

## ИЗУЧЕНИЕ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ В КОМПЛЕКСЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ГОРНОГО МАССИВА

ДАЛАТКАЗИН Т. Ш.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт горного дела УрО РАН

(Россия, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58)

**Введение.** Статья посвящена вопросу совершенствования геодинамической диагностики горного массива, выполняемой для обеспечения безопасности ответственных объектов недропользования при проведении инженерно-геологических исследований. Для обеспечения безопасной эксплуатации объектов недропользования необходимо прогнозировать возможность и условия формирования критических состояний процесса деформирования горного массива, получения его пространственно-временных характеристик. При этом необходимо продуктивно привлекать и соответствующим образом интерпретировать всю, в том числе общегеологическую, информацию об исследуемом горном массиве, изучать его, основываясь на принципах синергетики – научного направления, ныне широко охватившего самые различные отрасли естественнонаучного знания. Одним из факторов, формирующих деформационный процесс горного массива, являются физико-механические свойства горных пород, в частности, их способность к тиксотропному разупрочнению. Поэтому задача изучения минерального состава глинистых отложений коры выветривания и его влияния на способность разупрочнения горного массива весьма актуальна.

**Методология.** Рассмотрены и проанализированы примеры геодинамической диагностики различных объектов недропользования, выполненной с учетом фактора, который необходимо учитывать в прогнозе деформационного процесса, – особенностей минерального состава глинистых пород, определяющего степень тиксотропного разупрочнения при механическом воздействии, в том числе при проявлении современных геодинамических движений.

**Результаты.** Установлено, что степень тиксотропного разупрочнения зависит от внешних и внутренних факторов, характерных для изучаемых объектов. К главным внешним факторам отнесены динамические воздействия на горный массив: современная геодинамическая активность; воздействие взрывных работ; движения транспорта и т. д. К главным внутренним факторам отнесены гранулометрический состав породы, ее минеральный состав и влажность.

**Вывод.** Комплексный, всесторонний подход при выполнении геодинамической диагностики для ответственных объектов недропользования позволяет расширить понимание процессов и явлений, происходящих в горном массиве, и способствует поиску оптимальных проектных решений, направленных на безопасное, рациональное освоение геологической среды.

**Ключевые слова:** горный массив; современная геодинамическая активность; минеральный состав; глины; тиксотропия.

**Введение.** При прогнозировании последствий влияния современной геодинамической активности на ответственные объекты недропользования необходимо исследовать вопрос возможных изменений физико-механических характеристик горных пород при динамических нагрузках, например способности дисперсных пород к тиксотропному разупрочнению.

Тиксотропия – физико-химическое явление, возникающее в дисперсных породах и выражающееся в их разжижении и полной потере прочности под влиянием внешних динамических воздействий и быстром восстановлении прочности при снятии внешних воздействий. Такие обратимые явления характерны для по-

род, обладающих структурными связями, обусловленными непосредственным взаимодействием частиц и агрегатов между собой. Эти связи отличаются малой прочностью, мобильностью и обратимостью.

Степень тиксотропного разупрочнения зависит от внешних и внутренних факторов. К внешним факторам относятся динамические воздействия на горный массив: современная геодинамическая активность; взрывные работы; движение транспорта и т. д. К внутренним факторам относятся гранулометрический состав породы, ее минеральный состав и влажность.

Гранулометрический состав грунтов имеет принципиальное значение для возможности тиксотропных изменений. Тиксотропные явления начинают наблюдаться уже при наличии в грунте глинистых частиц в количестве 1,5–2 %.

Наиболее склонны к проявлению тиксотропии глинистые породы, имеющие в составе монтмориллонит и гидрослюды.

Для минералов монтмориллонитовой группы ( $m\{Mg_3[Si_4O_{10}][OH]_2\} \cdot p\{Al,Fe\}_2[Si_4O_{10}][OH]_2\} \cdot nH_2O$ ) вследствие особенностей строения кристаллической решетки характерным признаком является переменное содержание в них воды, изменяющееся в зависимости от влажности окружающей среды. Вода легко проникает в кристаллическую решетку монтмориллонита, раздвигает ее и обуславливает сильные гидрофильность и набухаемость минерала. Высокие гидрофильность и набухаемость определяют тиксотропность монтмориллонита.

Гидрослюды являются промежуточным продуктом выветривания слюд. Разрушение кристаллической решетки слюд (на примере мусковита)  $KAl_2(OH) \cdot 2AlSi_3O_{10}$  происходит по схеме замещения ионов калия ( $K^+$ ) на связанные молекулы воды ( $H_2O$ ).

Кристаллическая структура гидрослюды незначительно отличается от структуры слюды и является переходной к структуре монтмориллонита. Пакеты слюды переслаиваются с пакетами монтмориллонита.

Молекулы  $H_2O$  располагаются в межпакетных пространствах, т. е. проникают вдоль плоскостей, разграничивающих плоские пакеты кристаллической структуры. Каждый пакет с обеих сторон на внешних плоскостях содержит гидроксильные ионы и, следовательно, пакеты примыкают друг к другу по поверхностям. Поэтому при проникновении воды происходит раздвижение этих пакетов. При этом межплоскостные расстояния кристаллической решетки могут колебаться в значительных пределах – от 9,6 до 28,4А в зависимости от количества молекул  $H_2O$ , участвующих в кристаллической структуре минерала.

Опыт исследований на различных горных предприятиях подтверждает необходимость изучения минерального состава глинистых пород в комплексе геодинамической диагностики [1–6].

### **Прогнозные исследования последствий затопления Березовского рудника.**

Для Березовского месторождения золота, горный массив которого расположен на селитебной территории, присутствие монтмориллонита в глинах коры выветривания явилось одной из основных причин негативного прогноза при определении возможности затопления.

Рыхлые мезокайнозойские отложения в пределах Березовского рудного поля представлены глинистой корой выветривания. Мощность коры выветривания, развитой повсеместно, составляет 2–3 м. По вещественному составу среди глинистых продуктов в зависимости от состава исходного субстрата, по данным А. В. Коровко, выделяются несколько типов: каолинитовый; каолин-гидрослюдистый; каолин-монтмориллонитовый; нонtronитовый.

Мощные коры выветривания (25–50 м) сформировались по гранитоидам даек. Линейные коры выветривания развиты до глубины 120 м вдоль зон тектониче-

ских нарушений и ослабленных зон на контактах пород. Линейные коры особенно хорошо проработаны в верхней части разреза.

Горный массив территории Березовского месторождения, совпадающей с территорией г. Березовский, характеризуется рядом особенностей. В прошлом добыча золота велась здесь по дайкам. В результате верхняя часть горного массива оказалась пронизанной многочисленными пустотами. При этом непосредственно рядом с пустотами и вдоль тектонических нарушений залегают каолин-гидрослюдистые и каолин-монтмориллонитовые глины – породы, склонные к проявлению тиксотропии при увлажнении.

В случае затопления рудника на завершающем этапе разработки месторождения произойдет замачивание верхней части разреза. При проявлении современной геодинамической активности, которая неизбежна на подработанной территории, будет наблюдаться тиксотропное разуплотнение глинистых пород, содержащих монтмориллонит и гидрослюды. Учитывая, что речь идет о городской территории, очевидна катастрофичность последствий [7–9].

### **Исследование причин формирования оползней в Коршуновском карьере.**

Тиксотропное разуплотнение глинистых пород определено как один из факторов, вызывающих процесс оползнеобразования в Коршуновском карьере одноименного железорудного месторождения.

Здесь, на северо-западном участке борта карьера, периодически, начиная с 1975 г., происходят крупные оползни при углах наклона борта  $22^\circ$ . По всем расчетным оценкам, скальные осадочные породы, слагающие этот борт, должны обеспечивать его устойчивость при углах  $28^\circ$ – $30^\circ$  с нормативным запасом устойчивости 1,3. Связь процесса оползнеобразования с временами года отсутствует. Многочисленные исследования, выполненные по всем правилам традиционными методами, так и не раскрыли причины и механизм оползнеобразования.

В 2007 г. Институтом горного дела УрО РАН под руководством А. Д. Сашурина выполнена комплексная, разработанная на принципах синергетики, структурно-геодинамическая диагностика, по результатам которой определены механизм формирования оползневого процесса и пути борьбы с ним.

Оползнеопасный участок расположен на Северном борту Коршуновского карьера, в зоне широтного разлома мощностью около 500 м.

Очевидцы, непосредственно наблюдавшие оползни Северного борта карьера Коршуновского месторождения, отмечали, что эти оползни фактически являлись селями [10]. Для селеобразования определяющее значение имеют тиксотропность и пльвучатость горных пород.

Глины, заполняющие межблоковые пространства скальных пород Северного борта, содержат монтмориллонит и гидрослюды.

Лабораторные испытания, выполненные в комплексе геодинамической диагностики, показали, что уже при влажности 0,2 доли ед. глина, отобранная из оползня, обладает тиксотропными свойствами (величина тиксотропного упрочнения 1,96). Одна из проб при заданной влажности 0,4 разжижалась даже при незначительном встряхивании.

По результатам эманационной съемки в оползневой зоне выявлены две подвижные системы разрывных нарушений. Наблюдения с применением технологий спутниковой геодезии GPS в районе оползневой зоны показали высокий уровень современной геодинамической активности. Анализ гидрогеологической ситуации исследуемого массива показал, что на участке Северного борта сформировались условия для переувлажнения глинистых пород, заполняющих межблоковые пространства.

По результатам геодинамической диагностики определен механизм процесса оползнеобразования, наблюдаемого в пределах Северного борта карьера.

Под влиянием современных короткопериодных геодинамических движений переувлажненные, характеризующиеся тиксотропным разупрочнением глинистые породы, заполняющие межблоковые пространства, находятся в неустойчивом, потенциально текучем состоянии. Длиннопериодные циклические нагрузки в определенный момент, когда параметры системы приобретают «благоприятные» значения, в так называемой точке бифуркации, переводят подготовленный массив в селеобразные оплывины [11, 12].

**Механизм формирования прорывов песчано-глинистых отложений на Соколовском подземном руднике.** Постоянной проблемой при разработке Соколовского подземного рудника являются прорывы мезокайнозойских песчано-глинистых отложений в очистное пространство из воронок обрушения, угрожающие безопасности ведения горных работ и вызывающие значительные экономические потери.

Формирование прорывов из мезокайнозойских отложений связано с особенностями строения и литологического состава массива Соколовского рудника [13].

Присутствие на дне заполненной водой воронки глин, преимущественно чеганских, геодинамических подвижек, связанных с непрерывным процессом формирования зоны обрушения, и периодического интенсивного вибровоздействия от промышленных взрывов определяет механизм формирования прорывов обводненных песчано-глинистых отложений в очистное пространство. Определяющее влияние на процесс формирования прорывов имеет минеральный состав чеганских глин, получивших региональное распространение и на 40 % состоящих из монтмориллонита [14].

Вследствие тиксотропного разуплотнения увлажненные на дне воронок чеганские глины, находясь в разжиженном состоянии из-за механического воздействия от взрывных работ и техногенных геодинамических движений, преодолевают фильтрационное сопротивление толщи дезинтегрированных скальных палеозойских пород зоны обрушения и проникают в очистное пространство. Здесь в состоянии покоя глины восстанавливают структурные связи и приобретают тугопластичное состояние, останавливая добычу руды.

**Вывод.** Приведенные примеры демонстрируют актуальность комплексного, всестороннего подхода при выполнении геодинамической диагностики, выполняемой с целью обеспечения безопасности ответственных объектов недропользования. Данный подход позволяет расширить понимание процессов и явлений в горном массиве, сопровождающих современную геодинамическую активность, и способствует поиску оптимальных проектных решений, направленных на безопасное, рациональное освоение геологической среды.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бетехтин А. Г. Курс минералогии. М.: ГНТИ литературы по геологии и охране недр, 1956. 558 с.
2. Ломтадзе В. Д. Инженерная геология. Инженерная петрология. М.: Недра, 1970. 528 с.
3. Bil Lig K. Thixotropic clay suspensions and their use in Civil Engineering. Civil Engineering and Public Works Review. Vol. 56. No. 665. Vol. 57. No. 666–668.
4. Felhmann H. Die Verwendung thixotroper Fleissigkeiten bei Senkkastengrundungen // Schweizerische Bauzeitung. 1958. No. 40.
5. Hook N. G. W. The failure of rock // Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 1965. No. 2. P. 389–403.
6. Yang T., Gong S. Microscopic analysis of the engineering geological behavior of soft clay in Shanghai, China // Bull. Eng. Geol. Environ. 2010. Vol. 69. No. 4. P. 607–615.
7. Усанов С. В. Подработанные подземными работами территории в г. Березовский и оценка возможности их использования // ГИАБ. 2010. № 10. С. 349–352.
8. Далатказин Т. Ш. Литологические особенности горного массива г. Березовский в прогнозе активизации процесса сдвижения горных пород в случае затопления подземного рудника // Проблемы недропользования. 2016. № 3(10). С. 5–8.
9. Далатказин Т. Ш., Коновалова Ю. П. Прогноз последствий затопления Березовского рудника // Проблемы недропользования. 2017. № 3(14). С. 60–66.

10. Сашурин А. Д., Яковлев А. В., Ермаков Н. И., Панжин А. А., Наумов А. В. Роль тектонических деформаций породного массива в формировании оползневых явлений на Коршуновском карьере // ГИАБ. 2003. № 2. С. 193–196.

11. Далатказин Т. Ш. Исследования формирования оползней в Коршуновском карьере // Проблемы недропользования. 2017. № 2(13). С. 34–40.

12. Сашурин А. Д., Мельник В. В., Панжин А. А. Решение задачи устойчивости бортов в целях защиты потенциально опасных участков транспортных берм карьеров // Инженерная защита. 2015. № 2(7). С. 80–86.

13. Исаченко О. С., Верин С. В., Раков А. И. Соколовский подземный рудник // Горный журнал. 2004. № 7. С. 37–42.

14. Максимович Н. Г., Меньшикова Е. А., Казакевич С. В., Шлыков В. Г. Минералогия чеганских глин и ее инженерно-геологическое значение // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П. Н. Червинского: сб. науч. ст. Пермь, 2000. С. 40–43.

Поступила в редакцию 28 июня 2018 года

**Для цитирования:** Далатказин Т. Ш. Изучение вещественного состава коры выветривания в комплексе геодинамической диагностики горного массива // Известия вузов. Горный журнал. 2018. № 8. С. 50–55.

#### Сведения об авторах:

**Далатказин Тимур Шавкатович** – кандидат технических наук, заведующий лабораторией технологий снижения риска катастроф при недропользовании Института горного дела УрО РАН. E-mail: 9043846175@mail.ru

### STUDY OF THE MATERIAL COMPOSITION OF THE WEATHERING CRUST IN THE COMPLEX OF GEODYNAMIC DIAGNOSTICS OF THE MASSIF

**Dalatkazin T. Sh.**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Mining UB RAS, Ekaterinburg, Russia.

**Introduction.** The article is devoted to the question of improving the geodynamic diagnostics of the rock massif, which is carried out to ensure the safety of critical subsoil use objects when carrying out engineering and geological research. To ensure the safe operation of subsoil use objects, it is necessary to predict the possibility and conditions for the formation of the rock massif deformation process critical states, obtaining its spatial-temporal characteristics. At the same time, it is productive to attract and appropriately interpret all, including general geological, information about the investigated rock massif, to study it based on the principles of synergetics - the scientific direction that has now widely embraced the most diverse branches of natural science knowledge. One of the factors forming the deformation process of the rock massif are the physical and mechanical properties of rocks and, in particular, their ability of thixotropic softening. Therefore, the necessity of studying mineral composition of the clay deposits of the weathering crust and its influence on the rock massif's ability of softening is rather relevant.

**Methodology.** The article examines and analyzes examples of geodynamic diagnostics of various subsoil use objects, taking into account one of the factors that must be taken into account in the forecast of the deformation process - the features of the mineral composition of clay rocks that determine the degree of thixotropic decomposition under mechanical influence, including the development of modern geodynamic movements.

**Results.** The degree of thixotropic softening depends on external and internal factors typical of the objects under consideration. The main external factors include dynamic impacts on the rock massif: modern geodynamic activity, the impact of blasting, traffic, etc. The main internal factors include the granulometric composition of the rock, its mineral composition and moisture content.

**Conclusion.** A complex and comprehensive approach to the implementation of geodynamic diagnostics for critical subsoil use objects allows us to broaden the understanding of processes and phenomena occurring in the rock massif and contribute to the search for optimal design solutions aimed at the safe and rational development of the geological environment.

**Key words:** rock massif; modern geodynamic activity, mineral composition; clays; thixotropy.

Research has been carried out under the government contract 007-00293-18-00, theme no. 0405-2015-0012.

DOI: 10.21440/0536-1028-2018-8-50-55

#### REFERENCES

1. Betekhtin A. G. [Mineralogy course]. Moscow, GNTI literature po geologii i okhrane nedr Publ., 1956. 558 p.
2. Lomtadze V. D. [Engineering geology. Engineering petrology]. Moscow, Nedra Publ., 1970. 528 p.

3. Bil Lig K. Thixotropic clay suspensions and their use in Civil Engineering. *Civil Engineering and Public Works Review*, vol. 56, no. 665, vol. 57, no. 666–668.
4. Felhmann H. Die Verwendung thixotroper Fleissigkeiten bei Senkkastengrundungen. *Schweizerische Bauzeitung*, 1958, no. 40.
5. Hook N. G. W. The failure of rock. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 1965, no. 2, pp. 389–403.
6. Yang T., Gong S. Microscopic analysis of the engineering geological behavior of soft clay in Shanghai, China. *Bull. Eng. Geol. Environ.*, 2010, vol. 69, no. 4, pp. 607–615.
7. Usanov S.V. [Exhausted by mining works underground territory in berezovsky city and assessment of possibilities of their use]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tehnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2010, no. 10, pp. 349–352. (In Russ.)
8. Dalatkazin T. Sh. [Lithological peculiarities of Berezhovskiy town rock mass in the forecast of activating rock displacement process in case of mine submersion]. *Problemy nedropol'zovaniia – The Problems of Subsoil Use*, 2016, no. 3(10), pp. 5–8. (In Russ.)
9. Dalatkazin T. Sh., Konovalova Iu. P. [Consequences forecast of the Berezhovskiy mine flooding]. *Problemy nedropol'zovaniia – The Problems of Subsoil Use*, 2017, no. 3(14), pp. 60–66. (In Russ.)
10. Sashurin A. D., Iakovlev A. V., Ermakov N. I., Panzhin A. A., Naumov A. V. [The role of rock massif tectonic deformations in the formation of landslide at Korshunov open pit]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tehnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2003, no. 2, pp. 193–196. (In Russ.)
11. Dalatkazin T. Sh. [Researches of landslide formation at Korshunov open pit]. *Problemy nedropol'zovaniia – The Problems of Subsoil Use*, 2017, no. 2(13), pp. 34–40. (In Russ.)
12. Sashurin A. D., Mel'nik V. V., Panzhin A. A. [Solving the problem of benches stability with the purpose of securing potentially hazardous sections of open pit transport berms]. *Inzhenernaia zashchita – Territory Engineering*, 2015, no. 2(7), pp. 80–86. (In Russ.)
13. Isachenko O. S., Verin S. V., Rakov A. I. [Sokolovsky underground mine]. *Gornyi zhurnal – Mining Journal*, 2004, no. 7, pp. 37–42. (In Russ.)
14. Maksimovich N. G., Men'shikova E. A., Kazakevich S. V., Shlykov V. G. [The mineralogy of chegansky clays and its engineering-geological significance]. [Proc. Scientific Readings in Memory of P. N. Chervinsky "The Problems of Mineralogy, Petrography, and Metallogeny."]. Perm, 2000, pp. 40–43. (In Russ.)

#### Information about authors:

**Dalatkazin Timur Shavkatovich** – Candidate of Engineering Science, Head of the Laboratory of Disaster Risk Reduction Technologies in Subsoil Use, Institute of Mining UB RAS. E-mail: 9043846175@mail.ru

---