the surface charge of kaolinite. *Clays and Clay Minerals*, 1992, vol.40, pp.365-368. DOI: 10.1346/CCMN.1992.0400320

42. Zhu X., Zhu Z., Lei X., Yan C. Defects in structure as the sources of the surface charges of kaolinite. *Appl. Clay Sci*, 2016, vol.124-125, pp.127-136. DOI: 10.1016/j.clay.2016.01.033

43. Seredin V.V., Rastegaev A.V., Galkin V.I., Parshina T.Iu., Isaeva G.A. Vliianie davleniia i granulometricheskogo sostava na energeticheskuiu aktivnost glin [Influence of pressure and particle-size composition on energy activity of clay]. *Inzhenernaia geologiya*, 2017, no.4, pp.62-71. DOI: 10.25296/1993-5056-2017-4-62-71

44. Galkin V.I., Rastegaev A.V., Galkin S.V. Veroiatnostno-statisticheskaiia otsenka neftegazonostnosti lokalnykh struktur [Probabilistic-statistical evaluation of the petroleum potential of local structures]. Ekaterinburg, UrO RAN, 2001, 277 p.

45. Seredin V.V., Parshina T.Iu. Mass change of bound water in clays under compression. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2017, vol.16, no.1, pp.23-32. DOI: 10.15593/2224-9923/2017.1.3

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Алванян К.А., Растегаев А.В., Хлуденева Т.Ю. Изменение состава глин, подверженных техногенному воздействию // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2019. – Т.19, №2. – С.117–127. DOI: 10.15593/2224-9923/2019.2.2

Please cite this article in English as:

Alvanyan K.A., Rastegaev A.V., Khludeneva T.Yu. Changes in the composition of clays subjected to man-made impact. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2019, vol.19, no.2, pp.117-127. DOI: 10.15593/2224-9923/2019.2.2