

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА РАЗРУШЕНИЯ МЕРЗЛЫХ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД В ВОДНОЙ СРЕДЕ

Рочев В.Ф., Мельников А.Е.

*Технический институт (филиал) Северо-Восточного федерального университета
имени М.К. Аммосова, Нерюнгри, e-mail: viktor-rochev74@mail.ru*

Наличие глинистых примесей оказывает отрицательное влияние на весь процесс обогащения минерального сырья: уменьшается эффективность грохочения и дробления, ухудшаются условия транспортировки и т.д. Для удаления глинистых примесей – основного источника образования шламов – в схему обогащения п.и. необходимо включить операцию предварительного дезинтегрирования. Дезинтегрирование сырья с целью диспергирования глинистых включений является трудоемкой операцией, зависящей от физических и физико-химических свойств глин. В результате разработки золотоносных россыпных месторождений главным образом применяется дражная технология и способы, связанные с применением оборудования, использующего в качестве разрушающего фактора воду. Приведенные технологии рассчитаны на добычу мелкой и средней крупности полезного ископаемого. При этом мелкодисперсные ценные породы смываются вместе с водой, а крупные самородочные материалы перемещаются в отвалы. Для разупрочнения мерзлого глинистого материала, в котором находится большое количество минерального сырья, используются механические способы разработки. Здесь все технологические операции связаны с размывом водой пород и их транспортировкой; доставкой смывных песков по траншее бульдозерами к приемному бункеру гидроэлеватора или землессоса; размывом песков струей гидромонитора на гидровашгерде с выносом галечной породы в отвал; транспортировкой оставшегося материала на обогатительные установки с помощью землессосов или гидроэлеваторов и укладкой хвостов обогатительной установки в выработанное пространство. Низкая способность дезинтеграции горной породы является главным недостатком действия данных аппаратов, что приводит к потере ценного компонента. Исходя из этого, предварительное разупрочнение мерзлых глинистых горных пород приведет к резкому снижению дезинтеграции при подготовке добытого сырья к дальнейшей переработке. В связи с этим является актуальной разработка методов управления разрушением мерзлых дисперсных горных пород, основанных на процессах их дезинтеграции при контакте с водой. Решение этой задачи позволит оптимизировать открытый способ разработки мерзлых осадочных горных пород.

Ключевые слова: минеральное сырье, дезинтеграция, песчано-глинистые породы, обогащение, месторождение, золото, ценный компонент

INVESTIGATION OF THE MECHANISM OF DESTRUCTION OF THE FROZEN CLAY ROCKS IN THE AQUATIC ENVIRONMENT

Rochev V.F., Melnikov A.E.

*Technical Institute (branch) of North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov,
Neryungri, e-mail: viktor-rochev74@mail.ru*

The presence of clay impurities have a negative influence on the entire process of mineral processing: reduced the effectiveness of screening and crushing, worsening conditions of transportation, etc. For removing clay impurities, the main source of sludge formation in flowsheet p. I. must include a pre-operation desantirovaniya. Disintegrating of raw materials for the purpose of dispersion of clay inclusions is a time-consuming operation, depending on the physical and physico-chemical properties of clays. As a result of the development of gold placer deposits mainly used dredge technology and hydro-mechanical method of mining of valuable Sands. In these methods, gold particles with a size of less than 0.1 mm are not extracted, but are removed into dumps together with the waste rock. In addition, the disintegration of clay material mainly uses mechanical methods of influence on the gold – bearing mineral raw materials with the use of the most famous disintegrating devices of hydraulic erosion-cradle and scrubbers of various types, which are not highly efficient and are used for the reason that they provide high throughput. The low ability of rock disintegration is the main disadvantage of these devices, which leads to the loss of a valuable component. On this basis, the preliminary softening of frozen clay rocks will lead to a sharp decrease in the energy intensity of the process of preparing the extracted raw materials for enrichment. In this regard, it is urgent to develop methods for controlling the destruction of frozen dispersed rocks, based on the processes of their disintegration in contact with water. The solution of this problem will optimize the open method of development of frozen sedimentary rocks.

Keywords: mineral raw materials, disintegration, sand and clay rocks, enrichment, Deposit, gold, valuable component

В природе, в горных породах, происходят различные физические процессы. Кроме того в горных породах как в талом, так и в мерзлом состоянии наблюдается химически связанная вода, которая находится в порах и трещинах. При этом ионы воды будут иметь положительный заряд. Двигаясь по порам горной породы, вода

будет увеличивать их, забирая при этом из горной породы отрицательные ионы и в конечном итоге преобразовываться в электрический ток. Исходя из этого, нужно экспериментально исследовать данный эффект, при нахождении горной породы в водной среде, где она подвергается разрушению.

Исследуя процесс разрушения мерзлых глинистых пород в водной среде, авторы работы [1] пришли к выводу, что на поверхности горной породы возникают напряжения из-за перепада температуры на поверхности образца. Но, в этом случае из-за разности температур между водой и мерзлым образцом горная порода должна разрушиться с большой скоростью. По результатам экспериментальных исследований было выявлено, что этого не происходит [2], и как показали исследования других ученых [3, 4], вода в осадочных породах находится в неподвижном состоянии.

Авторами [1] была высказана гипотеза, о существовании неизвестного механизма разрушения поверхности мерзлого глинистого материала, проявляющегося в определенных условиях. Данный механизм был назван «автотерминирующим», так как при разрушении наблюдаются аномалии зависимости температуры пород от коэффициента линейного расширения, влажности, температуры воды. Исходя из вышесказанного, интенсивность разрушения пород будет определяться двумя параметрами: деформацией и глубиной. Однако исследования пород с низким содержанием глинистой составляющей показали, что аномалии коэффициента линейного расширения существенного влияния на процесс дезинтеграции поверхности образца не оказывают.

Кроме того, влияние данных параметров на разрушение глинистых пород при нахождении в воде объясняются разными механизмами.

Цель исследования: исследовать механизм разрушения мерзлых глинистых пород в водной среде.

Материалы и методы исследования

Комплексная реализация цели и вытекающие из нее задачи осуществлялись с использованием анализа литературных данных, обобщением известных результатов исследований, постановки и проведение экспериментальных исследований, обработку экспериментальных данных с привлечением методов математической статистики.

Изучение механизма разрушения мерзлых дисперсных пород при помещении в водную среду основывалось на измерении электрических потенциалов естественного электрического поля в образцах (ЕЭП). Экспериментальные исследования выполнялись по методике, изложенной в работе [1]. Эксперимент по ЕЭП, возни-

кающих в процессе разрушения мерзлых дисперсных пород, состоял из следующих основных этапов [5].

Из глины и песка изготавливались образцы с влажностью 30% и удельным электрическим сопротивлением воды $\rho_{ж} = 60$ Ом·м. Соотношение глины и песка – 35% и 65% соответственно. Изготовленные образцы замораживались при температуре $-17...-20^{\circ}\text{C}$. После замораживания испытываемый материал в течение 48 ч выдерживался в климатической камере с температурой $-3...-5^{\circ}\text{C}$ [5]. Затем образцы помещались в ванну с водой, температура которой поддерживалась $+10^{\circ}\text{C}$, или воздушную среду. Далее в водяной ванне или воздушной среде в образцах и на их поверхности проводилось измерение разности потенциалов ЕЭП по различным схемам.

В первом случае (способ градиента потенциалов) в образец вмораживались два электрода [6]. Электрод *M* располагался в центральной части образца, электрод *N* – в 10 мм от ближайших его граней. Измерения разности потенциалов ΔU между электродами регистрировались непрерывно в течение нескольких минут регистрирующим блоком после погружения в воду или воздушную среду с положительной температурой (рис. 1).

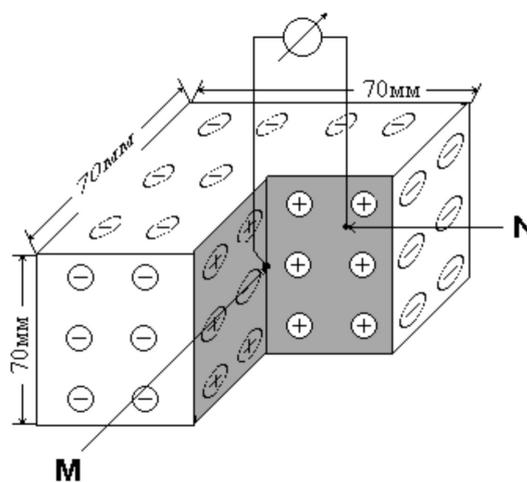


Рис. 1. Схема измерения естественного электрического поля способом градиента

Во втором случае (способ потенциалов) в образец вмораживался один электрод *M*, а электрод *N* на максимальном удалении от образца «заземлялся» в емкости с водой, в которой находился образец с электродом *M* (рис. 2).

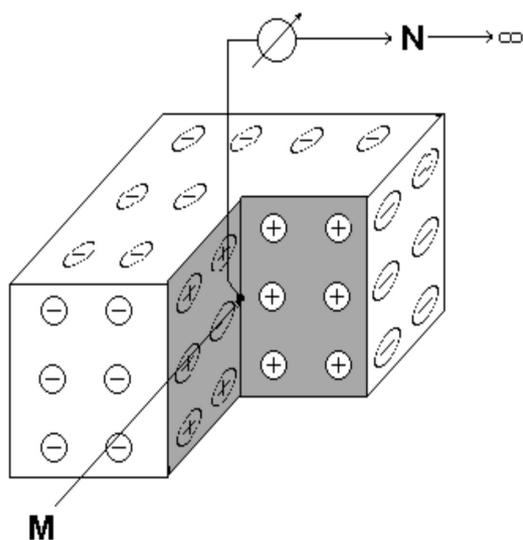


Рис. 2. Схема измерения естественного электрического поля способом потенциала

Результаты исследования и их обсуждение

В результате проведенных экспериментов установлено, что ЕЭП в водонасыщенных образцах песчано-глинистых пород образуются на начальных стадиях при их замораживании. Данный эффект объясняется тем, что в мерзлом образце кроме льда присутствует незамерзшая вода и между ними образуется межфазный потенциал.

С момента перемещения образца из климатической камеры с отрицательной температурой в воздушную среду с положительной температурой до момента полного

протаивания образца происходит изменение разности потенциалов ЕЭП (рис. 3).

При погружении мерзлого песчано-глинистого образца в воду на внешней его поверхности наблюдается отрицательный электрический потенциал, а внутри образца – положительный. По-видимому, образование таких полей связано с фильтрационными потенциалами (ФП), возникающими в результате проникновения воды по капиллярам в образец с большой скоростью.

При прохождении жидкости через горные породы в определенных условиях возникают потенциалы фильтрации. Механизм возникновения ФП в образцах пород представляется следующим образом.

На поверхности раздела капилляра с раствором электролита (в данном случае – незамерзающая вода) образуется двойной электрический слой. Внешняя часть его сформирована диффузионным слоем ионов. Причем для меньшей концентрации раствора толщина его больше [3]. При погружении замороженного образца в воду между концами капилляра создается разность давлений, тем самым при прохождении через капилляр жидкость увлекает часть ионов диффузного слоя, разности потенциалов, складываются в общее электрическое поле.

Таким образом, сам капилляр приобретает положительный заряд, а на его конце с большим давлением возникает отрицательный потенциал. В общем случае поры в образце можно рассматривать как систему капилляров, в каждой из которых происходит процесс аналогичный описанному. При проникновении воды в мерзлый образец возникающие в каждом отдельно взятом капилляре электрокинетические

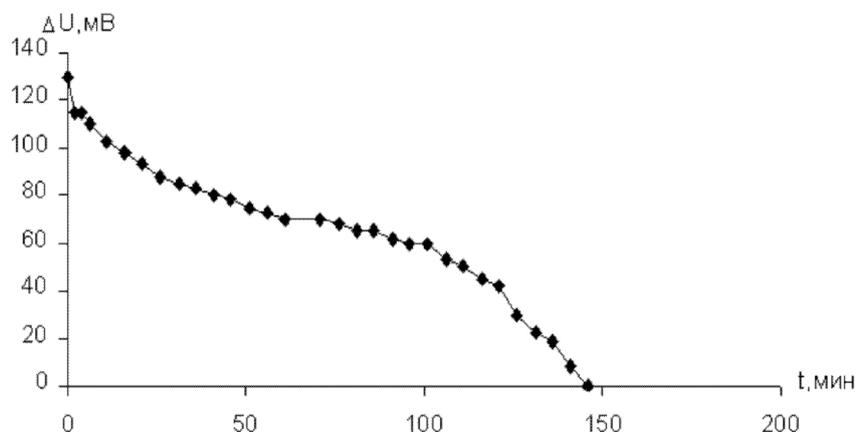


Рис. 3. Изменение разности потенциалов ЕЭП в песчано-глинистом мерзлом образце в воздушной среде

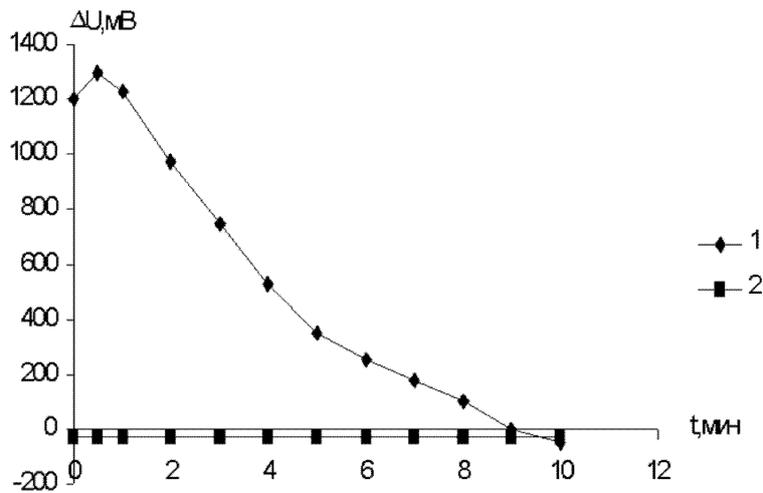


Рис. 4. Зависимость разности потенциалов ΔU_{AB} мерзлых (1) и талых (2) песчано-глинистых образцов в водной среде от времени

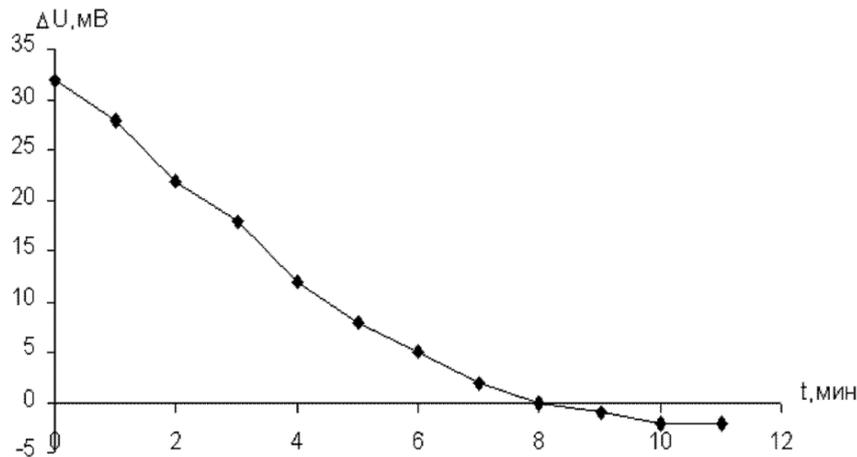


Рис. 5. Изменение разности потенциалов ЭЭП мерзлого песчано-глинистого образца в водном растворе хлористого натрия

Измерение потенциалов собственной поляризации дисперсных мерзлых пород в случае, когда в образец вмораживались два электрода, позволило охарактеризовать некоторые изменения электрических полей, возникающие при погружении образцов в водную среду. Так, по мере оттаивания образца уменьшается положительная разность потенциалов между электродами *M* и *N* (рис. 4, график 2). При достижении границы раздела твердой и жидкой фазы электрода *N* – разность потенциалов равна 0 (рис. 4, график 1).

В тот момент, когда электрод *N* оказывается на внешней поверхности образца, увеличивается отрицательный потенциал,

так как внешняя часть образца обладает значительным отрицательным зарядом. При помещении талого песчано-глинистого образца в водную среду, описанного в работах [7, 8] изменения разности потенциалов не наблюдалось. По-видимому, поры образца заполнены водой и проникновения воды с большой скоростью в образец не происходит, поэтому наблюдаемая разность потенциалов небольшая (рис. 4, график 2), не меняющаяся за время эксперимента.

Для более полного понимания процесса фильтрации при размораживании мерзлого образца в одном из экспериментов был применен водный раствор хлористого натрия с концентрацией 30 г/л (рис. 5).

В этом случае при фильтрационном движении воды происходит химическое разделение содержащихся в ней ионов, тем самым значительно снижается разность потенциалов ЭЭП между электродами.

Выводы

Характеристики разности электрических потенциалов собственной поляризации мерзлых дисперсных грунтов позволяют получить информацию о некоторых механизмах их дезинтеграции в водной и воздушной средах с различными условиями. Метод может быть весьма успешно применен при анализе изменений температуры в горной породе при ее оттаивании. Исследования подтверждают гипотезу об «автотерминации» процесса разрушения мерзлых песчано-глинистых пород.

Список литературы / Referenses

1. Изаксон В.Ю., Самохин А.В., Яковлев В.Л., Вычужин Т.А. Эффект автотерминирующего разрушения в водной среде поверхностного слоя мерзлых глинистых пород: Препринт. Якутск: ЯНЦ СО АН СССР, 1990. 40 с.

Isakson V.Y., Samokhin A.V., Yakovlev V.L., Vychuzhin T.A. Effect autoterminals destruction in the aquatic environment of the surface layer of frozen clay rocks: Preprint. Yakutsk: YANTS so an SSSR, 1990. 40 p. (in Russian).

2. Рочев В.Ф. Разрушение мерзлых песчано-глинистых горных пород в водной среде, под воздействием химических полей // Журнал по итогам XXIII-ой Международная научной конференции «Потенциал современной науки». Липецк: ООО «Максимал ИТ», 2016. С. 13–17.

Rochev V.F. the Destruction of frozen sandy-clayey rocks in a water environment, under the influence of chemical fields //

Journal at the end of «XXIII-th international scientific conference «the Potential of modern science». Lipetsk: ООО «Максимал ИТ», 2016. P. 13–17 (in Russian).

3. Пендин В.В., Подборская В.О., Дубина Т.П. Мерзловедение: учебное пособие. М.: Лань, 2017. 172 с.

Pendin V.V., Podborskaya V.O., Dubina T.P. Permafrost Study. Textbook. M.: LAN, 2017. 172 p. (in Russian).

4. Harris S., Brouckov A., Guodong C. Geocryology: Characteristics and Use of Frozen Ground and Permafrost Landforms. M.: CRC Press, 2018. 810 p.

5. Гриб Н.Н., Сясько А.А., Качаев А.В., Никитин В.М. Экспериментальные исследования механизма разрушения мерзлых песчано-глинистых пород в водной среде методом естественного электрического поля // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2007. № 7. С. 122–125.

Grib N.N., Syasko A.A., Kachaev A.V., Nikitin V.M. Experimental study of the mechanism of destruction of the frozen sandy-clayey rocks in the aquatic environment using the natural electric field // News of the Higher Institutions. Mining Journal. 2007. № 7. P. 122–125 (in Russian).

6. Захаров Е.В., Курилко А.С. Энергетические показатели разрушения горных пород и их зависимость от температурного фактора // Наука и образование. 2009. № 1. С. 19–25.

Zakharov E.V., Kurilko A.S. Energy indicators of rock destruction and their dependence on the temperature factor // Science and education. 2009. № 1. P. 19–25 (in Russian).

7. Рамазанов А.Э., Эмиров С.Н. Барическая и температурная зависимость теплопроводности осадочных горных пород // Известия РАН. Серия физическая. 2012. Т. 76. № 10. С. 1283–1287.

Ramazanov A.E., Emirov S.N. Baric and temperature dependence of thermal conductivity of sedimentary rocks // Izvestiya ran. Series physical. 2012. Vol. 76. № 10. P. 1283–1287 (in Russian).

8. Kotov P.I., Roman L.T., Tsarapov M.N. Express-methods for forecast thawing soils settlement // Book of Abstracts of EUCOP4 – 4th European Conference on Permafrost, 18-21 June 2014. Vol. 1. Evora, Portugal, 2014. 399 p.