

УДК 622.847:624.131.1

**Далатказин Тимур Шавкатович**

кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник  
лаборатории сдвижения горных пород  
Институт горного дела УрО РАН,  
620075 г. Екатеринбург,  
ул. Мамина-Сибиряка, 58  
e-mail: [9043846175@mail.ru](mailto:9043846175@mail.ru)

DOI: 10.18454/2313-1586.2017.03.060

**Dalatkazin Timur Sh.**

candidate of technical sciences,  
senior researcher,  
The Institute of Mining UB RAS,  
620075 Yekaterinburg,  
58, Mamin-Sibiryak st.  
e-mail: [9043846175@mail.ru](mailto:9043846175@mail.ru)

**Коновалова Юлия Павловна**

научный сотрудник лаборатории  
сдвижения горных пород  
Институт горного дела УрО РАН  
e-mail: [lisjul@mail.ru](mailto:lisjul@mail.ru)

**Konovalova Yuliya P.**

researcher,  
The Institute of Mining UB RAS  
e-mail: [lisjul@mail.ru](mailto:lisjul@mail.ru)

**ПРОГНОЗ ПОСЛЕДСТВИЙ ЗАТОПЛЕНИЯ  
БЕРЕЗОВСКОГО РУДНИКА****CONSEQUENCES FORECAST  
OF THE BEREZOVSKY MINE FLOODING***Аннотация:*

*Представлены результаты прогнозных инженерно-геологических исследований горного массива на территории г. Березовский в случае затопления подземного рудника, расположенного в городской черте. Выбор и анализ факторов, определяющих алгоритм процесса самоорганизации горного массива после затопления рудника, выполнялся на основе принципов синергетики. В прогнозе в качестве точки бифуркации определен момент остановки рудничного водоотлива.*

*Ключевые слова: синергетика, самоорганизация, современная геодинамика, горный массив, тиксотропия*

*Abstract:*

*The results of expected engineering and geological researches of rock mass in the Berezovsky city territory in case of flooding the underground mine located within the city are presented. The choice and the analysis of the factors defining the algorithm of rock mass self-organization after underground mine flooding was carried out in terms of synergetic principles. In the forecast the termination of a mine water outflow top is defined as a point of bifurcation.*

*Key words: synergetics, self-organization, up-to-date geo-dynamics, rock mass, thixotropy*

При отработке полезного ископаемого или в случае, когда его добыча становится нерентабельной, осуществляется ликвидация (консервация) горных выработок. Наиболее распространенным, вследствие простоты и дешевизны, способом ликвидации (консервации) является затопление с прекращением водоотлива. Однако данное мероприятие инициирует развитие гидрогеологических и инженерно-геологических процессов [1].

Опыт затопления шахт на Урале, в Кузбассе и на Донбассе показывает, что этот процесс может иметь негативные гидрогеологические, инженерно-геологические и экологические последствия: излив шахтных вод на поверхность, подтопление земель, активизация процессов сдвижения на подработанных участках, снижение прочностных свойств горных пород вследствие увлажнения, набухание и морозное пучение глинистых грунтов и т. д. На селитебных территориях происходит затопление подвалов зданий и подземных коммуникаций. Прогноз последствий затопления по причине многофакторности и отсутствия полноценной, достоверной информации имеет приближенный характер. На Урале горнодобывающие предприятия, как правило, являются градообразующими и исторически совмещены с селитебной инфраструктурой. Данный факт определяет необходимость поиска новых подходов и методов с целью повышения достоверности прогноза гидрогеологических, инженерно-геологических и экологических последствий затопления горных выработок.

Горный массив, в том числе подвергнутый техногенному воздействию, может быть объектом изучения на принципах *синергетики* – научного направления, ныне широко охватившего самые различные отрасли естественнонаучного знания.

Синергетику определяют как новое направление в науке о *самоорганизации*, т.е. самопроизвольном возникновении пространственной и временной упорядоченности в *открытых нелинейных системах*. Открытыми называются системы, обменивающиеся энергией и веществом с окружающей средой, т.е. существующие и развивающиеся в потоке энергии. Нелинейное поведение системы математически описывается нелинейными уравнениями. Сам факт широкого распространения пространственно-временной периодичности и фрактальной организации горного массива – свидетельство того, что он представляет собой в совокупности именно такую систему.

В *нелинейных системах* отсутствует принцип линейной суперпозиции, когда суммарный, результирующий эффект от нескольких независимых воздействий равен сумме эффектов, вызываемых каждым воздействием в отдельности. Также принципиальным образом меняются представления о характере причинно-следственных связей. В устойчивых системах меры причин и следствий всегда одного порядка. В неустойчивых, существенно нелинейных (открытых) системах малые по уровню причины могут привести к большим последствиям. В этих системах причиной явлений следует считать саму *неустойчивость* [2]. Так, например, явление суперинтенсивных деформаций в зонах платформенных, асейсмичных разломов, открытое Ю.О. Кузьминым [2], относится к новому классу тектонических движений – параметрически индуцированным тектоническим движениям. Тот факт, что суперинтенсивные деформационные аномалии являются результатом параметрического индуцирования, позволяет считать их существенно нелинейными процессами.

На уровне фундаментальных идей основы нелинейной динамики были заложены в работах И. Пригожина с коллегами, Г.Г. Малинецкого, Г. Хакена и др. [3, 4, 5]. В настоящее время нелинейная динамика (синергетика) в значительной мере расширила свои рамки. Несмотря на то что она изначально была междисциплинарной, так как в динамических системах совершенно различной природы обнаруживала схожие черты в их поведении, сейчас нелинейная динамика уже представляет развитую математическую теорию. Ключевой задачей синергетики является отыскание законов, по которым функционируют и взаимодействуют между собой отдельные части системы, порождая коллективное поведение, отличное от поведения составляющих; то, как система приобретает новые свойства в условиях внешней среды, как в ней образуются и распадаются структуры или происходит их преобразование в новые, более сложные и т.д., т.е. по каким законам система эволюционирует и самоорганизуется [6].

Системы, состоящие из многих взаимодействующих элементов, самоорганизуясь, могут достичь некоторого критического состояния, в котором даже малое событие вызывает цепную реакцию, способную привести к катастрофе. П. Баком, К. Визенфельдом и Ч. Тангом (США) была разработана *теория самоорганизованной критичности*. Согласно этой теории, многие составные части системы эволюционируют естественным образом к критическому состоянию, при котором малое возмущение может вызвать цепную реакцию, способную повлиять на любое число элементов системы. И хотя в составных частях происходит больше незначительных событий, чем катастроф, цепные реакции разных масштабов вошли в динамику системы, т.е. малые события вызывает тот же механизм, что и крупные. Кроме того, составные части системы не достигают равновесия, а эволюционируют от одного метастабильного состояния к другому. Считается, что глобальные характеристики не зависят от микроскопических механизмов, поэтому их нельзя понять, разбивая систему на подсистемы и анализируя их отдельно. Эта модель исследовалась, и улучшила понимание процессов в эволюции земной коры на рынке акций, в экосистемах и других больших системах, которые ранее анализировали по частям.

В работах П.В. Макарова [7, 8], занимающегося исследованием деформационных процессов в нагружаемых материалах на различных масштабных уровнях в рамках направления физической мезомеханики материалов, развиваемого в научной школе академика РАН В.Е. Панина, показано, что самоорганизованная критичность любых деформационных систем не исключает возможности предсказания времени и места будущего катастрофического состояния. Индикаторами такого крупного масштабного события могут служить следующие процессы: замирание деформационной активности в ближней окрестности формирующейся магистральной трещины или разлома; генерация в ближайшей зоне формирующегося очага разрушения цугов деформационных фронтов (фронтальных повреждений) и их стекание к месту формирования магистральной трещины (разлома), что вселяет определенный оптимизм в перспективу прогноза разрушения [7].

Использование принципов синергетики может быть применено в инженерно-геологических исследованиях по прогнозированию последствий затопления подземного рудника, расположенного на территории г. Березовский.

Проблема ликвидации подземного рудника актуальна для г. Березовский, расположенного на территории месторождения. Особенность взаимосвязи г. Березовский с подземными горными выработками обусловлена тем, что почти 200 лет разработка Березовского месторождения велась в выветрелой верхней части массива горных пород на глубинах до 40–45 м. В результате город оказался на выветрелой толще пород, буквально пронизанной подземными выработками.

Березовское золоторудное месторождение находится в пределах зоны, сложенной осадочными и субвулканическими образованиями, вмещающими интрузии основного и кислого составов, и представляет собой совокупность многочисленных крутопадающих даек березитизированных гранитоидов, к которым приурочены сульфидно-кварцевые золотоносные жилы. Длина жил изменяется в пределах 10–30 м, а их мощность от долей сантиметров до 1,5 м.

Рыхлые мезокайнозойские отложения в пределах Березовского рудного поля представлены глинистой корой выветривания. Мощность коры выветривания, развитой повсеместно, составляет 2–3 м. Мощные (25–50 м) коалиновые коры выветривания сформировались по гранитоидам даек. Линейные коры выветривания развиты (до глубин 70–100–120 м) вдоль зон тектонических нарушений и ослабленных зон на контактах пород. Линейные коры особенно хорошо проработаны в верхней части разреза и имеют в основном каолиновый состав.

По вещественному составу среди глинистых продуктов в зависимости от состава исходного субстрата выделяется несколько типов: каолинитовый, каолин-монтмориллонитовый, нонтронитовый, каолин-гидрослюдистый. Вещественный состав глин определяет их особенности и принципиально важен.

Монтмориллонит – глинистый минерал подкласса слоистых силикатов –  $m\{Mg_3[Si_4O_{10}][OH]_2\} \cdot p\{Al,Fe\}_2[Si_4O_{10}][OH]_2 \cdot n H_2O$ . Характерным признаком минералов монтмориллонитовой группы является переменное содержание в них воды, сильно изменяющееся в зависимости от влажности окружающей среды. Вода легко проникает в кристаллическую решетку монтмориллонита, раздвигает ее и обуславливает сильную его набухаемость.

Гидрослюды являются промежуточным продуктом выветривания слюд. Разрушение кристаллической решетки слюд (на примере мусковита –  $K Al_2(OH) 2Al Si_3 O_{10}$ ) происходит по схеме замещения ионов калия ( $K^{+1}$ ) на связанные молекулы воды ( $H_2O$ ).

Кристаллическая структура гидрослюды незначительно отличается от структуры слюды и является переходной к структуре монтмориллонита. Имеет место переслаивание пакетов слюд 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 Ангстрем в зависимости от количества молекул  $H_2O$ , участвующих в кристаллической структуре минерала.

Таким образом, характерным признаком для монтмориллонита и гидрослюд является переменное содержание в них воды, сильно изменяющееся в зависимости от влажности окружающей среды: из-за особенности строения кристаллической решетки монтмориллонит и гидрослюды очень гидрофильны и, как следствие, тиксотропны. 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.

Тиксотропные изменения являются результатом разрушения структурных связей, уменьшения их прочности и расслабления породы (релаксация сил сцепления) и затем восстановления структурных связей и упрочнения породы. 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 первым относятся параметры динамического воздействия на горный массив. К внутренним факторам относятся дисперсность породы, ее минеральный состав, влажность. Тиксотропия проявляется под воздействием современных геодинамических процессов, взрывов, движения транспорта и т. д. [9, 10].

Начиная с 1747 г. пространственно г. Березовский формировался вблизи объектов золотодобычи. В результате вся центральная часть города расположена на подработанной территории. Только некоторые окраинные районы расположены вне зоны влияния подземных разработок (рис. 1).



Рис. 1 – Фрагмент плана застройки Березовского Золоторудного месторождения



Первые 150 лет разработки государственная добыча осуществлялась в приповерхностной зоне на глубинах не более 45 – 50 м. В этот период было построено более 1000 шахт, пройденных по дайкам и жилам. В это же время повсеместно велась старательская добыча небольшими горными выработками – шурфами, штольнями, небольшими шахтами. По этим выработкам горнотехническая документация отсутствует. О существовании этих выработок узнают лишь иногда – при возникновении провалов от «точечных» антропогенных воздействий, нарушающих самоорганизованное субравновесное состояние массива (рис. 2).



Рис. 2 – Образование провала над старательской горной выработкой на территории г. Березовский

В настоящее время добыча золота осуществляется двумя шахтами – «Южной» и «Северной». Шахта «Южная» разрабатывает южную часть месторождения на глубинах до 314 м. Шахта «Северная» разрабатывает северную часть месторождения до глубины 512 м. Горные работы активизируют современную геодинамику за счет техногенной составляющей [11].

На руднике работает комплекс шахтного водоотлива, который обеспечивает осушенное состояние вмещающего горного массива.

Таким образом, горный массив территории г. Березовский характеризуется следующими особенностями:

- тем, что верхняя часть массива в результате добычи золота по дайкам буквально пронизана многочисленными пустотами;
- присутствием в верхней части разреза, в местах непосредственной добычи золота, вдоль тектонических нарушений каолин-гидрослюдистых и каолин-монтмориллоновых глин – пород, склонных к проявлению тиксотропии при увлажнении;
- проявлением современной геодинамической активности [11].

По экономическим причинам периодически возникает идея закрытия и затопления рудника. Однако сочетание представленных характеристик массива является предпосылкой к природно-техногенной катастрофе: затопление рудника приведет к резкому изменению свойств глинистых пород и активизации процесса сдвижения, что для инфраструктуры г. Березовский будет иметь катастрофические последствия [12 – 14]. На рис. 3 представлена прогнозная модель активизации процесса сдвижения горных пород на территории города в случае остановки водоотлива.

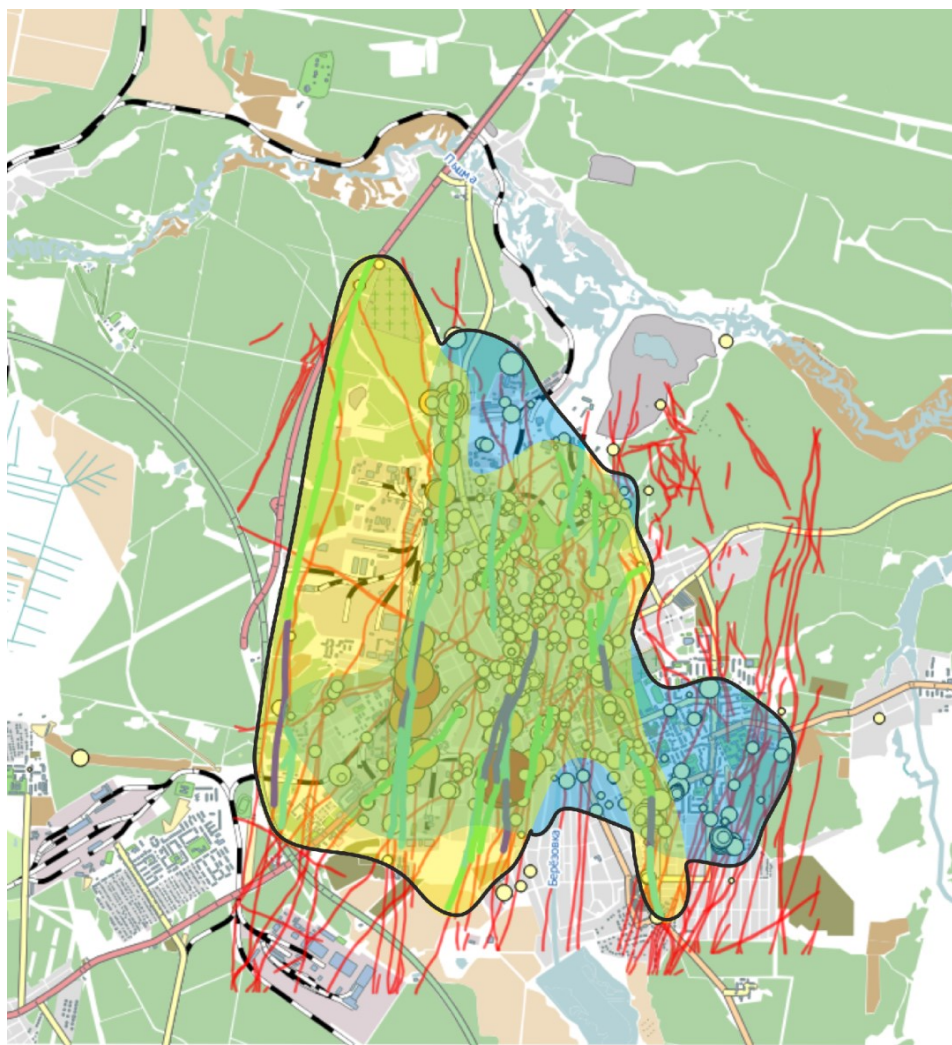


Рис. 3 – Прогнозная модель активизации процесса сдвижения горных пород на территории г. Березовский в случае остановки водоотлива на руднике (Авторы - А.С. Ведерников, П.И. Зувев)

Данный пример использования принципов синергетики при исследовании горного массива Березовского рудника подтверждает утверждение академика РАН В.Е. Панина о возможности прогнозирования времени и места катастрофического состояния.

Прогнозное время перехода горного массива территории г. Березовский в катастрофическое состояние – период после прекращения (снижения объемов) шахтного водоотлива. Момент обводнения монтмориллонит-гидрослюдистых глинистых отложений переведет их в тиксотропное, неустойчивое состояние и станет так называемой точкой бифуркации: сочетание природной и техногенной современной геодинамической активности, наличие пустот в верхней части разреза в пределах городской территории и тиксотропное, неустойчивое состояние глинистых отложений спровоцируют активизацию здесь процесса сдвижения.

Для г. Березовский прогнозное положение места проявления катастрофического события при затоплении подземного рудника ограничено контуром депрессионной воронки, сформированной шахтным водоотливом.

Опыт использования принципов синергетики в междисциплинарном анализе параметров существования горного массива, подвергнутого техногенному воздействию горными работами и в случае затопления, как сложной и открытой системы, находящейся в процессе самоорганизации, основанном на постоянном стремлении к устойчивому состоянию, может быть использован для совершенствования прогнозных исследований последствий ликвидации горнодобывающих предприятий.

## Литература

1. Елохина С.Н. Прогноз гидродинамических последствий затопления подземных горных выработок в условиях недостаточности гидрогеологической информации / С.Н. Елохина // Сергеевские чтения: материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. Вып. 4. - М.: Изд-во «ГЕОС», 2002. - С. 361 – 364.
2. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика и оценка геодинамического риска при недропользовании / Ю.О. Кузьмин. - М.: Агентство экономических новостей, 1999. - 220 с.
3. Хакен Г. Синергетика: пер. с англ. / Г. Хакен. – М.: Мир, 1980. - 404 с.
4. Пригожин И. Порядок из хаоса / И. Пригожин, И. Стенгерс. - М.: Прогресс, 1986. - 430 с.
5. Малинецкий Г.Г. Нелинейность. Новые проблемы, новые возможности / Г.Г. Малинецкий, А.Б. Потапов // Новое в синергетике. Загадки мира неравновесных структур. - М.: Наука, 1996. - С.165 - 191.
6. Еремин М.О. Моделирование эволюции напряженно-деформированного состояния нагружаемых геосред и твердых тел как нелинейных динамических систем: автореф. дис. ... канд. физ-мат. наук. / М.О. Еремин; Нац. исслед. Томский гос. ун-т. - Томск, 2014. – 22 с.
7. Макаров П.В. Самоорганизованная критичность деформационных процессов и перспективы прогноза разрушения / П.В. Макаров // Физическая мезомеханика. - 2010. - Т. 13. - № 5. - С. 97 - 112.
8. Макаров П.В. Самоорганизованная критичность и сейсмический процесс / П.В. Макаров // Триггерные эффекты в геосистемах (Москва, 22 – 24 июня 2010 г.): материалы Всероссийского семинара-совещания / Ин-т динамики геосфер РАН; под ред. В.В. Адушкина, Г.Г. Кочаряна. - М.: ГЕОС, 2010. - С. 79 – 86.
9. Бетехтин А.Г. Курс минералогии / А.Г. Бетехтин // ГНТИ литературы по геологии и охране недр. – М.: Гос. Науч.-техн. изд-во литер. по геологии и охране недр, 1956. – 558 с.
10. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная петрология / В.Д. Ломтадзе. - М.: Недра, 1970. – 528 с.
11. Ручкин В.И. Исследование динамики массива горных пород / В.И. Ручкин // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отд. вып. № 11. Проблемы недропользования. - 2011. - С. 213 – 224.
12. Усанов С.В. Методика оценки безопасности застройки территорий над старыми горными выработками / С.В. Усанов // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отд. вып. № 11. Проблемы недропользования. - 2011. - С. 260 – 266.
13. Драсков В.П. Обеспечение безопасности эксплуатации сооружений шахты на Сарановском месторождении хромитов / В.П. Драсков // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2010. - № 6. - С. 309 - 316.
14. 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.