

УДК 552.525

## Закономерности изменения гранулометрического состава бентонитовой глины Зырянского месторождения, активированной давлением

К.А. Алванян<sup>а</sup>, А.В. Андрианов<sup>б</sup>, Ю.Н. Селезнева<sup>б</sup><sup>а</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет  
614990, Пермь, ул. Букирева, 15. E-mail: karishuta@yandex.ru<sup>б</sup>Пермский национальный исследовательский политехнический университет  
614990, Пермь, ул. Комсомольский проспект, 29. E-mail: selezneva9409@mail.com

(Статья поступила в редакцию 15 сентября 2020 г.)

Цель работы – оценка изменения гранулометрического состава бентонитовой глины под влиянием давления. Представлены экспериментальные данные влияния давления ( $P = 0–800$  МПа) на гранулометрический состав в образцах глины Зырянского месторождения. В результате эксперимента было выделено два класса, в которых изменения содержания фракций различны. Эти изменения обусловлены агрегацией и диспергацией частиц. Рассчитаны математические модели, позволяющие прогнозировать содержание фракций в зависимости от давления активации глины.

Ключевые слова: бентонит, гранулометрический состав, фракция, агрегация, диспергация, давление.

DOI: 10.17072/psu.geol.19.4.380

### Введение

Литолого-петрографическое изучение пород, подвергшихся стрессу, показывает, что целесообразно различать его прямое и опосредованное действие. Прямое – это действие стресса, которое, как и всякое давление, увеличивает плотность материала, вследствие чего возрастает его способность к химическому взаимодействию. Опосредованное (косвенное) обуславливает трансляции в структурах слоистых силикатов, образование местных неоднородностей в породах, куда выжимаются химически реакционные минерализованные растворы (Франк-Каменецкий и др., 1983).

Эксперименты по изучению поведения структур каолинита, галлуазита, монтмориллонита, сепиолита, палыгорскита и иллита под воздействием разных типов давления привели к заключению, что степень совершенства структур и распределение межпакетного вещества зависят как от характера межслоевых связей, так и от типа давления.

В слоисто-ленточных структурах мостиковые Si-O-Si связи являются самыми слабыми участками, разрушающимися при незначительных воздействиях. Структуры со

слабыми ван-дер-ваальсовыми и водородными связями более всего подвержены смещениям слоев (Гойло, 1997).

Более ориентированной текстура глин становится при деформировании и перестройке структуры (Kulchitsky, 1991).

Сжатие грунта приводит к быстрому сдвигу агрегатов в сторону пор. Так как связи между блоками слабее, чем между агрегатами, то плоскости сдвига появляются изначально между ними. С ростом нагрузки возрастают касательные напряжения. В направлении их действия растет количество микросдвигов и приводит в итоге к образованию зоны разрушения (Бондарик и др., 1975).

Когда энергия притяжения превалирует, агрегация протекает быстро и может нарушиться при передаче системе еще большей энергии.

Исследования показывают, что при стрессовых давлениях происходит механическое дробление частиц, вплоть до размеров кристаллов; структура материнской породы изменяется (Куксенко и др., 2009), протекают твердофазные химические реакции (Лебедев, 2004) до образования новых минералов (Трофимов и др., 2005).

По данным Е.М. Сергеева (1946), при сжа-

тии песков под давлением  $P = 300$  МПа содержание тонкой песчаной фракции изменилось с 13 до 51%, пылевой – с 5 до 23%, глинистой – с 2,15 до 5,42%.

При давлении на грунт пленки воды частично прорываются и образуются переходные контакты. С увеличением давления количество переходных контактов и значение химических связей растут, так формируются фазовые контакты.

Появление коагуляционных контактов начинается при средней толщине гидратной пленки в две-три молекулы воды. Когда свободная энергия системы подходит к минимуму, расклинивающее давление становится отрицательным, а прослойка дисперсионной среды не является стабилизирующим фактором, происходит возникновение коагуляционного контакта при сближении частиц на расстояние  $10^{-7}$  см. Повышение степени несовершенства кристаллической структуры, дисперсности структурообразующих агрегатов и свободной энергии поверхности способствует упрочнению структуры. При незначительной разнице среднего расстояния между частицами минералов в местах контакта образование их структур определяется энергией межмолекулярного взаимодействия. При определенном давлении прессования выдавливаются гидратные пленки и возникают точечные контакты. В дисперсиях монтмориллонита при давлении прессования  $66 \text{ кг/см}^2$  (6 МПа) происходит образование коагуляционных структур предельной концентрации. При давлении  $350 \text{ кг/см}^2$  (34 МПа) начинается образование точечных контактов, структура постепенно переходит из предельно концентрированной коагуляционной в коагуляционно-конденсационную. Для глины группы каолинита увеличение давления более  $350 \text{ кг/см}^2$  (34 МПа) приводит к ориентации структурных агрегатов, а также диспергации, что подтверждается значительным уменьшением расстояния между частицами и некоторым увеличением объемного веса дисперсии.

Таким образом, по мере увеличения размеров частиц и уменьшения общего числа возможных контактов образование коагуляционной структуры предельной концентрации дисперсий глинистых минералов происходит при большем давлении прессования,

точечных контактов – при меньшем. Рост давления сначала влечет к диспергации структурообразующих агрегатов, затем из-за уплотнения элементов структуры – к деформированию контактных поверхностей и к выдавливанию из контактных зазоров гидратных пленок с переходом коагуляционной структуры в коагуляционно-конденсационную. У коагуляционно-конденсационных и предельно концентрированных структур прочность зависит от дисперсности, величины свободной поверхностной энергии, кристаллической структуры минерала, числа контактов в единице объема системы и формы частиц (Ничипоренко и др., 1978).

В 1946 г. Е.М. Сергеев при экспериментальных исследованиях процесса превращения глины в аргиллит провел опыт по изучению влияния больших нагрузок на уплотнение воздушно-сухого покровного суглинка. Образцы диаметром 15 мм и высотой 33 мм подвергались давлению под прессом  $20000 \text{ кг/см}^2$  (1961 МПа) и на копре –  $36660 \text{ кг/см}^2$  (3595 МПа). В результате эксперимента грунт из рыхлого состояния перешел в монолитную массу с четко выраженной сланцеватостью, перпендикулярной к действовавшей силе. Таким образом, дробление гранулометрических частиц было незначительно, уплотнение происходило путем их перемещения. Это доказывалось тем, что величины гигроскопичности и теплоты смачивания образцов после уплотнения остались неизменными.

В 1949 г. были проведены опыты по уплотнению различных глин – моренных, каолиновых и бентонитовых. Выяснилось, что каждая порода приобретает максимальную прочность при определенной нагрузке. Увеличение нагрузки не дает большей прочности породе. В экспериментах применялись давления от 5 до  $500 \text{ кг/см}^2$  (0,5–49 МПа), реже  $1000\text{--}2000 \text{ кг/см}^2$  (98–196 МПа).

Эксперименты В.Д. Ломтадзе (1958) подтвердили выводы Е.М. Сергеева о том, что при уплотнении глин гранулометрический состав сохраняется. Он заметил, что после уплотнения нагрузкой в  $7000 \text{ кг/см}^2$  (686 МПа) гранулометрический состав остается неизменным. Следовательно, частицы при таких давлениях не дробятся. При уплотнении в породе формируется ориенти-

рованная микротекстура, которая появляется уже при  $60 \text{ кг/см}^2$  (6 МПа). Микроструктура образцов изучалась рентгеноструктурным методом. Проведенные эксперименты показали, что заметного изменения дисперсности глин при деформации не происходит. Многочисленные эксперименты по обработке глин высоким давлением однозначно показывают, что их деформация не сопровождается дроблением гранулометрических частиц при ориентированных давлениях по крайней мере до  $30000 \text{ кг/см}^2$  (2942 МПа). Уплотнение происходит лишь за счет изменения микроструктуры породы (Лучицкий и др., 1967).

### Объект исследований

Исследуемая бентонитовая глина отображена на Зырянском месторождении Курганской области. Месторождение относится к осадочному типу, образовавшемуся в озерных континентальных условиях (Геологические материалы к ТЭО постоянных разведочных кондиций для подсчета запасов бентонитовых глин Зырянского месторождения в Курганской области (По результатам доразведки месторождения в 1991–2001 гг.)).

По результатам рентгеноструктурного анализа (Середин и др., 2017) бентонитовая глина состоит из монтмориллонита (81,1%), кварца (14,1%), плагиоклаза (1,9%), кальцита (0,9%), каолинита (0,8%), гидрослюды (0,8%), калиевых полевых шпатов (0,4%).

### Методика исследований

Образцы глин подвергали сжатию, которое производили на специально сконструированном и изготовленном приборе по известной методике (Середин и др., 2017). Предварительно очищали путем отмучивания (седиментационным способом) 2% водных суспензий глин.

Гранулометрический анализ проводился с помощью лазерного дифракционного анализатора FritschAnalysette 22 MicroTecplus (Laserparticlesizer "Analysette 22" (NanoTec/MicroTec/XT): operatinginstructions. Idar-Oberstein, Germany: Fritsch GmbH, 2004.

URL:[http://www.johnmorris.com.au/files/product/attachments/5613/268093\\_manual\\_instr.pdf](http://www.johnmorris.com.au/files/product/attachments/5613/268093_manual_instr.pdf)). Анализ включал 3 стадии: 1) пробоподготовка; 2) выбор параметров и проведение измерений; 3) выбор представления выходных данных.

Пробоподготовка заключается в следующем: проба истирается в ступке при помощи резинового пестика в течение 1 минуты, чтобы избежать излишнего перетиравания пробы и сохранить естественный распад слипшихся частиц. Частички распадаются также благодаря воздействию ультразвука внутри прибора и при движении частиц по измерительному тракту с помощью насоса.

Перед анализом выбираются необходимые настройки измерения: 1) измерение в диапазоне 0,08–2000 мкм (2 лазера), т.к. ожидаемая крупность частиц неизвестна; 2) мощность насоса – 50%, мощность ультразвука – 50% (т.к. частички тонкие, то увеличение этих параметров приведет не к диспергации, а, наоборот, к слипанию частиц); 3) количество повторений (итераций) одной пробы – 7–10 раз (т.к. опытным путем установлено, что в подобных пробах при большем количестве измерений картина распределения частиц не меняется); 4) для подсчета распределения частиц выбирается теоретическая модель Фраунгофера (как наиболее универсальная и не требующая знаний оптических параметров измеряемых образцов).

Достаточное количество навески, используемой для анализа, определяется коэффициентом погасания лазера (на 25–30% оптимальный вариант). После проведения измерений выбирается необходимая шкала распределений по размерам, в данном случае – логарифмическая шкала Гамма–Батурина.

### Результаты исследований и их обсуждение

Экспериментальные данные по влиянию давления на изменение глинистых фракций  $\Phi_{<0,1}$  и  $\Phi_{0,1-0,2}$  приведены на рис. 1. Из приведенных рисунков видно, что при росте давления до  $P=150$  МПа происходит и рост содержания фракций  $\Phi_{<0,1}$  и  $\Phi_{0,1-0,2}$ , а при давлениях  $P=200$ – $800$  МПа содержание этих фракций остается практически неизменным.

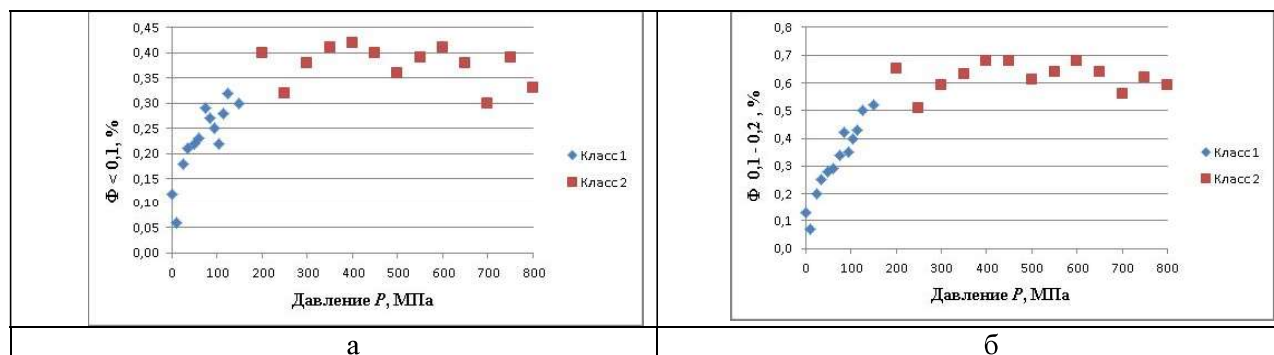


Рис.1. Влияние давления на изменение содержания глинистых фракций  $\Phi_{<0,1}$  (а) и  $\Phi_{0,1-0,2}$  (б)

Таким образом, выделяются два класса, в которых изменения содержания фракций различны от давления, т. е. различны процессы формирования фракций меньше 0,2 мкм. Класс 1 – это давления активации бентонитовой глины  $P = 0-150$  МПа, класс 2 –  $P = 200-800$  МПа, что согласуется с данными В.В. Середина и др. (2018).

Увеличение содержания фракций в классе 1 значит, что при сжатии происходит дробление частиц, в классе 2 эти процессы затухают.

Расчитаны математические модели, позволяющие прогнозировать содержание фракций в зависимости от давления активации глины. Для фракции  $\Phi_{<0,1}$  мкм они имеют следующий вид: класс 1:  $\Phi_{<0,1} = 0,1299 + 0,0014P$ ;  $r = 0,8537$ ; класс 2:  $\Phi_{<0,1} = 0,4042 - 5,6044E-5P$ ;  $r = -0,2890$ .

Наличие незначимой статистической связи ( $r = -0,2890 < r_t = 0,63$ ) между  $\Phi_{<0,1}$  и давлением  $P$  в классе 2 свидетельствует о том, что использовать эту математическую модель в практике достаточно сложно.

Для фракции  $\Phi_{0,1-0,2}$  мкм модели имеют следующий вид: класс 1:  $\Phi_{0,1-0,2} = 0,1183 + 0,0028P$ ;  $r = 0,9668$ ; класс 2:  $\Phi_{0,1-0,2} = 0,6182 + 6,5934E-6P$ ;  $r = 0,0256$ ;

Наличие незначимой статистической связи ( $r = -0,0256 < r_t = 0,63$ ) между  $\Phi_{0,1-0,2}$  и давлением  $P$  в классе 2 свидетельствует о том, что использовать эту математическую модель в практике достаточно сложно.

Закономерности изменения содержания глинистых фракций  $\Phi_{0,2-0,5}$ ;  $\Phi_{0,5-1,0}$ ;  $\Phi_{1-2}$ ;  $\Phi_{2-5}$  мкм от давления приведены на рис 2.

Исходя из полученной закономерности можно предположить, что с ростом давления происходит общая тенденция к снижению содержания исследуемых фракций в бенто-

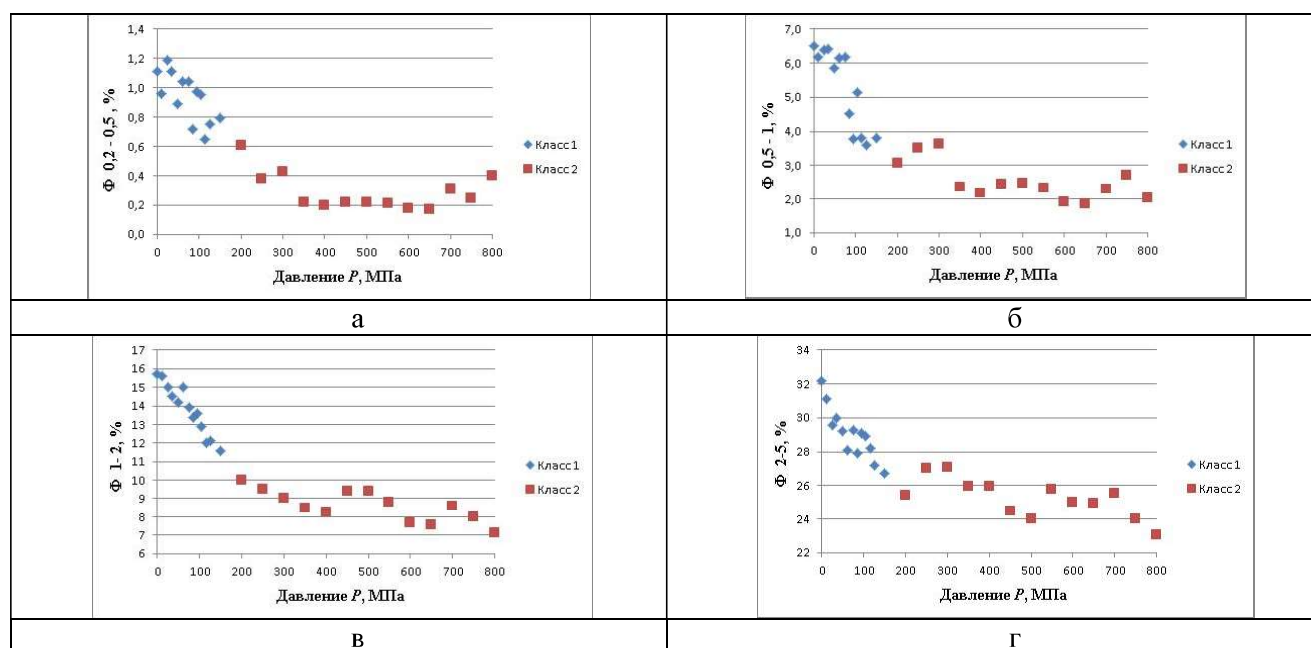
нитовой глине. Отсюда обработка глины давлением провоцирует процесс агрегации частиц, итогом которой является уменьшение содержания глинистых фракций.

Физико-химическая природа взаимодействия частиц между собой обуславливает процесс агрегации. По данным В.Н. Осипова, В.Н. Соколова (2013), образование структурных связей и взаимодействие частиц идут по контактам. Выделяются три типа контактов: коагуляционный, переходный (точечный) и фазовый (Ребиндер, 1966).

Для коагуляционных контактов присуще наличие вокруг частиц гидратной пленки. Это формирует баланс сил (в основном ван-дер-ваальсовых) отталкивания и притяжения, что определяет интенсивность процесса агрегации. Гидратная пленка разрушается с увеличением нагрузки на грунт в отдельных точках, так образуются переходные контакты электростатической и химической природы. С еще большим увеличением давления частицы срастаются между собой за счет химических связей и формируются фазовые контакты (Осипов, Соколов, 1985).

Процессы агрегации глинистой фракции протекают следующим образом: при отсутствии давления ( $P = 0$  МПа) частицы связаны между собой через катионы диффузных слоев воды молекулярными связями (коагуляционные контакты).

С увеличением давления до  $P = 150$  МПа на поверхности частиц частично прорываются диффузные слои и частицы между собой контактируют точно (переходные контакты), с сохранением коагуляционных контактов. При достижении давления вплоть до  $P = 800$  МПа процесс агрегации теряет силу и начинает происходить частичное разрушение химических связей между частицами из-за



**Рис.2.** Влияние давления на изменение содержания глинистых фракций  $\Phi_{0,2-0,5}$  (а),  $\Phi_{0,5-1,0}$  (б),  $\Phi_{1-2}$  (в) и  $\Phi_{2-5}$  (г), мкм

расклинивающего давления пленки связанной воды, т.е. наступает диспергация. Так происходит снижение точечных контактов (электростатических и химических связей) и возрастание более слабых коагуляционных (молекулярных связей) контактов. Затем вновь возобновляются процессы агрегации, которые сменяются процессами диспергации. При этом общее содержание глинистой фракции изменяется незначительно.

Рассчитаны математические модели, позволяющие прогнозировать содержания фракций в зависимости от давления активации глины. Для фракции  $\Phi_{0,2-0,5}$  мкм они имеют следующий вид: класс 1:  $\Phi_{0,2-0,5} = 1,1233 - 0,0026P$ ;  $r = -0,7255$ ; класс 2:  $\Phi_{0,2-0,5} = 0,4346 - 0,0003P$ ;  $r = -0,4295$ . Для фракции  $\Phi_{0,5-1}$  мкм они имеют следующий вид: класс 1:  $\Phi_{0,5-1} = 6,8468 - 0,0223P$ ;  $r = -0,8752$ ; класс 2:  $\Phi_{0,5-1} = 3,4865 - 0,0019P$ ;  $r = -0,6682$ . Для фракции  $\Phi_{1-2}$  мкм они имеют следующий вид: класс 1:  $\Phi_{1-2} = 15,8377 - 0,0285P$ ;  $r = -0,9648$ ; класс 2:  $\Phi_{1-2} = 10,3036 - 0,0034P$ ;  $r = -0,7711$ . Для фракции  $\Phi_{2-5}$  мкм: класс 1:  $\Phi_{2-5} = 31,0899 - 0,0287P$ ;  $r = -0,8824$ ; класс 2:  $\Phi_{2-5} = 27,4065 - 0,0043P$ ;  $r = -0,7129$ .

На рис. 3 приведены данные об изменении содержания глинистых фракций  $\Phi_{5-50}$  и  $\Phi_{50-200}$  от давления. Из рисунка видно, что с ростом давления содержание фракции  $\Phi_{5-50}$  возрастает. Пополнение этой фракции про-

исходит, вероятно, за счет агрегации фракций  $\Phi_{0,2-5}$ , а также диспергации  $\Phi_{50-200}$ .

Механизм формирования фракции  $\Phi_{5-50}$  следующий: с ростом давления до  $P = 150$  МПа возрастает число прорывов адсорбированных пленок воды (диффузные слои) на поверхности частиц. Это приводит к увеличению переходных контактов и уменьшению коагуляционных контактов. Химический тип связи между частицами начинает превалировать над молекулярным. При дальнейшем росте давления  $P = 150 - 800$  МПа число переходных контактов возрастает и начинают появляться фазовые контакты, т. е. роль химических связей между частицами превалирует.

Рассчитаны математические модели, позволяющие прогнозировать содержания фракций в зависимости от давления активации глины. Для фракции  $\Phi_{5-50}$  мкм они имеют следующий вид: класс 1:  $\Phi_{5-50} = 44,3399 + 0,0808P$ ;  $r = 0,9693$ ; класс 2:  $\Phi_{5-50} = 57,2963 + 0,0097P$ ;  $r = 0,8763$ . Для фракции  $\Phi_{50-200}$  мкм: класс 1:  $\Phi_{50-200} = 0,5126 - 0,0028P$ ;  $r = -0,6315$ ; класс 2:  $\Phi_{50-200} = 0,1259 + 0,0001P$ ;  $r = 0,3480$ .

### Изменение удельной поверхности глин

Зависимость изменения площади удельной поверхности приведена на рис. 4. Расчет

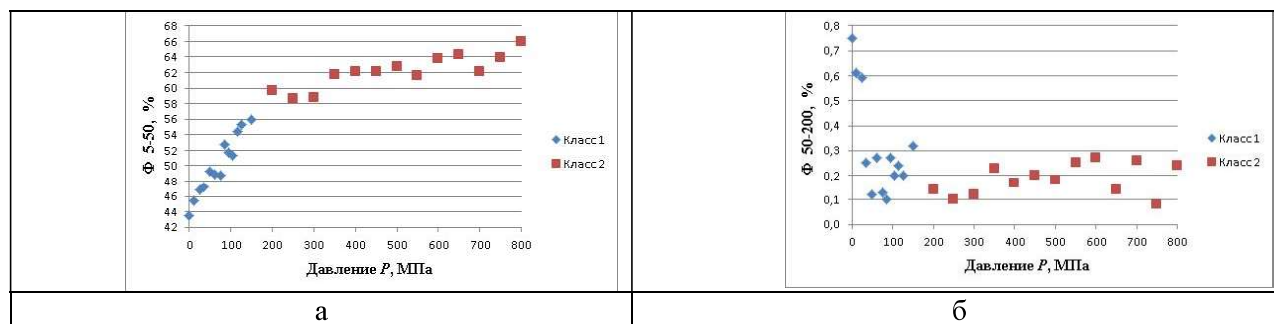


Рис.3. Влияние давления на изменения содержания глинистых фракций  $\Phi_{5-50}$  (а),  $\Phi_{50-200}$  (б)

площади частиц проводился на 1 мм<sup>3</sup> глины. Так, площадь удельной поверхности частиц ( $S_{уд}$ ) снижается с ростом давления  $P$ . Кроме того, в классе 1 (при давлениях  $P$  до 150 МПа) скорость уменьшения  $S_{уд}$  наибольшая. При более высоких давлениях  $P$  изменение показателя не так значительно.

Для количественной оценки взаимосвязей между  $P$  и  $S_{уд}$  были выполнены регрессионный и корреляционный анализы. Уравнения имеют следующий вид: класс 1:  $S_{уд} = 2296,4196 - 1,9575P$ ;  $r = -0,8380$ ; класс 2:  $S_{уд} = 2004,3297 - 0,0753P$ ;  $r = -0,3576$ .

Таким образом, при обработке бентонитовой глины давлением в ней протекают процессы агрегации и диспергации. При этом процессы агрегации преобладают над процессами диспергации, что реализуется в укрупнении частиц и, как следствие, в уменьшении удельной поверхности глины.

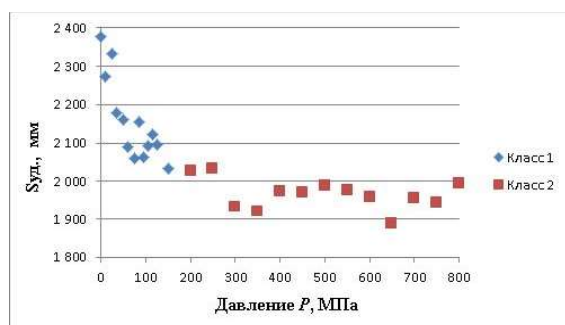


Рис.4. Изменение удельной площади бентонитовой глины от давлений

### Заключение

По результатам эксперимента с ростом давления наблюдается тенденция к снижению содержания глинистой и увеличению пылеватой фракций и, в конечном итоге, уменьшению площади удельной поверхности частиц исследуемой глины. Это обусловлено процессами диспергации и агрегации. В

процессе агрегации энергетический потенциал и высокое давление формируют коагуляционные, переходные и фазовые контакты между частицами. Расклинивающее давление пленки связанной воды и дробление служат главенствующими факторами в процессе диспергации. Более интенсивно процессы формирования фракционного состава глины протекают в диапазоне давлений до 150 МПа. Разработанные математические модели позволяют прогнозировать площадь активной поверхности частиц глины в зависимости от давления.

### Библиографический список

Бондарик Г.К., Царева А.М., Пономарев В.В. Текстура и деформация глинистых пород. М.: Недра, 1975. 168 с.

Гойлю Е.А. Кристаллохимия трансформаций слоистых силикатов: дис...д.г.-м.н. СПб., 1997. 70с.

Куксенко В.С., Махмудов Х.В., Мансуров В.А., Султанов У., Рустамова М.З. Структурные изменения при деформации природных гетерогенных материалов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. Новосибирск, 2009. № 4. С. 55 – 59.

Лебедев И.П. Реконструкция минерального состава раннепротерозойских глиен Воронцовской серии ВКМ // Глины и глинистые минералы: тез. докл. Междунар. науч. конф. / Воронеж. гос. ун-т, Моск. гос. ун-т, Геол. ин-т РАН, Воронеж. рудоуправление. Воронеж, 2004. С. 83–85.

Лучицкий И.В., Громин В.И., Ушаков Г.Д. Эксперименты по деформации горных пород в обстановке высоких давлений и температур. Новосибирск: Наука, Сибирское отд., 1967.

Ничипоренко С.П., Панасевич А.А., Минченко В.В. и др. Структурообразование в дисперсиях слоистых силикатов / под общ.ред. С.П. Ничипоренко. Киев: Наукова думка, 1978. 202с.

Осипов В.И., Соколов В.Н. Структурные связи и процессы структурообразования в грунтах //

Теоретические основы инженерной геологии. Физико-химические основы / под ред. Е.М. Сергеева. М.: Недра. 1985. С. 104–145.

Оситов В.И., Соколов В.Н. Глины и их свойства. Состав, строение и формирование свойств. М.: ГЕОС, 2013. 576 с.

Ребиндер П.А. Физико-химическая механика дисперсных структур: сборник статей / отв. ред. акад. П.А. Ребиндер. М.: Наука, 1966.

Сергеев Е.М. Сжимаемость крупнообломочных и песчаных грунтов // Избранные главы общего грунтоведения. М.: Изд-во Моск ун-та, 1946. 207 с.

Середин В.В., Растегаев А.В., Медведева Н.А., Паришина Т.Ю. Влияние давления на площадь активной поверхности глинистых грунтов // Инженерная геология. 2017. № 3. С. 18–27.

Середин В.В., Растегаев А.В., Галкин В.И., Паришина Т.Ю., Исаева Г.А. Влияние давления и гранулометрического состава на энергетическую активность глин // Инженерная геология. 2017. № 4. С. 62–71.

Середин В.В., Федоров М.В., Лунегов И.В., Медведева Н.А. Закономерности изменения сил адгезии на поверхности частиц каолининовой глины, подверженной сжатию // Инженерная геология. 2018. Т. 13, № 3. С. 8–18.

Середин В.В., Паришина Т.Ю., Исаева Г.А. К вопросу об оценке энергетического потенциала глинистых частиц // Вестник Пермского университета. Геология. 2017. Т. 16, № 4. С. 370–381.

Середин В.В., Медведева Н.А., Анюхина А.В., Андрианов А.В. Закономерности изменения содержания связанной воды в каолининовой глине при ее сжатии высокими давлениями // Вестник Пермского университета. Геология. 2018. Т. 17, № 4. С. 359–369.

Трофимов В.Т., Королев В.А., Вознесенский В.А., Голодковская Г.А., Васильчук Ю.К., Зиангиров П.С. Грунтоведение. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. 1024 с.

Франк-Каменецкий В.А., Котов Н.В., Гойло Э.А. Трансформационные преобразования слоистых силикатов при повышенных р–Т-параметрах. Л.: Недра, 1983. 51с.

Kulchitsky L.I. The method of direct determination of the plasticity of clay rocks // Exploration and protection of mineral resources. 1991, №3. P. 32–34

Laser particle sizer “Analysette 22” (NanoTec/MicroTec/XT): operating instructions. Idar-Oberstein, Germany: Fritsch GmbH, 2004. URL: [http://www.johnmorris.com.au/files/product\\_attachments/5613/268093\\_manual\\_instr.pdf](http://www.johnmorris.com.au/files/product_attachments/5613/268093_manual_instr.pdf).

## Regularities of Changes in the Granulometric Composition of the Bentonite Clay of the Zyryansk Deposit Activated by Pressure

К.А. Алванян<sup>1</sup>, А.В. Андрианов<sup>1</sup>, Ю.Н. Селезнева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Perm State University

15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia

E-mail: karishuta@yandex.ru

<sup>2</sup>Perm National Research Polytechnic University

29 Komsomolskiy Ave., Perm 614990, Russia. E-mail: selezneva9409@mail.com

High pressures in the soil mass form the specific properties of the soil, in particular the effect on the particle size distribution. The purpose of the work is to assess the change in the granulometric composition of bentonite clay under the pressure. Experimental data on the pressure ( $P = 0\text{--}800$  MPa) influence on the change in particle size distribution in clay samples from the deposit are presented. As a result of the experiment, two classes were identified in which the change in the content of fractions is different. These changes are due to the aggregation and dispersion of particles. Mathematical models have been calculated that make it possible to predict the content of fractions depending on the clay activation pressure.

Key words: *bentonite; particle size distribution; fraction; aggregation; dispersion; pressure.*

### References

Bondarik G.K., Tsareva A.M., Ponomarev V.V. 1975. Tekstura i deformatsiya glinistykh porod [Texture and deformation of clay rocks]. Moskva, Nedra, p. 168. (in Russian)

Goylo Ye.A. 1997. Kristallokhimiya transforma-

tsiy sloistykh silikatov [Crystal chemistry of transformations of layered silicates]. Dis. Dr. Geol. Sci., Petersburg, p. 70. (in Russian).

Kuksenko V.S., Makhmudov Kh.V., Mansurov V.A., Sultanov U., Rustamova M.Z. 2009. Strukturnyye izmeneniya pri deformatsii prirodnykh geterogennykh materialov [Structural changes dur-

ing deformation of natural heterogeneous materials]. Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh. 4:55-59. (in Russian)

*Lebedev I.P.* 2004. Rekonstruktsiya mineralnogo sostava ranneproterozoyskikh glin Vorontsovskoy serii VKM [Reconstruction of the mineral composition of the Early Proterozoic clays of the Vorontsovskaya series of the VKM]. In: Gliny i glinistyye mineraly. Voronezhskiy gosudarstvennyy universitet, Moskovskiy gosudarstvennyy universitet, Geologicheskii institut RAN, Voronezhskoye rudoupravleniye. Voronezh, pp 83-85. (in Russian)

*Luchitskiy I.V., Gromin V.I., Ushakov G.D.* 1967. Eksperimenty po deformatsii gornykh porod v ustanovke vysokikh davleniy i temperatur [Experiments on deformation of rocks in an environment of high pressures and temperatures]. Novosibirsk, Nauka. (in Russian)

*Nichiporenko S.P., Panasevich A.A., Minchenko V.V.* 1978. Strukuroobrazovanie v dispersiyakh sloistykh silikatov [Structure formation in dispersions of layered silicates]. Kiev, Naukova dumka, p. 202. (in Russian)

*Osipov V.I., Sokolov V.N.* 1985. Strukturnyye svyazi i protsessy strukuroobrazovaniya v gruntakh [Structural connections and processes of structure formation in soils]. In: Teoreticheskiye osnovy inzhenernoy geologii. Fiziko-khimicheskiye osnovy. Ye.M. Sergeev Ed.. Moskva, Nedra, pp. 104-145. (in Russian)

*Osipov V.I., Sokolov V.N.* 2013. Gliny i ikh svoystva. Sostav, stroeniye i formirovaniye svoystv [Clays and their properties. Composition, structure and formation of properties]. Moskva, GEOS, p. 576. (in Russian)

*Rebinder P.A.* 1966. Fiziko-khimicheskaya mekhanika dispersnykh struktur [Physicochemical mechanics of dispersed structures]. Moskva, Nauka, (in Russian)

*Sergeev Ye.M.* 1946. Szhimayemost krupnooblochnykh i peschanykh gruntov [Compressibility of

coarse-grained and sandy soils]. Izbrannyye glavy obshchego gruntovedeniya. Moskva, Izd. Moskovskogo universiteta, p. 207. (in Russian)

*Seredin V.V., Rastegayev A.V., Medvedeva N.A., Parshina T.Yu.* 2017. Vliyaniye davleniya na ploshchad aktivnoy poverkhnosti glinistykh gruntov [The effect of pressure on the area of the active surface of clay soil particles]. Inzhenernaya geologiya, 3:18-27. (in Russian)

*Seredin V.V., Rastegaev A.V., Galkin V.I., Parshina T.Iu., Isaeva G.A.* 2017. Vliianie davleniya i granulometricheskogo sostava na energeticheskuyu aktivnost' glin [The effect of pressure and particle size distribution on the energy activity of clays]. Inzhenernaya geologiya, 2017, no.4, pp. 62-71 (in Russian).

*Seredin V.V., Fedorov M.V., Lunegov I.V., Medvedeva N.A.* 2018. Zakonomernosti izmeneniya sil adgezii na poverkhnosti chastits kaolinitovoy gliny, podverzhennoy szhatiye [Patterns of changes in the adhesion forces on the surface of particles of kaolinite clay subjected to compression]. Inzhenernaya geologiya, 13(3):8-18. (in Russian)

*Trofimov V.T., Korolev V.A., Voznesenskiy V.A., Golodkovskaya G.A., Vasilchuk Yu.K., Ziangirov R.S.* 2005. Gruntovedeniye [Soil science]. Moskva, Izd. MGU, p. 1024. (in Russian)

*Frank-Kamenetskiy V.A., Kotov N.V., Goylo E.A.* 1983. Transformatsionnyye preobrazovaniya sloistykh silikatov pri povyshennykh p-T-parametrakh [Transformational converting of layered silicates at increased p – T-parameters.]. Leningrad, Nedra, p. 51. (in Russian)

*Kulchitskiy L.I.* 1991. The method of direct determination of the plasticity of clay rocks. Exploration and protection of mineral resources. 3:32-34.

*Laser particle sizer "Analysette 22" (NanoTec/MicroTec/XT): operating instructions.* Idar-Oberstein, Germany: Fritsch GmbH, 2004. URL: [http://www.johnmorris.com.au/files/product\\_attachments/5613/268093\\_manual\\_instr.pdf](http://www.johnmorris.com.au/files/product_attachments/5613/268093_manual_instr.pdf).