

УДК 553.611: 624.131.1

DOI: 10.25635/2313-1586.2018.03.039

**Далатказин Тимур Шавкатович**

кандидат технических наук,  
заведующий лабораторией  
технологий снижения риска катастроф  
при недропользовании,  
Институт горного дела УрО РАН,  
620075, г. Екатеринбург,  
ул. Мамина-Сибиряка д. 58  
e-mail: [9043846175@mail.ru](mailto:9043846175@mail.ru)

**Dalatkazin Timur Sh.**

Candidate of Technical Sciences,  
Head of Laboratory for technologies  
of accidents risk reduction  
by subsoil management,  
Institute of Mining UB RAS,  
620075, Ekaterinburg,  
Mamina-Sibiryaka street, 58  
e-mail: [9043846175@mail.ru](mailto:9043846175@mail.ru)

**ИССЛЕДОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО  
СОСТАВА ГЛИНИСТЫХ ОТЛОЖЕНИЙ  
КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ  
ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ  
ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ  
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ  
ОБЪЕКТОВ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ\***

**RESEARCH OF THE MINERAL  
COMPOSITION OF CLAYEY DEPOSITS  
OF THE WEATHERING CRUST DURING  
GEODYNAMIC DIAGNOSTICS  
FOR ENSURING THE SAFETY  
OF SUBSOIL USE OBJECTS**

*Аннотация:*

*Рассмотрены результаты комплексных геодинамических исследований горных массивов ответственных объектов недропользования, продемонстрирована актуальность изучения минерального состава глинистых отложений коры выветривания. Минеральный состав глинистых пород определяет степень тиксотропного разуплотнения при механическом воздействии, в том числе при проявлении современных геодинамических движений. Полноценная информация о свойствах горных пород изучаемого массива при выполнении геодинамической диагностики позволит найти решения для обеспечения безопасности объектов недропользования, снизит экономические потери.*

*Abstract:*

*The results of complex geodynamic studies of mountain ranges of critical subsoil management objects are considered, and the relevance of studying the mineral composition of clayey deposits of the weathering crust is demonstrated. The mineral composition of argillaceous rocks determines the degree of thixotropic decompaction under mechanical action, including the appearance of new geodynamic movements. Full information about the properties of the rocks of the massif under investigation during geodynamic diagnostics will allow finding solutions for ensuring the safety of subsoil managing objects, and will reduce economic losses.*

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

*Key words: massif, contemporary geodynamic activity, mineral composition clays, thixotropy*

*Введение*

При геодинамических исследованиях горного массива с целью обеспечения безопасности объектов недропользования актуален вопрос об изменении физико-механических характеристик горных пород при динамическом воздействии на них. Например, о способности пород к тиксотропному разуплотнению.

Под тиксотропией понимается физико-химическое явление, возникающее в дисперсных породах и выражающееся в их разжижении и практически полной потере прочности под влиянием внешних динамических воздействий и быстром восстановлении прочности при снятии внешних воздействий. Такие обратимые явления характерны для пород, 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 параметры динамического воздействия на горный массив. К внутренним факторам относятся дисперсность породы, ее минеральный состав

\* Исследования выполнены в рамках Госзадания 007-00293-18-00. Тема № 0405-2015-0012

и влажность. Тиксотропия проявляется под воздействием современной геодинамической активности, взрывных работ, движения транспорта и т.д.

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 его гидрофильность и высокие значения набухаемости, что определяет его тиксотропность. Гидрослюды являются промежуточным продуктом выветривания слюд. Разрушение кристаллической решетки слюд (на примере мусковита) -  $KAl_2(OH)2AlSi_3O_{10}$  - 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 28,4 Å в зависимости от количества молекул  $H_2O$ , участвующих в кристаллической структуре минерала [1, 2].

Результаты исследований на различных горных предприятиях подтверждают необходимость изучения минерального состава глинистых пород в комплексе геодинамической диагностики.

#### *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 мезо-кайнозойские отложения в пределах Березовского рудного поля представлены глинистой корой выветривания. Мощность коры выветривания, развитой повсеместно, составляет 2 – 3 метра. По вещественному составу среди глинистых продуктов в зависимости от состава исходного субстрата выделяется, по данным А.В. Коровко, несколько типов: каолинитовый, каолин-гидрослюдистый, каолин-монтмориллонитовый, нонтронитовый. Мощные (25 – 50 м) коры выветривания сформировались по гранитоидам даек. Линейные коры выветривания развиты до глубины 120 м вдоль зон тектонических 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 результате добычи золота по дайкам его верхняя часть буквально пронизана многочисленными пустотами (рис. 1).

При этом непосредственно рядом с этими пустотами, в местах добычи золота и вдоль тектонических нарушений, залегают каолин-гидрослюдистые и каолин-монтмориллонитовые глины – породы, склонные к проявлению тиксотропии при увлажнении. В случае затопления рудника, после замачивания верхней части разреза и при проявлении техногенной современной геодинамической активности, которая неизбежна на проработанной территории, произойдет тиксотропное разуплотнение глинистых пород, содержащих монтмориллонит и гидрослюды. На городской территории это приведет к катастрофическим последствиям [3, 4, 5].



Рис. 1 – Фрагмент плана застройки Березовского золоторудного месторождения



Дайки

### *Исследования причин формирования оползней в Коршуновском карьере*

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

Здесь, на северо-западном участке борта карьера, периодически, начиная с 1975 года, 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  $28 - 30^{\circ}$  с нормативным запасом устойчивости 1,3. Взаимосвязь 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 был определен 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 они по сути являлись селями [6]. Для селеобразования определяющее значение имеют тиксотропность и пльвунчатость горных пород. Глины отмечаются по всему разрезу Северного борта и представлены монтмориллонитом и гидрослюдами. Они заполняют межблочное пространство скальных пород.

Лабораторные испытания, выполненные в комплексе геодинамической диагностики, показали, что уже при влажности 0,200 д.е. глина, отобранная из оползня (переотложенный алеврит), обладает тиксотропными свойствами (величина тиксотропного упрочнения 1,96). Одна из проб при заданной влажности 0,4 д.е. разжижалась даже при

незначительном встряхивании. По результатам эманационной съемки в оползневой зоне были выявлены две подвижные системы разрывных нарушений (рис. 2).

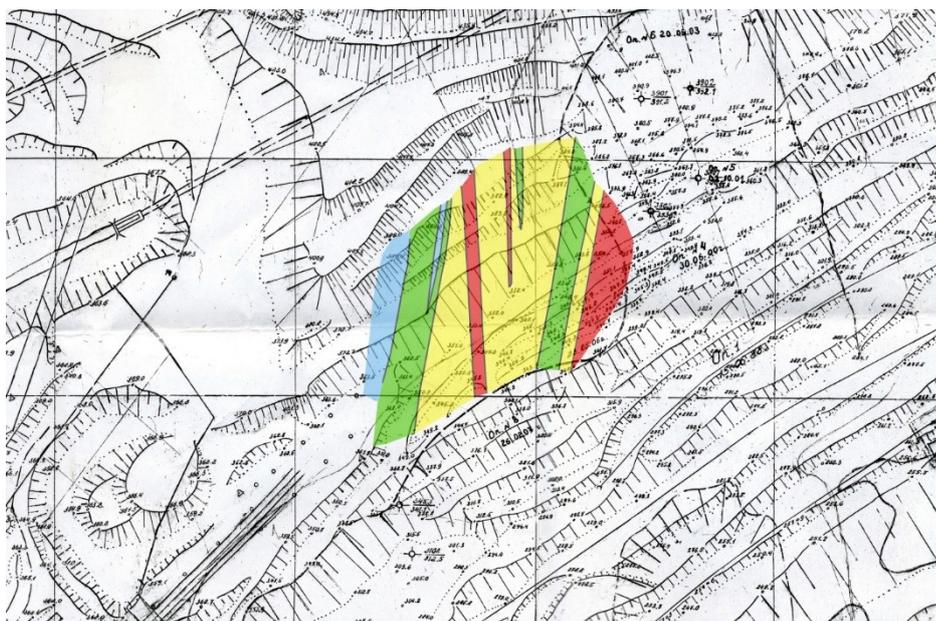


Рис. 2 – Результаты радонометрических исследований на Северном борту Коршуновского карьера

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, склонных к проявлению тиксотропии пород межблоковых шовных зон.

По результатам диагностики был 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. Далее длиннопериодные циклические нагрузки в определенный момент, когда параметры системы приобретают «благоприятные» значения, в так называемой точке бифуркации переводят подготовленный массив в селеобразные оплывины [7, 8].

*Механизм формирования прорывов песчано-глинистых отложений на Соколовском подземном руднике*

Проблемой при разработке Соколовского подземного рудника являются прорывы мезо-кайнозойских песчано-глинистых отложений в очистное пространство из воронок обрушения, угрожающие безопасности ведения горных работ и вызывающие значительные экономические потери. Формирование прорывов из мезо-кайнозойских отложений связано с особенностями строения и литологического состава массива Соколовского рудника [9].

Присутствие на дне заполненной водой воронки глин, геодинамических подвижек, связанных с непрерывным процессом формирования зоны обрушения и периодического интенсивного вибровоздействия от промышленных взрывов, определяет механизм формирования прорывов песчано-глинистых отложений в очистное пространство. Значительное влияние на процесс формирования прорывов имеет минеральный состав чеганских глин, которые на 40 % состоят из монтмориллонита [10]. Вследствие тиксотроп-

ного 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 туго-пластичное состояние, останавливая добычу руды.

### Вывод

Приведенные в статье примеры демонстрируют актуальность комплексного, многофакторного характера исследований при выполнении геодинамической диагностики по обеспечению безопасности ответственных объектов недропользования. В том числе необходимо учитывать литологические особенности пород, определяющих их физико-механические свойства. Данный подход позволяет расширить понимание процессов и явлений, происходящих в горном массиве при проявлении современной геодинамической активности, и находить пути решения проблем при освоении геологической среды.

Геодинамическая активность, сопровождающая горные работы, вызывает разупрочнение тиксотропных грунтов, зачастую приводящее к проявлению оползневых процессов и обрушений. Своевременное выявление тиксотропности грунтов позволит учитывать данное явление при проектировании объектов недропользования, что значительно повысит безопасность их эксплуатации, предотвратит экономические потери.

### Литература

1. Бетехтин А.Г. Курс минералогии / А.Г. Бетехтин // ГНТИ литературы по геологии и охране недр. – М., 1956. – 558 с.
2. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная петрология / В.Д. Ломтадзе. – М.: Недра, 1970. – 528 с.
3. Усанов С.В. Подработанные подземными работами территории в г. Березовский и оценка возможности их использования / С.В. Усанов // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2010. - № 10. - С. 349 - 352.
4. Далатказин Т.Ш. Литологические особенности горного массива г. Березовский в прогнозе активизации процесса сдвижения горных пород в случае затопления подземного рудника / Т.Ш. Далатказин // Проблемы недропользования. - 2016. - № 3(10). - С. 5 - 8. DOI: 10.18454/2313-1586.2016.03.005
5. Далатказин Т.Ш. Прогноз последствий затопления Березовского рудника / Т.Ш. Далатказин, Ю.П. Коновалова // Проблемы недропользования. - 2017. - № 3(14). - С. 60 – 66. DOI: 10.18454/2313-1586.2017.03.060
6. Роль тектонических деформаций породного массива в формировании оползневых явлений на Коршуновском карьере / А.Д. Сашурин, А.В. Яковлев, Н.И. Ермаков, А.А. Панжин, А.В. Наумов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2003. – № 2. – С. 193 – 196.
7. Далатказин Т.Ш. Исследования формирования оползней в Коршуновском карьере / Т.Ш. Далатказин // Проблемы недропользования. - 2017. - № 2 (13). С. 34. - 40. DOI: 10.18454/2313-1586.2017.01.112
8. Сашурин А.Д. Решение задачи устойчивости бортов в целях защиты потенциально опасных участков транспортных берм карьеров / А.Д. Сашурин, В.В. Мельник, А.А. Панжин // Инженерная защита. - 2015. - №2(7). - С. 80 – 86.
9. Исаченко О.С. Соколовский подземный рудник / О.С. Исаченко, С.В. Верин, А.И. Раков // Горный журнал. – 2004. - № 7. – С. 37 – 42.
10. Минералогия чеганских глин и ее инженерно-геологическое значение / Н.Г.Максимович, Е.А. Меньшикова, С.В.Казакевич, В.Г. Шлыков // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Червинского: Сб. науч. ст. – Пермь. 2000. - С. 40 – 43.