

Исследования по геоинформатике: труды Геофизического центра РАН
Том. 5, № 2

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – ИНСТРУМЕНТ
ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ГОРНОГО
ПРОИЗВОДСТВА

Москва, 2017

© ГЦ РАН

Geoinformatics Research Papers: Proceedings of the Geophysical Center RAS
Vol. 5, No. 2

GEOINFORMATION TECHNOLOGIES – A TOOL FOR INCREASING
THE EFFICIENCY AND SAFETY OF MINING

Moscow, 2017

© Geophysical Center RAS

Коликов, К. С., В. Н. Татаринов, Ред. (2017), Геоинформационные технологии – инструмент повышения эффективности и безопасности горного производства. М.: Исследования по геоинформатике: труды Геофизического центра РАН, т. 5, №2, BS5004. <https://doi.org/10.2205/2017BS045>

Этот номер целиком посвящен исследованиям ученых, аспирантов и студентов Горного института «НИТУ МИСиС», выполненных совместно с лабораторией геодинамики ГЦ РАН. Коллектив Горного института НИТУ «МИСиС» в своей работе сочетает самые современные образовательные технологии с фундаментальной и прикладной научной деятельностью, проводя исследования мирового уровня по приоритетным направлениям науки и техники. Мы надеемся, что представленные в номере статьи позволят повысить потенциал научных исследований и качество образовательного процесса, а также создать новые технологии для повышения эффективности ведения горных работ и геологической безопасности горных предприятий.

Ответственные редакторы:

К. С. Коликов, д.т.н., зав. кафедры «Безопасность и экология горного производства» Горного института НИТУ «МИСиС»

В. Н. Татаринов, д.т.н., руководитель НОЦ «Геодинамика и геологическая безопасность недр: моделирование, прогноз и мониторинг», зав. лаб. геодинамики ГЦ РАН

Kolikov, K. S., V. N. Tatarinov, Ed. (2017), Geoinformation technologies – a tool for increasing the efficiency and safety of mining, Geoinf. Res. Papers, Vol.5, BS5003, <https://doi.org/10.2205/2017BS045>

Edited by K. S. Kolikov and V. N. Tatarinov

This issue is fully devoted to the research of scientists, graduate students and students of the Mining Institute "NITU MISiS", carried out jointly with the Laboratory of Geodynamics of the Russian Academy of Sciences. The staff of the Mining Institute of the NITU "MISiS" in its work combines the most modern educational technologies with fundamental and applied scientific activity, leading world-class research in priority areas of science and technology. We hope that the articles presented in this issue will increase the potential of scientific research and the quality of the educational process, as well as create new technologies to improve the efficiency of mining and geoeological safety of mining enterprises.

DOI: <https://doi.org/10.2205/2017BS045>

URL: <http://ebooks.wdcb.ru/2017/2017BS045/2017BS045.pdf>

ISSN: 2308-5983

© 2017, ГЦ РАН, Geophysical Center RAS

Содержание

Геоинформационные технологии – инструмент повышения эффективности и безопасности горного производства, <i>К. С. Коликов, В. Н. Татаринов</i>	1
Геоинформационное обеспечение прогноза опасных природных процессов при отработке угольных пластов, <i>К. С. Коликов, Е. А. Егорова, Е. В. Мазаник</i>	3
Моделирование негативного влияния подземных горных разработок на сооружения и природные объекты поверхности Земли, <i>Е. А. Ельчанинов, И. Э. Мазина</i>	13
Применение онтологии для оценки устойчивости участков земной коры в районах размещения объектов использования атомной энергии, <i>В. А. Пятыгин, В. Н. Морозов, В. Н. Татаринов</i>	22
Применение искусственных нейронных сетей для прогноза современных движений земной коры, <i>А. И. Маневич, В. Н. Татаринов</i>	37
Обоснование и ранжирование комплекса критериев оценки безопасности эксплуатации откосных сооружений, <i>В. В. Ческидов, А. В. Липина</i>	48
Оценка временной изменчивости свойств горных пород, <i>Д. С. Куренков</i>	54
Выявление провалоопасной зоны и планирование мероприятий по ее ликвидации на основе анализа горно-графической документации по полю шахты № 12 в г. Киселевске, <i>А. А. Захарова, Е. П. Вишневецкая</i>	61
Исследование возможностей заблаговременной дегазации одного из участков поля шахты им. Кирова в Кузбассе, <i>А. А. Захарова, Н. И. Чугунова</i>	72
Современные области применения породных отвалов горнодобывающем предприятии, <i>Н. П. Удалова, П. П. Ганган</i>	79
Направления повышения эффективности использования вторичных энергетических ресурсов в горной промышленности, <i>Е. А. Ельчанинов, Н. П. Удалова</i>	86
Индикационно-диагностический потенциал высших растений, пригодный для использования в горной промышленности, <i>С. С. Сибагатуллина, А. Д. Лазаренко, Е. И. Хабарова</i>	90
К анализу тектонофизических условий проявления техногенных землетрясений, <i>А. С. Батугин</i> ..	102
О подходе к функциональному зонированию территорий на основе анализа данных геодинамического, <i>И. В. Головки</i>	108
К актуальности вопроса анализа данных о влиянии геодинамически опасных зон на инженерные объекты, <i>В. Р. Мусина</i>	118
К вопросу анализа данных об изменении горными предприятиями геодинамического режима недр, <i>Д. В. Буката</i>	126
Оценка геоэкологического состояния территории п. Пригородное (Сахалинская область) по интенсивности проявления геодинамических процессов, <i>В. В. Антошин, А. А. Стельмахов</i>	134
Типизация сульфидных океанических руд с применением факторного и корреляционного анализа, <i>Ю. В. Кириченко, И. В. Лосев</i>	140
Оценка воздействия горнопромышленных объектов на компоненты окружающей среды, <i>А. Г. Урузбиева</i>	149

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ - ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

К. С. Коликов¹, В. Н. Татаринов²

¹Горный институт НИТУ «МИСиС», Москва, Россия

²Геофизический центр РАН, Москва, Россия

v.tatarinov@gcras.ru

Изучению современных информационных систем и технологий уделяется большее внимание при подготовке специалистов различных направлений и специальностей горного профиля. На современном уровне научно-технического развития и компьютеризации геоинформационные методы являются мощным инструментом, помогающим повысить эффективность и безопасность ведения горных работ и обеспечить качественно новый уровень принятия оптимальных и гибких управленческих, проектных и плановых решений в горной промышленности.

Согласно известному определению *геоинформатика* – это область науки и техники, отражающая и изучающая природные и социально-экономические геосистемы, их взаимодействие и развитие посредством компьютерного моделирования на основе информационных систем и технологий, баз данных и баз знаний.

Данные *о геологической среде* как системе, находящейся в поле действия других природных и техногенных систем, где все параметры взаимосвязаны и влияют друг на друга, характеризуются недостаточностью и неопределенностью, и часто не позволяют принять простое проектное решение при выборе параметров систем разработки месторождений, обосновании размеров подземных сооружений, скорости и порядка отработки рудных тел, параметров бортов карьеров и т.д. Для преодоления этой неопределённости наиболее конструктивным является использование геоинформационных методов системного анализа, которые позволяют в условиях неопределённости делать долгосрочные прогнозы, используя фундаментальные геологические и геодинамические закономерности как основные критерии и гарантии достоверности. Поэтому представленный в журнале материал актуален не только для объектов горной промышленности, но для других экологически опасных производств, включая захоронение радиоактивных отходов в геологических формациях, строительство особо ответственных подземных объектов и т.д.

Уже почти 5 лет ученые, преподаватели и студенты Горного института НИТУ «МИСиС» и Геофизического центра РАН успешно проводят совместные исследования в рамках научно-образовательного центра (НОЦ) «*Геодинамика и геоэкология недр: моделирование, прогноз и мониторинг*». Научно-исследовательская сторона деятельности НОЦ предусматривает выполнение совместных работ по следующим основным направлениям:

- разработка новых методов геодинамического районирования территорий в районах размещения радиационно-опасных объектов ядерного топливного цикла и объектов ТЭК;
- исследование и моделирование напряженно-деформированного состояния подземных сооружений;

- развитие научно-методической базы применения информационной технологии для прогноза устойчивости геологической среды;
- исследование современных движений земной коры на основе применения глобальных навигационных спутниковых систем.

Возглавляет НОЦ директор Геофизического центра, академик А. Д. Гвишиани.

В последние два года сотрудничество между ГЦ РАН и Горным институтом НИТУ «МИСиС», направленное на интеграцию научного, образовательного и производственного потенциала для выполнения совместных научно-образовательных проектов и работ инновационного характера по приоритетным направлениям развития науки, техники и технологий, развивается еще интенсивнее. Этот номер целиком посвящен исследованиям ученых, аспирантов и студентов Горного института «НИТУ МИСиС», выполненным совместно с лабораторией геодинамики ГЦ РАН. Коллектив Горного института НИТУ «МИСиС» в своей работе сочетает самые современные образовательные технологии с фундаментальной и прикладной научной деятельностью, проводя исследования мирового уровня по приоритетным направлениям науки и техники. Мы надеемся, что представленные в номере статьи позволят повысить потенциал научных исследований и качество образовательного процесса, а также создать новые технологии для повышения эффективности ведения горных работ и геоэкологической безопасности горных предприятий.

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОГНОЗА ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ
ПРОЦЕССОВ ПРИ ОТРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

К. С. Коликов¹, Е. А. Егорова¹, Е. В. Мазаник²

¹Горный институт НИТУ «МИСиС»

²АО «СУЭК-Кузбасс»

kolikovks@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрены принципы выявления аномальных зон в угольном пласте на основе анализа изменения НДС и относительной проницаемости пласта. Рассмотрены способы повышения точности прогноза.

Ключевые слова: прогноз, безопасность ведения горных работ, горно-геологические явления, уголь, шахта, подземные горные работы;

В последние годы значительно возросла нагрузка на очистные забои при отработке угольных пластов. В соответствии с требованиями долгосрочной программы развития угольной отрасли планируется дальнейшее повышение нагрузки. Применяемые техника и технологии отработки позволяют решить данную задачу, но рост стоимости оборудования и необходимость минимизации себестоимости привели к снижению количества резервных лав, широкому распространению отработки угольных пластов по схеме «шахта-лава». В этих условиях значительно обострится проблема метанобезопасности, т.к. даже при газоносности менее 10 м³/т газообильность добычного участка может достигать 100 и более м³/мин. При этом точность геологоразведочных данных по газоносности угольных пластов остается на низком уровне.

Заблаговременное выявление аномальных участков позволит повысить безопасность и интенсивность ведения горных работ.

Целью работы является обоснование методических подходов к прогнозу аномальных по газоносности и газовыделению зон, учет которых позволит повысить

эффективность управления газовыделением выемочного участка в условиях интенсивной отработки.

Прогноз метанообильных зон в угольном пласте может быть осуществлен на основе создания информационной модели геологического объекта по данным разведочных скважин, которая позволяет систематизировать и обрабатывать разрозненные данные об объекте и рассматривать его целиком или любой его фрагмент. Для этой цели используются программы обработки геологической информации и визуализации залегания угольного пласта и вмещающих пород, а также различные методы оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) угольного пласта и вмещающих пород [Халманов, 2000].

Фильтрационная способность угольных пластов, помимо физико-механических свойств и трещиноватости, зависит от внешних геодинамических факторов. Наиболее существенным фактором, влияющим на проницаемость и, как следствие, газообильность, является горное давление в угольном пласте, которое зависит от гипсометрии угольного пласта и геологических неоднородностей во вмещающих породах: стратиграфических, структурных и тектонических.

На рис. 1 представлены факторы, влияющие на изменения НДС пласта.

Аномальные изменения горного давления и газопроницаемости угля создают опасность интенсивных выделений метана в горные выработки.

Проницаемость связана со средним давлением следующей зависимостью [Somerton, et.al, 1975; Chena, et.al, 2009; Wang, et.al, 2009]:

$$C = 1,013 \cdot 10^{-\beta \cdot \sigma} . \quad (1)$$

где C – проницаемость, мД;

β – эмпирический коэффициент, $\beta=0,31 \cdot 10^{-6}$ Па (диапазон изменения β $(0,1 \dots 0,5) \cdot 10^{-6}$ Па) ; σ – среднее нормальное напряжение, Па;



Рисунок 1 - Факторы, влияющие на изменения НДС угольного пласта

Если известно значение проницаемости C_0 при среднем напряжении σ_0 , то проницаемость C при другом среднем напряжении σ составит (в системе СИ):

$$C = C_0 \cdot 10^{0.3 \cdot 10^{-6} \cdot (\sigma_0 - \sigma)} \quad (2)$$

где σ_0 – среднее напряжение в массиве, при котором известно значение проницаемости C_0 .

Таким образом, используя формулу (2) можно построить зависимость изменения относительной проницаемости пласта C/C_0 вдоль рассматриваемого пласта. При этом за C_0 необходимо выбрать точку, находящуюся на значительном удалении от нарушения (сброс, взрос, утонение пласта, различные включения и т.д.), соответствующую «естественным» условиям залегания пласта. Зависимость C/C_0 позволит составить качественную картину изменения относительной проницаемости и выделить аномальные зоны как повышенной, так и пониженной проницаемости.

Для качественного прогноза аномальных участков газопроницаемости с использованием зависимости (2) можно предложить следующий алгоритм (рис. 2):

- Этап 1:** Составление геопространственной модели шахтного поля или его участка на основе картографических данных, данных по геологоразведочным скважинам, данных по наземной геофизике, данных по шахтной геофизике, плана горных работ и данных по горным выработкам и выработанному пространству.
- Этап 2:** Анализ систем трещин и разломов, установленных по геолого-геофизическим данным.
- Этап 3:** Исследование и анализ линеamentной тектоники по данным аэрофотоснимков.
- Этап 4:** Поверхностные и шахтные геофизические исследования строения, нарушенности, физико-механических свойств в объеме массива горных пород с учетом выявленной линеamentной тектоники с целью детального изучения структуры и глубины простираения тектонических нарушений, прогнозируемых линеamentным анализом.
- Этап 5:** Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния массива горных пород и оценка главных компонент тензора напряжений.
- Этап 6:** Качественная оценка изменения относительной проницаемости пласта C/C_0 с использованием зависимостей (1) и (2).
- Этап 7:** Интерпретация результатов прогноза и составление рекомендаций для оптимизации параметров процесса предварительной дегазации.

Рассмотрим более подробно каждый из упомянутых этапов:

Составление геопространственной модели шахтного поля.

Составление таких моделей возможно в различных программных средах таких как ArcGIS, Surpac, Datamine и Micromine.

Технологии формирования геопространственных моделей обеспечивают интеграцию всей пространственной информации, полученной на этапах геологических и геофизических исследований, которая включает информацию по скважинам, литологии, физико-механическим свойствам и т.д. Геопространственная модель уточняется по мере получения новых данных и пополняется данными, необходимыми для последующего выявления аномальных зон [Подчуфаров и Кудрин, 2011; Аверин и др., 2009]

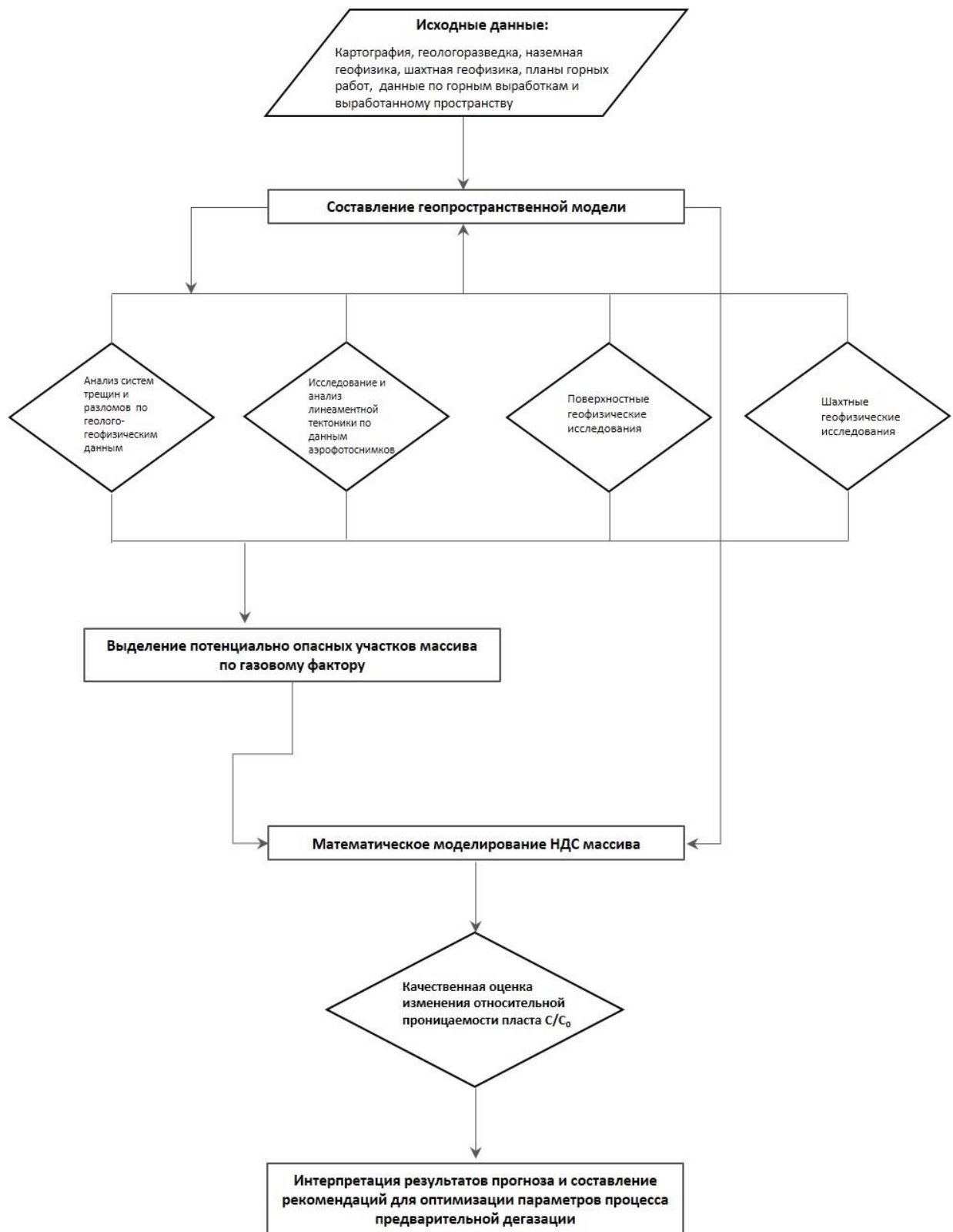


Рисунок 2 – Алгоритм прогноза аномальных участков газопроницаемости

Отдельные участки геопространственной модели могут быть преобразованы и экспортированы в другие программы для решения задач математического моделирования НДС интересующего участка.

Компьютерная репродукция горного массива по скважинным наблюдениям с учетом всех известных признаков строения массива и физико-механических свойств пород является составными элементами общей базы данных, создаваемых с целью прогноза метанообильных зон.

Анализ систем трещин и разломов, установленных по геолого-геофизическим данным.

Геометрия пласта и вмещающих пород определяет перераспределение напряжений, существующих внутри массива. Локальные неоднородности структуры угольного пласта в значительной степени связаны с тектоникой, формой, составом и взаимным расположением вмещающих пород. Необходимо отслеживать быстрые переходы в структуре всего массива горных пород, содержащего угольный пласт. Такими параметрами являются:

- локальные аномалии пласта – изгибы, флексуры, тектонические нарушения, размывы, нарушения мощности и прочие;
- геометрические пространственные характеристики пласта – глубина залегания, угол падения, мощность;
- форма и расположение вмещающих пород – мощность пород непосредственной и основной кровли и почвы, форма и расположение по отношению к пласту слоев крепких пород.

Для выделения опасных зон следует обратить внимание на аномалии залегания. Из гипсометрического плана и разрезов можно судить об условиях залегания пласта, изменении угла его падения. По карте изомощностей можно сделать заключение о том, как меняется мощность пласта на участке и отследить зоны ее аномального изменения. Обычно зоны аномального газовыделения приурочены к зонам эндогенной трещинноватости, антиклинальным складкам и участкам утонения пласта.

Исследование и анализ линеаментной тектоники по данным аэрофотоснимков.

Структурное дешифрирование космических снимков может проводиться с использованием программных продуктов ERDAS Imagine, ArcGIS, MapInfo Professional и других геоинформационных систем (ГИС).

При интерпретации результатов линеаментного анализа космических изображений и аэрофотоснимков формируется линеаментное поле (линеаментная текстура поверхности), отражающая общее напряженно-деформированное состояние земной коры, индикаторами которого могут быть самые различные природные образования – разрывные нарушения, зоны трещиноватости, ослабленные зоны, линейные складки и др. [Аверин и др., 2009; Захаров и Филиппов, 2009].

Геофизические исследования.

Основная задача поверхностных геофизических исследований – детальное изучение структуры и глубины простираения тектонических нарушений, прогнозируемых линеаментным анализом.

К поверхностным геофизическим исследованиям, как правило, относят сейсморазведку, так как это наиболее универсальный, детально проработанный методически и аппаратно метод. Сейсморазведка на поверхности выполняется в основном площадной съемкой методом отраженных волн (МОВ) в реализации общей глубинной точки (ОГТ) и просвечивания на отраженных волнах. Комплексный метод преломленных волн (КМПВ) является вспомогательным методом сейсморазведки и выполняется по отдельным профилям с целью изучения скоростных характеристик верхней части разреза, необходимых при обработке МОВ, а также для картирования выходов разрывных нарушений и корреляции с данными линеаментного анализа. Совместный анализ реализуемых методов интерпретации сейсморазведки обеспечивает максимальную надежность прогноза строения и нарушенности исследуемого участка. На основе результатов детальной наземной сейсморазведки строятся сейсмические разрезы и структурные карты [Шерифф и Гелдарт, 1987].

Совместный анализ сейсмогеологических разрезов позволяет выделять аномальные зоны, связанные с изменением условий залегания литологических границ на уровне полезного ископаемого.

Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния массива горных пород.

Моделирование напряженно-деформированного состояния массива горных пород с учетом условий залегания и физико-механических свойств слагаемых пород позволяет количественно оценивать влияние различного рода природных и техногенных факторов на компоненты тензора напряжений.

НДС массива зависит от его геометрии, геологических нарушений и слагающих массив пород. При оценке НДС массива используются физико-механические параметры, характеризующие свойства пород и углей, их структуру, т.е. прочностные параметры (хрупкость, твердость), пористость, газоносность, влажность и прочие, а также их интегральные характеристики, такие как модуль Юнга и коэффициент Пуассона.

Математическое моделирование НДС массива возможно в различных программных средах таких как ANSYS или COMSOL Multyphysics, позволяющих решать системы дифференциальных уравнений при заданных граничных условиях методом конечных элементов.

Для моделируемой ситуации граничные условия задаются на основании уравнений, описывающих напряженное состояние массива.

Вся модель разделяется на области с одинаковыми физико-механическими характеристиками (пласт, породы почвы и кровли, линзы), которые задаются в соответствующем модуле. Также задаются силы, действующие на границе каждой области, и ограничения по ним.

После ввода всех значений и задания всех параметров для каждой из областей, осуществляется расчет напряженно-деформированного состояния среды и проницаемости по пласту.

Распределение, направление и величина отношения осей эллипсов главных напряжений позволяют судить о наличии в массиве трещиноватых областей и направлении развития трещин. Оценка НДС массива уточняет прогноз, сделанный по геометрическим характеристикам. Он позволяет обозначить границы влияния неоднородностей массива.

По результатам моделирования осуществляется выявление потенциально опасных зон возможного формирования и развития газодинамических явлений и ряда других техногенных процессов в массиве горных пород [Маневич и др., 2017; Коликов и др., 2015].

Качественная оценка изменения относительной проницаемости пласта C/C_0 .

Газопроницаемость углей, наряду с их газоносностью и газовым давлением, является определяющим фактором при формировании газовыделения в горные выработки.

В зависимости от горно-геологических условий и НДС по угольному пласту могут наблюдаться участки как пониженной, так и повышенной проницаемости.

Участки с аномально низкой проницаемостью при определенных условиях залегания могут служить зонами, стимулирующими накопление метана, что должно учитываться при планировании добычных работ.

На изменение относительной проницаемости большое значение оказывает различное сочетание упругих характеристик (E и μ) пласта, вмещающих пород и включений, а также геометрия залегания и дизъюнктивных нарушений. Таким образом, точность прогноза напрямую зависит от точности исходных данных, формирующихся на этапах 1-4.

Интерпретация результатов прогноза и составление рекомендаций для оптимизации параметров процесса предварительной дегазации.

Выявление зон аномальной проницаемости позволяет выделить участки пласта, опасные по газовому фактору при подземной отработке угольных пластов, что необходимо учитывать, как при планировании горных работ, так и при дегазационной подготовке запасов.

С другой стороны, при решении задач промысловой добычи метана, данный подход позволяет прогнозировать благоприятные условия заложения добычных скважин.

Литература

Аверин А. П., В. Н. Захаров, Ю. А. Филиппов, Разработка геоинформационных систем мониторинга техногенных гео- и газодинамических процессов при освоении недр, Открытое Образование, №5, 2010, С. 4-12.

Захаров В. Н., Ю. А. Филиппов, Прогнозирование тектонической нарушенности угольных месторождений по результатам линеаментного анализа

космоинформации, Новые идеи в науках о Земле: Доклады IX Международной конференции. Т. 2, 2009, С. 143.

Коликов К. С., В. Н. Королева, В. А. Егорова, А. И. Маневич, Оценка выбросопасности выемочного участка в зоне геологических нарушений с учетом аномальных зон, Горный информационно-аналитический бюллетень, №10, Специальный выпуск №38, 2015, С. 3 – 8.

Маневич А. И., В. А. Макаров, П. Н. Пащенко, Перспективы математического моделирования как составной части геомеханического мониторинга на шахтах с целью повышения эффективности управления газовыделением, Горный информационно-аналитический бюллетень, №6, 2017, С. 91 – 100.

Подчуфаров И. Е., С. С. Кубрин, Представление коллекторов метана в геоинформационной модели шахтного поля, ГИАБ, том 6, №12, 2011, С. 238-248.

Халманов Х. Ж., А. М. Бабалиев, М. К. Момын, Д. И. Милехин, Д. И. Митюхин, О методике прогноза метанообильных зон в угольном пласте, ГИАБ, №7, 2000, С. 180-183.

Шерифф Р., Л. Гелдарт, Сейсморазведка, Т. 2, Мир, 1987, С. 328.

Chena Z., Z. Panb, J. Liua, L. D. Connellb, D. Elsworthc, International Journal of Greenhouse Gas Control, Volume 5, Issue 5, September, 2011, pp. 1284–1293.

Somerton W. H., I. M. Soylemezoglu, R. C. Dudley, Intl. J. Rock Mechanics Mineral Science and Geomechanics Abstracts, 12, 1975, pp. 129-145.

Wang G. X., P. Massarotto, V. Rudolph, International Journal of Coal Geology, № 77, 2009, pp. 127–136.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕГАТИВНОГО ВЛИЯНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ
РАЗРАБОТОК НА СООРУЖЕНИЯ И ПРИРОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ
ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

Е. А. Ельчанинов, И. Э. Мазина

Горный институт НИТУ «МИСиС»

izos95@mail.ru

Аннотация

Разработка угольных пластов приводит к изменению напряженного состояния горных пород и их сдвигению, которые могут вызвать повреждения объектов, увеличение водо- и газопроницаемости пород над выработанным пространством, изменение гидрогеологического режима поверхностных и грунтовых вод, а также активизацию оползневых процессов, нарушению земель сельскохозяйственного назначения, изменению гидрологического режима, заболачиванию, повышению сейсмической активности.

На основе документов, регламентирующими оценку зон влияния выработанного пространства, был произведен расчет ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности от отдельной очистной выработки с закладкой и без, с целью оценить изменение размеров зон влияния подземных разработок на земную поверхность.

Расчет показал что, влияние сдвижений и деформаций земной поверхности негативно сказывается на социально-экономическом состоянии промышленного района и сильно воздействует на окружающие их компоненты окружающей природной среды.

Ключевые слова: моделирование, оседание, мульда, зоны влияния горного давления, закладка выработанного пространства.

Разработка угольных пластов приводит к изменению напряженного состояния горных пород и их сдвигению, проявляющемуся в образовании зоны сдвижения в массиве и на земной поверхности [Черняк и Ярунин, 1995; Петухов и др., 1995, Викторов и др., 2005]. Зона сдвижения на поверхности от влияния отдельной очистной выработки называется мульдой сдвижения. Отдельные точки в мульде сдвижения сдвигаются в рассматриваемый момент времени на разные величины, в результате чего возникают вертикальные (наклоны, кривизна, скручивание) и горизонтальные (растяжения, сжатия,

сдвиги) деформации, а также провалы и сосредоточенные деформации – трещины и уступы в вертикальной и сдвиги в горизонтальной плоскостях [ПБ 07-269-98].

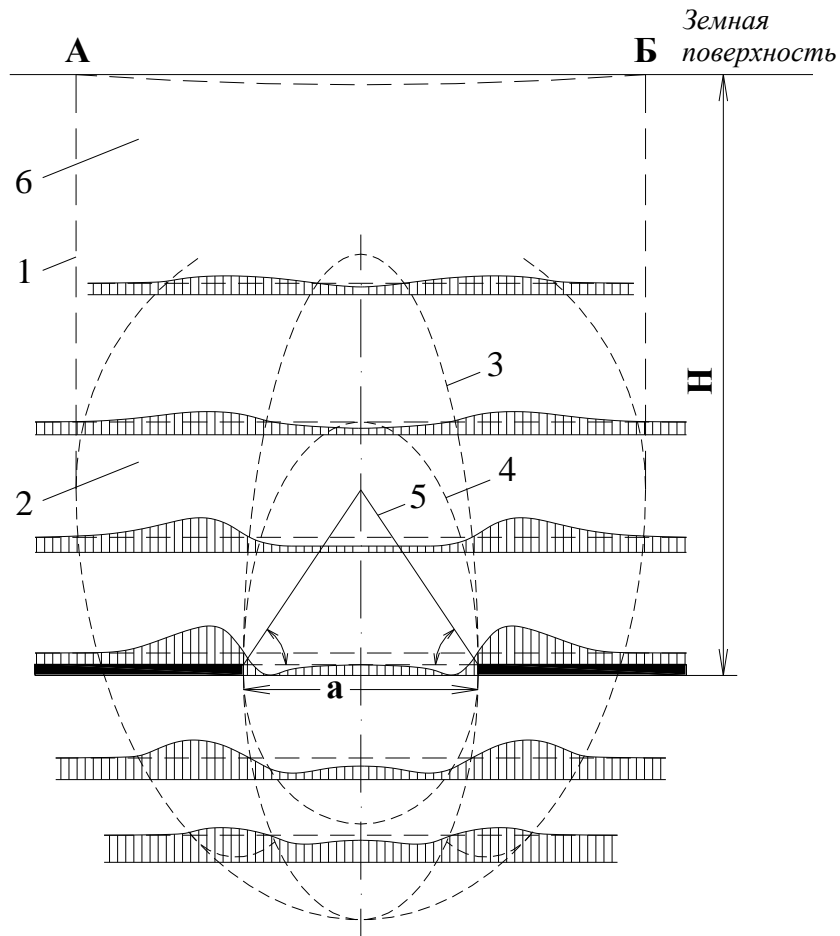


Рис. 1 – Схема распределений зон влияния горного давления около очистной выработки (интерпретация распределения горного давления): 1 – граница области влияния выработки; 2 – зона опорного давления; 3 – граница зоны разгрузки; 4 – граница защищённой зоны; 5 – граница зоны полных сдвижений; 6 – зона сдвижения пород и земной поверхности, возникающая в результате деформации массива; а – ширина выработанного пространства; Н – глубина разработки; линия АБ – муфта оседания.

Различные источники [ГОСТ 17.5.3.04-83; ГОСТ 31937-2011; ПБ 07-269-98, СНиП 2.01.09-91; СНиП 2.06.15-85] предлагают разнообразные классификации зон влияния горного давления, однако неизменными являются четыре из них: зона полного обрушения, зона разгрузки, зона опорных давлений и зона прогиба. Следует отметить, что по разным источникам [Черняк и Ярунин, 1995; Петухов и др., 1972, Викторов и др., 2005] их размеры оцениваются в достаточно широких диапазонах и зависят от вынимаемой мощности пласта (m) и глубины разработки (Н):

- зона обрушения – 3м-6м;
- зона разгрузки – 25м-70м;

- зона опорного давления – примыкает к зоне разгрузки, ширина опорного давления в плоскости пласта, по данным наблюдений, колеблется обычно в пределах $0,1H-0,3H$;
- зона прогиба – не входит в зону разгрузки, не всегда обозначает деформацию земной поверхности, более 40 м-125 м.

Сдвигения и деформации горных пород и земной поверхности могут вызвать повреждения объектов, увеличение водо- и газопроницаемости пород над выработанным пространством, изменение гидрогеологического режима поверхностных и грунтовых вод, а также активизацию оползневых процессов [Татаринов и др., 2015; Ческидов, 2011]. Размеры зоны влияния подземных разработок, величины и характер деформаций, скорости роста деформаций и продолжительность процесса сдвигения горных пород и земной поверхности зависят от следующих основных факторов:

- а) мощности, угла падения и глубины разрабатываемых пластов;
- б) размеров очистных выработок, последовательности прохождения и взаимного положения границ очистных выработок в одном пласте и свите пластов;
- в) структурных особенностей массива горных пород (строения вмещающих пород, наличия разрывных и пликативных нарушений, изменчивости залегания пород и физико-механических свойств пород;
- г) способа управления горным давлением;
- д) скорости продвигания забоя и скорости развития работ вкрест простирания [Коликов и др., 2016].

Общим явлением, при всех условиях работы шахт (кроме технологии добычи с закладкой выработанного пространства), является образование провалов, трещин и воронок, а также оседание земной поверхности над горными выработками. При проведении горнодобывающих работ добыча угля подземным способом сопровождается разрушением почвенного покрова и естественных ландшафтов. Происходит нарушение земель сельскохозяйственного назначения, меняется гидрологический режим, происходит заболачивание, повышается сейсмическая активность [Шпаков и др., 2016; Писарев и др., 2016].

Основными документами, регламентирующими оценку зон влияния выработанного пространства; условия безопасной выемки угля в зонах влияния на здания и сооружения; расчетные, допустимые и предельные показатели деформаций земной поверхности для подрабатываемых зданий, сооружений и коммуникаций; методики расчета ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности являются: ПБ 07-269-98 «Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на

угольных месторождениях»; СНиП 2.01.09-91 «Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах»; СНиП 2.06.15-85 Инженерная защита территорий от затопления и подтопления; ГОСТ 17.5.3.04-83 «Охрана природы. Земли. Общие требования к рекультивации земель».

На основе этих документов, был произведен расчет ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности от отдельной очистной выработки с закладкой и без, согласно нормативному документу [ПБ 07-269-98]. Ниже будет приведена общая схема расчета, однако в описании будут опущены таблицы, необходимые для определения исходных данных, в виду их большого количества и простоты приведенного расчета.

Границы зон влияния горного давления выражают через линейные и угловые параметры, указанные на рис. 2. Угловые параметры зон влияния определяются из условий залегания угольного пласта (угол падения, мощность мезозойских отложений, количество пластов в свите, угольный бассейн).

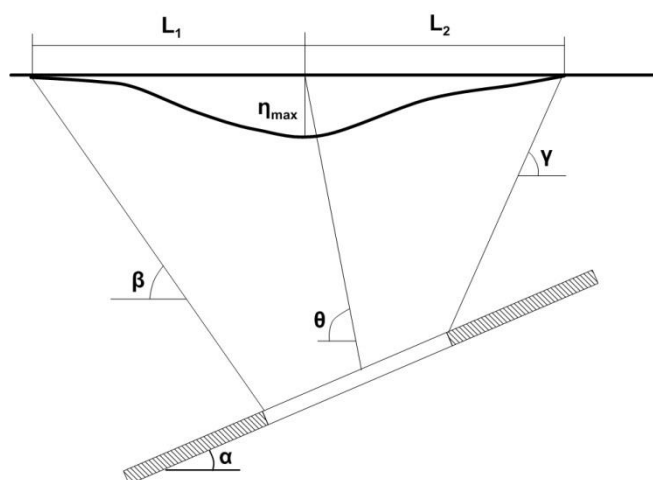


Рис. 5. Линейные и угловые параметры зон влияния горного давления:

α – угол падения пласта; β , γ , θ – граничные углы сдвижения (определяют длины полумульд); L_1 , L_2 – длины полумульд; η_{\max} – максимальное оседание земной поверхности.

Помимо линейных размеров мульды сдвижения и оседания земной поверхности, методика расчета позволяет рассчитывать такие параметры деформаций как: оседание, наклоны, кривизну, горизонтальные деформации и сдвижения.

Оседание – вертикальная составляющая вектора сдвижения точки в мульде сдвижения земной поверхности, м;

Наклоны – деформации земной поверхности в вертикальной плоскости, вызванные неравномерностью вертикальных сдвижений (безразмерная величина);

Кривизна – отношение разности наклонов двух соседних интервалов мульды к полусумме длин этих интервалов, 1/м.

Максимальное оседание земной поверхности определяется по формуле:

$$\eta_{\max} = q_0 m \cos(\alpha) N_1 N_2, \quad (1)$$

где q_0 - относительное максимальное оседание, определяемое по таблицам методики [ПБ 07-269-98] для соответствующих бассейнов и месторождений; m - вынимаемая мощность пласта, однако при работе с закладкой используется эффективная мощность; α - угол падения пласта; N_1 и N_2 - коэффициенты, определяемые по таблицам методики [ПБ 07-269-98].

При закладке выработанного пространства материалом, доставляемым извне участка горных работ, вместо вынимаемой мощности пласта при расчетах сдвижений и деформаций поверхности принимается эффективная мощность пласта m_3 , которая при известных значениях неполноты закладки и конвергенции пород до возведения закладочного массива определяется, по формуле (для условий Кузбасса):

$$m_3 = k_p [h_k (1 - B_1)] + B_1 m, \quad (2)$$

где k_p - коэффициент, определяемый по таблицам методики [СНиП 2.01.09-91]; h_k - величина сближения кровли с почвой (конвергенция) в зоне опорного давления и на участках между забоем и закладкой, при отсутствии инструментальных данных определяется из выражения:

$$h_k = 0,15 B_1 m, \quad (3)$$

где B_1 - коэффициент усадки закладки, определяемый по данным наблюдений, а при отсутствии данных наблюдений, определяется по табл. 1.

Таблица 1

Значения коэффициента B_1 для Кузбасса.

Закладочный материал	Глубина горных работ, м		
	до 100	300	600
Дробленые породы Кузнецкой свиты класса 0-80 мм	0,2	0,3	0,35
Дробленые горелые породы и дробленые песчаники класса 0-10 мм, дробленые горелые породы класса 0-10 мм (50%) и дробленые породы Кузнецкой свиты класса 0-80 мм (50%)	0,1	0,15	0,2

Песок бийский, песок (50%), дробленые породы Кузнецкой свиты класса 0-60 мм (50%), песок ижморский, глинистых частиц 2-12%	0,05	0,08	0,1
Упрочненная закладка №№ 1, 2	0,01	0,03	0,05

Оседание, наклоны и кривизну земной поверхности в точках главных сечений мульды сдвижения определяют по соответствующим формулам:

$$\eta = \eta_{max} S(z) \quad (4)$$

$$i = \left(\frac{\eta_{max}}{L} \right) S'(z) \quad (5)$$

$$K = \left(\frac{\eta_{max}}{L^2} \right) S''(z), \quad (6)$$

где $S(z)$, $S'(z)$, $S''(z)$ – безразмерные функции, типовых кривых оседания, наклонов и кривизны, определяемые по таблицам для соответствующих бассейнов (месторождений) в зависимости от коэффициентов N_1 и N_2 ; L – длина полумульды, для которой ведется расчет, м.

Цель данного расчета – оценить изменение размеров зон влияния подземных разработок на земную поверхность с применением технологии закладки выработанного пространства и без. Так же, в ходе расчета будет использоваться одиночная выработка. Данное допущение считается возможным, т.к. в соответствии с разделом «Ожидаемые сдвижения и деформации от нескольких выработок» методики [СНиП 2.06.15-85], – «Расчет сдвижений и деформаций от нескольких выработок выполняется путем алгебраического сложения сдвижений и деформаций от каждой выработки при выполнении одного из следующих условий...»; «В остальных случаях, а также при бесцеликовых способах разработки по горизонтам свит пластов независимо от разрыва во времени между прохождением смежных выработок, расчеты сдвижений и деформаций выполняются последовательно от одной, двух и т.д. выработок суммарной площади.».

Исходные данные для расчета: угол наклона пласта, $\alpha = 7^\circ$; длина лавы, $D = 400$ м; мощность пласта, $m = 2$ м; средняя глубина ведения горных работ $H_{cp} = 100$ м (коэффициент $N_1 = 1,0$, коэффициент $N_2 = 1,0$), $H_{cp} = 300$ м (коэффициент $N_1 = 1,0$, коэффициент $N_2 = 1,0$), $H_{cp} = 600$ м (коэффициент $N_1 = 0,66$, коэффициент $N_2 = 0,66$).

Используя вышеприведенные данные, рассчитаем максимальное оседание (центр мульды, $Z = 0$), наклон (центр каждой полумульды $Z = 0,5$) и кривизну земной поверхности (координата варьируется) подземной выработки для нескольких видов закладочного материала.

Таблица 2.

Максимальное оседание (м); наклон и кривизна (1/м) земной поверхности

Описание закладочного материала	Глубина ГР, м	m, м	η_{\max} , м	$i_{\max} * 10^3$	$K_{\max} * 10^4$, 1/м
Без закладки	100	2,0	1,59	15,09	3,30
	300	2,0	1,59	20,65	4,37
	600	2,0	1,05	13,63	2,88
Дробленые породы Кузнецкой свиты класса 0-80 мм	100	0,48	0,38	3,60	0,79
	300	0,70	0,56	7,23	1,53
	600	0,81	0,42	5,51	1,17
Дробленые горелые породы и дробленые песчаники класса 0-10 мм, дробленые горелые породы класса 0-10 мм (50%) и дробленые породы Кузнецкой свиты класса 0-80 мм (50%)	100	0,24	0,19	1,83	0,40
	300	0,36	0,29	3,73	0,79
	600	0,48	0,25	3,25	0,69
Песок, бийский, песок (50%), дробленые породы Кузнецкой свиты класса 0-60 мм (50%), песок ижморский, глинистых частиц 2-12%	100	0,12	0,1	0,93	0,20
	300	0,20	0,16	2,02	0,43
	600	0,24	0,13	1,66	0,35
Упрочненная закладка	100	0,03	0,02	0,19	0,04
	300	0,08	0,06	0,76	0,16
	600	0,12	0,06	0,84	0,18

Так как при расчете ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности во всех сечениях мульды используется одни и те же безразмерные функции ($S(z)$, $S'(z)$, $S''(z)$) типовых кривых оседания, наклонов и кривизны, определяемые по таблицам для соответствующих бассейнов (месторождений) в зависимости от коэффициентов N_1 и N_2 , то соответственно нет смысла рассчитывать все основные точки сечения мульды.

Зона влияния выработанного пространства на земную поверхность, согласно методике [ПБ 07-269-98], определяется граничными углами (или углами сдвижения), которые в свою очередь являются табличными и зависят от угла падения пласта, глубины ведения горных работ и от соответствующего угольного бассейна, но никак не от мощности выработанного пространства. Таким образом зона влияния будет одинаковой при любой мощности выработанного пространства (то есть вне зависимости от применения технологии закладки выработанного пространства), однако оседание, наклоны и кривизна земной поверхности будут отличаться по своим абсолютным значениям, которые и будут сравниваться.

Таблица 3.

Линейные границы зоны влияния выработанного пространства на земную поверхность (Кузнецкий угольный бассейн, угол наклона пласта, $\alpha = 7^\circ$; длина выработки, $D = 400$ м; граничные углы: $\beta = 64,4^\circ$; $\gamma = 70^\circ$; $\theta = 86,5^\circ$)

Глубина горных работ, м	Полумульда по падению, м	Полумульда по восстанию, м	Мульда сдвижения, м
100	252	232	484
300	336	317	652
600	461	445	905

Таким образом, мы видим насколько обширно негативное влияние сдвижений и деформаций земной поверхности – они сказываются на социально-экономическом состоянии промышленного района и сильно воздействуют на окружающие их компоненты окружающей природной среды [Коликов и др., 2016; Маневич и др., 2017; Шпаков и др., 2016; Писарев и др., 2016; Ческидов, 2011; Батугин и Алферова, 2011] в то же время следует подчеркнуть важность комплексного моделирования напряженно-деформированного состояния геологической среды, для угольных месторождений [Хорошилова и Тараканов, 2007].

Выводы

В работе была проведена классификация различных негативных воздействия на земную поверхность при подземной разработке. Расчет зоны влияния выработанного пространства на земную поверхность, согласно методики [ПБ 07-269-98], позволил оценить изменение размеров зон влияния подземных разработок на земную поверхность с применением технологии закладки выработанного пространства и без.

На основании нормативных документов и расчета приходим к выводу, что закладка выработанного пространства позволяет значительно уменьшить негативное влияние подземных горных разработок на угольных месторождениях на окружающую среду.

Литература

- Батугин А. С., А. С. Алферова, Геодинамическая опасность как разновидность экологической опасности, Экология, метанобезопасность, №8, 2011, С. 297-304.
- Викторов С. Д., М. А. Иофис, С. А. Гончаров, Сдвижение и разрушение горных пород, 2005, С. 277.
- Коликов К. С., С. Г. Никитин, А. И. Маневич, Аналитическая оценка прогноза метанообильности, рекомендуемого нормативными документами, Безопасность труда в промышленности, №8, 2016, С. 34-39.

Маневич А. И., В. А. Макаров, П. Н. Пащенко, Перспективы математического моделирования как составной части геомеханического мониторинга на шахтах с целью повышения эффективности управления газовыделением, Горный информационно-аналитический бюллетень, №6, 2017, С. 91 – 100.

Петухов И. М., А. М. Линьков, И. А. Фельдман, В. П. Кузнецов, В. В. Тетеревенков, Защитные пласты, 1972, С. 423.

Писарев С. А., Д. С. Куренков, Т. Я. Малышева, Особенности поведения магнетитовых руд Ковдорского месторождения в аглопроцессе, Известия ВУЗов. Черная металлургия, № 5, 2016, С. 354-356.

Татаринов В. Н., Е. Г. Бугаев, Т. А. Татарина, К оценке деформаций земной поверхности по данным спутниковых наблюдений, Горный журнал, №10, 2015, С. 27-32. DOI: [dx.doi.org/10.17580/gzh.2015.10.05](https://doi.org/10.17580/gzh.2015.10.05).

Черняк И. Л., С. А. Ярунин, Управление состоянием массива горных пород, 1995, С. 395.

Хорошилова Л. С., А. В. Тараканов, Проблемы нарушенных земель в Кузбассе и их пути решения, Вестник Кузбасского государственного технического университета, № 2, 2007.

Ческидов В. В. Перспективы использования САПР при инженерно-геологических изысканиях на открытых горных разработках, Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), № 11, 2011, С. 355-361.

Шпаков П. С., А. Г. Урузбиева, А. И. Маневич, Инженерно-геологический и геоэкологический мониторинг состояния сложных объектов горнодобывающего комплекса, Горный информационно-аналитический бюллетень, №8, 2016, С. 406 – 413.

Приложения

ГОСТ 17.5.3.04-83 «Охрана природы. Земли. Общие требования к рекультивации земель».

ГОСТ 31937-2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния.

ПБ 07-269-98 «Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях».

СНиП 2.01.09-91 «Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах».

СНиП 2.06.15-85 Инженерная защита территорий от затопления и подтопления;

ПРИМЕНЕНИЕ ОНТОЛОГИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ УЧАСТКОВ ЗЕМНОЙ
КОРЫ В РАЙОНАХ РАЗМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ
ЭНЕРГИИ

В. А. Пятыгин, В. Н. Морозов, В. Н. Татаринов

Геофизический центр РАН

v.pyatygin@gcras.ru

Аннотация

Представленная методика использования онтологии при оценке устойчивости земной коры при выборе мест размещения объектов использования атомной энергии. Она позволяет ранжировать участки земной коры по степени для размещения экологически опасных объектов на основе системного анализа комплекса природно-техногенных факторов. Наличие стандартизированного словаря концептов предметной области упрощает общение между экспертом и инженером знаний при проектировании базы знаний и создает дополнительную возможность контроля противоречий для сущностей базы знаний, упрощая контроль конфликтов в базе знаний.

Ключевые слова: онтология, объекты использования атомной энергии, геологическая среда, устойчивость, базы знаний

Объекты использования атомной энергии (ОИАЭ) являются потенциальными источниками радиационной опасности. Особую экологическую опасность представляют находящиеся на длительном хранении радиоактивные отходы (РАО), содержащие долгоживущие радионуклиды с периодом радиобиологической опасности 10 тыс. и более лет. Обеспечение безопасности таких объектов носит уникальный характер, так как они располагаются в самых разнообразных геологических и сейсмотектонических условиях практически на всей территории страны [Морозов и Татаринов, 1996; Татаринов, 2006; Morozov and Tatarinov, 2006, Морозов и др., 2001]. Важнейшая особенность ОИАЭ заключается в том, что они имеют длительный срок эксплуатации: 30-100 лет (срок службы реактора АЭС), более 300 лет (хранилища РАО), более 10 тыс. лет (объекты захоронения высокоактивных РАО). Для столь длительных сроков эксплуатации ошибки в оценке геодинамического режима территории существенно возрастают. Данные о

геологической среде как системе, находящейся в поле действия других природных и техногенных систем, где все параметры взаимосвязаны и влияют друг на друга, характеризуются недостаточностью и неопределенностью и часто не позволяют принять альтернативное решение при выборе наиболее безопасного участка для строительства объекта ОИАЭ. Так, например, прогноз землетрясений, выполняемый при выборе мест размещения АЭС с вероятностью не превышения установленной балльности, рассчитывается только на период 10 тыс. лет (карта ОСР-97D), и нельзя напрямую распространить этот опыт на объекты, имеющих время жизни сотни тысяч лет. Прогноз геодинамической опасности мест размещения ОИАЭ основан на экстраполяции закономерностей поведения геологической среды, выявленных в предшествующие периоды времени. Поэтому возникает вопрос – насколько далеко можно экстраполировать наши наблюдения за геодинамическим режимом отдельных территорий (составляющие десятки лет, в отдельных случаях сотни лет) [Morozov, et. al., 2012; Морозов и др., 1999]. Для преодоления этой неопределённости наиболее конструктивным является использование системного анализа, которые позволяют в условиях информационной неопределённости принимать долгосрочные прогнозы, используя фундаментальные геологические закономерности как единственные критерии и гарантии достоверности. В этой связи полезным будет использование при анализе разноплановых массивов исходных данных онтологии как формы представления знаний о геологической среде.

Современные базы знаний работают совместно с системами поиска и извлечения информации. Для этого требуется модель классификации понятий и определённый формат представления знаний. Иерархический способ представления в базе знаний набора понятий и их отношений и называется **онтологией**, а онтологии некоторой области знаний вместе со сведениями о свойствах конкретных объектов часто называют «базами знаний»

Термин «онтология» используется в различных областях знания и имеет два различных значения [Пятыгин и др., 2011]: В философии «онтология» - это наука, изучающая бытие, а «онтология» в инженерии – это отображение бытия в формализованном виде. Онтология определяет общий словарь для тех, кому нужно совместно использовать информацию в предметной области. С точки зрения информационных технологий онтология включает машинно-интерпретируемые формулировки основных понятий предметной области и отношения между ними. В современных информационных технологиях наиболее часто упоминается и используется определение онтологии, как спецификация концептуализации. Стоит пояснить, что под «концептуализацией» понимается строгое описание системы понятий, объектов и других

сущностей и отношений, связывающих их друг с другом. Основная часть формально представленного знания базируется на концептуализации, каждая база знаний или система, основанная на знаниях, явно или неявно связывается с какой-то концептуализацией. В рамках искусственного интеллекта в качестве синонима онтологии часто используется понятие «терминология». В онтологию включаются и ограничения, накладываемые на отношения в рамках данной области. Это некоторый набор аксиом, который строится на базе понятий и отношений между ними. В общем виде структура онтологии представляет собой набор элементов четырех категорий: *понятия; отношения; аксиомы; отдельные экземпляры*.

Понятия рассматриваются как концептуализация класса всех представителей некой сущности или явления. Классы (или понятия) являются общими категориями, которые могут быть упорядочены иерархически. Каждый класс описывает группу индивидуальных сущностей, которые объединены на основании наличия общих свойств.

Понятия могут быть связаны различного рода отношениями, которые объединяют воедино классы и описывают их. Самым распространенным типом отношений, использующимся во всех онтологиях, является отношение категоризации, то есть отнесение к определенной категории.

Аксиомы задают условия соотнесения категорий и отношений, они выражают очевидные утверждения, связывающие понятия и отношения. Под аксиомой можно понимать утверждение, вводимое в онтологию в готовом виде, из которого могут быть выведены другие утверждения. Они позволяют выразить ту информацию, которая не может быть отражена в онтологии посредством построения иерархии понятий и установки различных отношений между понятиями. Аксиомы позволяют в дальнейшем осуществлять умозаключения в рамках онтологии.

Экземпляры – это отдельные представители класса сущностей или явлений, то есть конкретные элементы какой-либо категории

Составляющие онтологии подчиняются своеобразной иерархии. На нижнем уровне этой иерархической лестницы находятся экземпляры, конкретные индивиды, выше идут понятия, то есть категории. На уровень выше располагаются отношения между этими понятиями, а обобщающей и связующей является ступень правил или аксиом.

Формально онтология определяется как:

$$O \leq X, R, F,$$

где X – конечное множество понятий предметной области; R – конечное множество отношений между понятиями; F – конечное множество элементов

При $X = 0$ и $R = 0$ онтология трансформируется в простой словарь.

Использование онтологии позволяет преодолеть традиционные недостатки при экспертной оценке и создании экспертных систем [Морозов и Татаринов, 1996; Морозов и др., 1992; Гвишиани и др., 2008]. Наличие стандартизированного словаря концептов предметной области упрощает общение между экспертом и инженером знаний при проектировании базы знаний. Онтология как концептуальная схема предметной области поможет глубже анализировать поставленные задачи, принимать более точные решения, а иногда отвечать на принципиально новые вопросы и создает дополнительную возможность контроля противоречий для сущностей базы знаний, упрощая контроль конфликтов в базе знаний.

Для создания онтологии предметной области проводится экспертиза соответствующих информационных ресурсов, при этом формально определяются основные термины которыми будет описана выбранная предметная область. Эти определения должны быть собраны с учетом возможности их представления на общем языке, выбранном для описания онтологии.

Рассмотрим построение онтологии предметной области для выбора участков земной коры при размещении экологически опасных объектов. Существующие в настоящее время общие подходы к выбору участков для размещения экологически опасных объектов основаны на рассмотрении блоков земной коры, расположенных в тектонически слабоактивных районах, обладающих малой проницаемостью, тектонической активностью и сейсмичностью [Морозов и Татаринов, 1996; Татаринов, 2006; Татаринов и др., 2014]. В качестве критериев оценки используются описательные характеристики массива (геологический тип пород, морфология и мощность толщи водоупоров, глубина их залегания и т. д.). Рассматриваются также участки, расположенные только в пределах щитов, платформ и в орогенных зонах на глубинах 500—1000 м [Морозов и Татаринов, 2008]. При этом в большинстве случаев при региональном выборе мест размещения экологически опасных отходов не учитывается такое важное свойство геологической среды, как неоднородность распределения свойств и протекающих в ней процессов.

Используемое в работах понятие «стабильность структурно-тектонических блоков» близко к общеизвестному определению устойчивости геологической среды. Так, в сформулированном в работе [Морозов и Татаринов, 1996] определении говорится, что это способность под влиянием техногенного воздействия определенного типа и интенсивности сохранять неизменным состав, структуру и состояние или изменять их в таких пределах, - которые не приводят к вредным экологическим последствиям. В понятии «стабильность структурно-тектонического блока подразумевается и сохранение устойчивости свойств, состояния и процессов не только под воздействием техногенного

воздействия, но и при действии внутренних и внешних природных факторов [Морозов и др., 1992]. Для размещения радиоактивных отходов (РАО), из массы природных факторов были выбраны те, от которых зависят изоляционные свойства пород, гидрогеологические и тектонические процессы и с которыми связана динамика распространения радионуклидов и деструкция массива. Каждый фактор (F)-характеризует некоторое свойство, состояние или параметры процесса в конкретном структурном блоке и является статистической характеристикой.

Факторы оценки земной коры, влияющие на стабильность структурно-тектонических блоков при размещении радиоактивных отходов [Морозов и Татаринов, 1996; Татаринов и Татаринова, 2012; Татаринов и др., 2016]:

1. Геологический тип пород основной площади (тип: 1, 2, 3);
2. Плотность региональных разломов, [$1/\text{км}^2$];
3. Мощность региональных водоупоров [м];
4. Мощность консолидированной земной коры, [км];
5. Тип геодинамической системы, [ед.];
6. Мощность коры выветривания,[м];
7. Глубина залегания поверхности фундамента, [км];
8. Глубина аномалии силы тяжести, [мГал];
9. Глубина поверхности Махо, [км];
10. Петроплотностная характеристика пород, [$\text{г}/\text{см}^3$];
11. Средняя высота над уровнем моря, [м];
12. Плоскостная дифференциация мантийно-корковых блоков, [ед];
13. Интенсивность вероятных землетрясений по шкале VSK-64
14. Повторяемость землетрясений, [раз/100 лет];
15. Амплитуда вертикальных неотектонических движений, [м];
16. Градиент скорости вертикальных неотектонических движений, [10 мм/мм год];
17. Уровень естественных напряжений, [МПа];
18. Плотность населения, [чел/км²];
19. Наличие охранных объектов (да, нет);
20. Количество осадков[мм/м²];
21. Средний годовой подземный сток, [мм];
22. Среднемноголетняя величина подземного стока, [%];
23. Водопроницаемость, [(1 км м)/сут];
24. Среднегодовой поверхностный сток рек, [л/(с км²)];
25. Максимальный модуль дождевого стока, [м³/(с км²)];

26. Геотермический градиент, [$^{\circ}\text{C}/1000\text{ м}$];

27. Тепловой поток, [$\text{Вт}/\text{м}^2$].

Выбранные факторы оценки структурно-тектонического блока земной коры разобьём на три группы: 1 - оценка свойств геолого-структурного блока; 2- оценка внешнего воздействия на блок; 3 - оценка процессов в блоке.

Диапазон изменений значений фактора F_n разобьём на три интервала (класса). Граничные интервальные значения фактора F_n устанавливаются на основе экспертной оценки и являются критериями отнесения, рассчитанного среднего значения $F_{n_{cp}}$ по анализируемому участку в 1, 2 или 3 интервал. Если $F_{n_{cp}}$ попадает в первый интервал, то считаем, что по данному фактору участок неблагоприятен для размещения отходов РАО, во второй — участок удовлетворяет требованиям с некоторыми дополнительными условиями, в третий — благоприятен.

Таблица 1

Факторы оценки рейтинга структурно-тектонических блоков земной коры

№ п/п	Название	Единица измерения	Пределы изменения	Рекомендуемые значения для отнесения в группу:			Цена фактора, C_n
				1 (1 балл)	2 (2 балла)	3 (3 балла)	
1	2	3	4	5	6	7	8
1.Оценка свойств геолого-структурного блока							
1	Геологический тип пород, занимающий основную площадь	тип	1-3	1	2	3	1,0
2*	Плотность региональных разломов	1/км ²	-	≥ 13	6-13	≤ 6	0,6
3*	Плотностная дифференциация мантийно-коровых блоков (N-норма)	усл.ед	N-2E - N+2E	$< N-1,5E$	N-E-N-1,5E	$> N-E$	0,3
4	Мощность региональных водоупоров	м	0-2000	≤ 50	50-100	≥ 100	0,5
5*	Мощность консолидированной земной коры	км	10-50	≤ 25	25-42	≥ 42	0,3
6	Геодинамическая система	тип	1-3	1	2	3	0,5
7	Мощность коры выветривания	м	0-300	≥ 100	50-100	≤ 50	0,5
8*	Глубина залегания поверхности фундамента	км	0-(-10)	$\leq (-3)$	(-1)-(-3)	$\geq (-1)$	0,3

9*	Глубинные аномалии силы тяжести	мГал	(-100)-150	≥ 100	50-100	(-100)-50	0,3
10*	Глубина поверхности Мохо	км	(-20)-(-70)	$\geq (-35)$	(-35)-(-40)	$\leq (-40)$	0,2
11*	Петроплотностная характеристика пород	г/см ³	1,9-3,0	$\leq 2,25$	2,25-2,70	$\geq 2,70$	0,4
12*	Средняя высота над уровнем моря	м	0-8000	≥ 2500	0-100, 1600-2500	100-1600	0,4

2. Оценка внешнего воздействия на блок

13	Интенсивность вероятных землетрясений	баллы (шкала MSK-64)	0-9	≥ 7	5-7	≤ 5	0,4
14	Повторяемость землетрясений	раз/100 лет	> 0	≥ 1	1-0,01	$\leq 0,01$	0,3
15*	Амплитуда вертикальных неотектонических движений	м	(-7000)-7000	> 5000	(-500)-0, 500-5000	0-500	0,5
16*	Градиент скорости вертикальных неотектонических движений	10 мм/мм год	(-2000)-800	≥ 1500	800-1500, $< (200)$	(-200)-800	0,4
17	Уровень естественных напряжений	МПа	0-70	≥ 40	20-40	≤ 20	0,5
18	Плотность населения	чел/км ²	0-150	≥ 10	1-10	≤ 1	0,4
19	Наличие охранных объектов	да, нет	-	да	да	нет	0,2
20	Количество осадков	мм/м ²	0 - > 2000	≥ 800	500-800	0-500	0,2

3. Оценка процессов в блоке

21	Средний годовой подземный сток	мм	0-200	≥ 1500	800-1500	≤ 800	0,3
22	Среднемноголетняя величина подземного стока	%	0-60	≥ 50	40-50	≤ 40	0,3
23	Водопроницаемость	(1 км м)/сут	0-1500	≥ 1000	200-1000	≤ 200	0,5
24	Средний годовой поверхностный сток рек	л/(с км ²)	0-35	≥ 25	20-25	≤ 20	0,4
25	Максимальный модуль дождевого стока	м ³ /(с км ²)	0-3,5	$\leq 2,5$	2,0-2,5	$\leq 2,0$	0,2

26*	Геотермический градиент	$C^0/1000\text{м}$	5-70	≤ 50	30-50	≤ 30	0,2
27*	Тепловой поток	Вт/ м^2	10-70	≥ 50	40-50	≤ 40	0,2

* - параметры для которых использованы оцифрованные карты

Если параметры всех факторов попадают в третий класс, то данный участок с вероятностью 1 или 100% - пригоден для размещения экологически опасного объекта. Теоретически такой участок можно взять за эталон при выборе реального участка.

Несмотря на то, что качественные геологические характеристики являются объективными и прошли апробацию специалистами, без численных критериев оценки свойств и стабильности структурно-тектонических блоков и компьютерных технологий, позволяющих быстро проанализировать большое количество вариантов и выбрать экологически наиболее безопасный участок, трудно решить поставленную задачу. В настоящее время существуют различные подходы и методики к выбору участков для размещения экологически опасных объектов и не всегда дающих идентичный результат оценки. Применение онтологии позволяет устранить этот недостаток. Рассмотрим интеграцию онтологии в экспертную систему [Пятыгин и др., 2011] (рис. 1).

Классы и экземпляры онтологии переносятся в среду ЭС. Как правило, они отображаются на классы и экземпляры [языка программирования, на котором реализуется ЭС. Аксиомы, построенные на этапе создания онтологии, отражаются частично в структуре классов среды программирования ЭС, а частично в правила ЭС. После выполнения каждого правила, которое изменяет, удаляет или добавляет факты, в онтологии происходит контроль противоречий, что будет защищать ее от вхождения в противоречивое состояние.

Во время выполнения ЭС, перед каждой попыткой изменить базу знаний, будет консультироваться с метаданными, которые хранятся в онтологии, на непротиворечивость. В случае выявления конфликтов, изменения не происходят. Предлагаемая архитектура онтологической ЭС приведена на рис. 1.



Рис. 1.

При наличии формального описания предметного домена в ЭС упрощается модификация и пополнение БЗ. Так как онтологии неплохо изучены, инженеры знаний могут использовать стандартные языки для описания онтологий. для редактирования базы знаний и логического вывода

По нашему мнению, на данном этапе исследований, на котором, как уже отмечено, анализируются различные параметры в довольно мелком масштабе, экспертная оценка стабильности геологических формаций является наиболее понятной для принятия решения о выборе региональных геологических блоков [Морозов и др., 2008; Морозов и Маневич, 2016].

Учитывая вероятностный характер оценки состояния выбираемого участка, для выбора участка можно применить байесовский подход, отличительной особенностью которого является способность к целенаправленным «осознанным» действиям в условиях неполных и неточных данных.

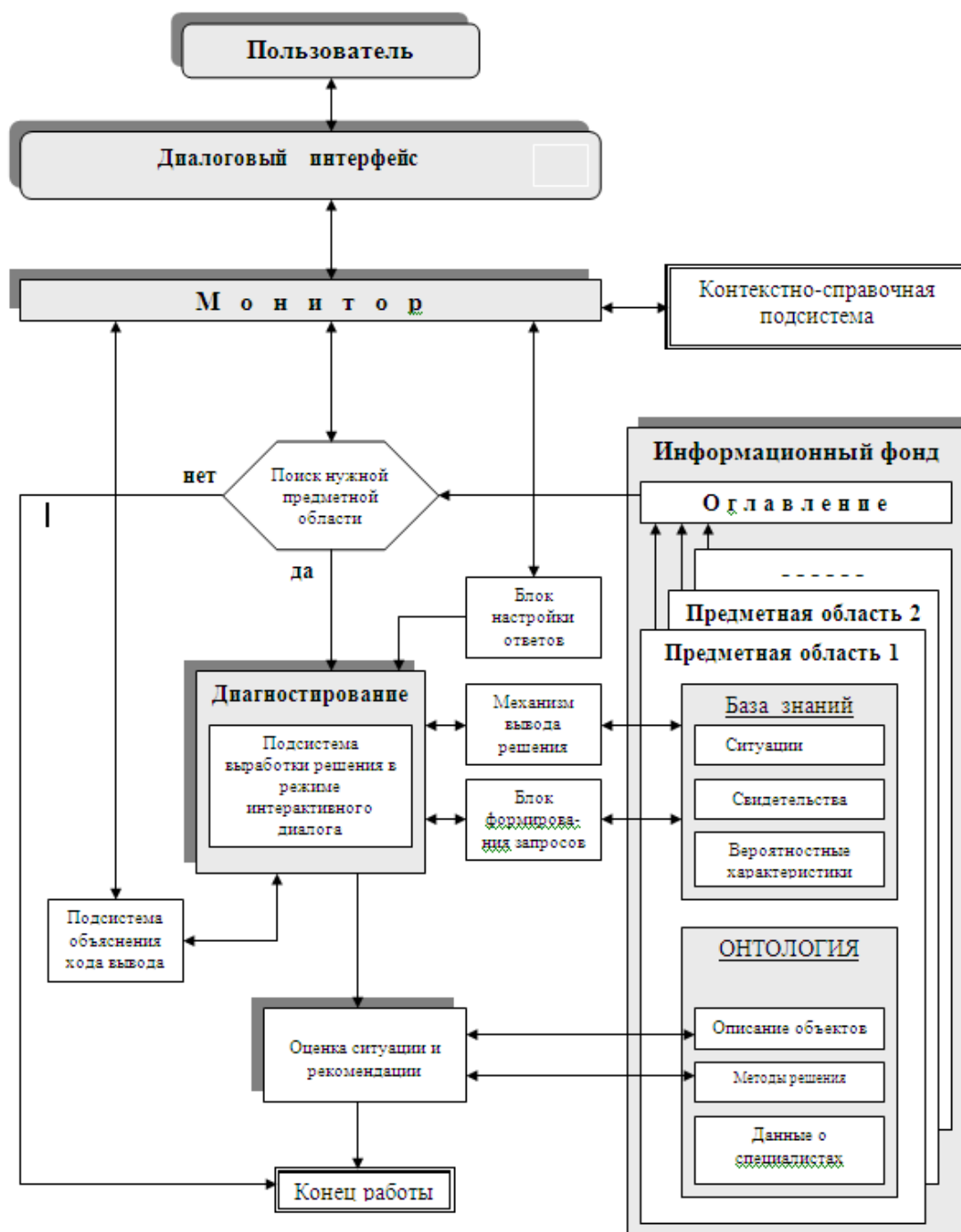


Рис. 2. Структура онтологической ЭС.

Как и при всяком вероятностном моделировании, теория Байеса основана на предположении, что для любой гипотезы H (состояние блока) всегда имеется отличная от нуля априорная вероятность $P(H)$ того, что данная гипотеза истинна.

Тогда с помощью теоремы Байеса может быть получено соотношение для определения условной вероятности осуществления каждой из входящих в перечень диагностируемых ситуаций (гипотез H) при наличии свидетельства (фактора F) :

$$P(H/F) = \frac{P(H) * P(F/H)}{P(H) * P(F/H) + P(F/\bar{H}) * (1 - P(H))} \quad (1)$$

где $P(F/H)$ - вероятность наличия свидетельства F при осуществлении гипотезы H ;
 $P(F/\bar{H})$ – вероятность наличия свидетельства F , когда гипотеза H не реализуется

Выражение (1) является точным, если известно $P(F/\bar{H})$, а это значение не всегда может быть точно известно. В качестве выхода из этого затруднения можно использовать общую формулу для вероятности некоторого свидетельства

$$P(F) = \sum_i P(F/H_i) * P(H_i) \quad (2)$$

с учетом того, что знаменатель формулы (1) является частным случаем этого выражения.

Элементы (факторы) - из массы природных факторов были выбраны те, от которых зависят изоляционные свойства пород, гидрогеологические и тектонические процессы и с которыми связана динамика распространения радионуклидов и деструкция массива. На первом этапе на основе независимого опроса группы экспертов определяются перечень решаемых задач (ситуаций) в выбранной предметной области и перечень характеризующих их признаков (факторов). На втором этапе для каждой гипотезы определяются условные вероятности $P(F_j/H_i)$ наблюдаемости имеющих к ней отношение свидетельств при условии ее осуществления. При этом особое внимание необходимо уделять наиболее характерным (уникальным) факторам. Для создания базы знаний ЭС разработана специальная таблица (табл. 2), в которую в верхнюю часть заносится перечень диагностируемых ситуаций, а набор используемых свидетельств (F) заносится в левую колонку. Далее экспертным путем определяются априорные вероятности $P(A_i)$ - факторы осуществления каждой из гипотез. Обязательным условием является равенство единице их суммы.

Рассматриваются следующие критерии оценки категории выбранного района:

- неблагоприятный район;
- переходный район;
- благоприятный район;
- неопределённый район.

Таблица 2.

№ п/ п	Гипотезы (Н) (ситуации)	Гип. 1	Гип. 2	Гип. 3	Гип. 4	Гип. j	...	Гип.24
	Свидетельства (F)	А п р и о р н ы е в е р о я т н о с т и – $P(A_j)$						
		$P(A_1)$	$P(A_2)$	$P(A_3)$	$P(A_4)$	$P(A_j)$...	$P(A_{24})$
1	Свид. 1	$P(F_1:H_1)$		$P(F_1:H_3)$				$P(F_1:H_{24})$
2	Свид. 2		$P(F_2:H_2)$					
i	Свид. i	$P(F_i:H_1)$	$P(F_i:H_2)$			$P(F_i:H_j)$		$P(F_i:H_{24})$
...	...							
60	Свид. 60	$P(F_{60}:H_1)$	$P(F_{60}:H_2)$			$P(F_{60}:H_j)$		$P(F_{60}:H_{24})$

$P(F_i:H_j)$ – вероятность наличия свидетельства F при осуществлении гипотезы H . $P(A_j)$ – априорная вероятность диагностируемой ситуации

Организация знаний в системе представлена 4-х уровневой моделью. Выделяются уровни гипотез, свидетельств, фактов и запросов.

Уровень гипотез содержит множество конечных состояний (перечень диагностируемых ситуаций). До начала консультаций каждой из гипотез поставлены в соответствие априорные вероятности, которые в процессе консультации изменяются в зависимости от информации, сообщаемой пользователем.

Уровень свидетельств – это множество характерных признаков анализируемой ситуации, определяемое экспертным путем. Каждому свидетельству ставится в соответствие число, имеющее смысл условной вероятности наличия данного свидетельства при условии осуществления соответствующей гипотезы.

Уровень фактов – это множество имеющихся в распоряжении пользователя признаков, информация о которых сообщается системе в процессе консультации.

Уровень запросов предназначен для организации взаимодействия системы с пользователем. Запрос организуется в виде последовательности шагов, на каждом из которых пользователь должен ответить на предложенный системой вопрос. Ответ строится по принципу выбора одного варианта из группы возможных.

Для оценки ситуации используется следующая логика.

Если для имеющейся совокупности гипотез, свидетельств и фактов система получила наиболее вероятный результат, то именно он принимается в качестве решения, причем с высокой степенью уверенности в полученном результате.

Если наиболее вероятный результат отсутствует, но есть вероятные заключения, то в качестве решения принимается наилучшая из возможных гипотез. При этом обращается внимание на предположительный характер полученной оценки, а при определенных условиях предлагается и альтернативное решение.

Если при использовании всех имеющихся свидетельств система оценила все гипотезы как маловероятные или неправдоподобные, то решение считается не найденным то есть, состояние участка не входит в перечень гипотез рассматриваемой предметной области.

Выводы

1. В настоящее время существует объективная необходимость анализа большого объема данных, характеризующих свойства, состояние и процессы в земной коре для принятия решения о состоянии пригодности конкретных участков для размещения экологически опасных объектов.

2. Использование онтологии позволяет преодолеть традиционные недостатки ЭС. Наличие стандартизированного словаря концептов предметной области упрощает общение между экспертом и инженером знаний при проектировании базы знаний и создает дополнительную возможность контроля противоречий для сущностей базы знаний, упрощая контроль конфликтов в базе знаний.

3. Представленная в работе методика позволяет ранжировать участки земной коры по степени для размещения экологически опасных объектов на основе системного анализа ряда природных факторов.

4. В дальнейшем необходимо более строгое обоснование статистических положений методики и расширение факторов оценки как природного, так и техногенного характера.

Литература

- Гвишиани А. Д., С. В. Белов, С. М. Агаян, М. В. Родкин, В. Н. Морозов, В. Н. Татаринцев, Ш. Р. Богоутдинов, Методы искусственного интеллекта при оценке тектонической стабильности Нижнеканского массива, Инженерная экология, № 2, 2008, С. 3-14.*
- Гильовец Н. Н., Д. С. Красиков, Интеллектуализация экспертных систем с помощью онтологии, Problems of Computer Intellectualization, 2008.*

- Митрофанова О. А.*, Онтологии как системы хранения знаний, Всероссийский конкурсный отбор обзорно-аналитических статей по приоритетному направлению «Информационно-телекоммуникационные системы», 2008, С. 54.
- Морозов В. Н., С. В. Белов, М. Ю. Колесников, В. Н. Татаринов, Т. А. Татарина*, Возможности геодинамического районирования при выборе мест подземной изоляции высокоактивных радиоактивных отходов на примере Нижнеканского массива, Инженерная экология, №5, 2008, С. 17-25.
- Морозов В. Н., А. П. Бирюков, В. П. Моисеев*, Оценка рейтинга структурного блока земной коры при захоронении отверждённых РАО, Радиоактивные отходы - проблемы и решения, Ч. 2, 1992, С. 373-380.
- Морозов В. Н., Т. А. Гупало, В. Н. Татаринов*, Прогноз изоляционных свойств породного массива при размещении радиоактивных материалов в горных выработках, Горный вестник, №6, 1999, С.99-105.
- Морозов В. Н., А. И. Маневич*, Моделирование напряженно-деформированного состояния эпицентрального района землетрясения 26.01.2001 г., М=6.9 (Индия), Геофизические исследования, Т. 17, № 4, 2016, С. 23-36. DOI: 10.21455/gr2016.4-2
- Морозов В. Н., М. В. Родкин, В. Н. Татаринов*, К проблеме геодинамической безопасности объектов ядерно-топливного цикла, Геоэкология, №3, 2001, С. 227-238.
- Морозов В. Н., В. Н. Татаринов*, Прогнозирование устойчивости геологической среды при выборе мест размещения и эксплуатации объектов ядерного топливного цикла, Инженерная экология, №5, 2008, С.10-16.
- Морозов В. Н., В. Н. Татаринов*, Методика выбора участков земной коры для размещения экологически опасных отходов, Геоэкология, №6, 1996.
- Пятыгин В. А., В. Н. Татаринов, О. О. Пятыгина*, Экспертная система оценки участков земной коры для размещения экологически опасных отходов, № 5, 2014.
- Татаринов В. Н.*, Геодинамическая безопасность на объектах ядерного топливного цикла, Использование и охрана природных ресурсов в России, №1 (85), 2006, С. 46-51.
- Татаринов В. Н., В. И. Кафтан, И. Н. Сеелев*, Изучение современной геодинамики Нижне-Канского массива для безопасного захоронения радиоактивных отходов, Атомная энергия, Т.121, №3, 2016, С. 157-160.
- Татаринов В. Н., В. Н. Морозов, И. Ю. Колесников, А. И. Каган, Т. А. Татарина*, Устойчивость геологической среды как основа безопасной подземной изоляции

радиоактивных отходов и отработавшего ядерного топлива, Надежность и безопасность энергетики, № 1(24), 2014, С. 25-29.

Татаринов В. Н., Т. А. Татаринова, Учет масштабного эффекта при наблюдениях за деформациями земной поверхности спутниковыми навигационными системами, Маркшейдерский вестник, №5, 2012, С.15-19.

Morozov V. N., V. N. Tatarinov, International Nuclear Energy science and Technology, Vol. 2, № 1/2, 2006, pp. 65-74. DOI: 10.1504/IJNEST.2006.010648.

Morozov V. N., I. Yu. Kolesnikov, V. N. Tatarinov, Water Resources, Vol. 39, № 7, 2012, pp. 756–769. <http://link.springer.com/journal/11268#page-1>. DOI:10.1134/S009780781207007X.

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗА СОВРЕМЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ

А. И. Маневич, В. Н. Татаринов

Геофизический центр РАН, г. Москва

ai.manevich@yandex.ru

Аннотация

Представлены первые результаты использования искусственных нейронных сетей для прогноза скоростей современных движений и деформаций земной коры определяемых по данным мониторинга с использованием глобальных навигационных спутниковых систем. Тестовые расчеты показали, что абсолютные ошибки прогноза методом обратных расстояний и кригинга выше ошибки с использованием нейронных сетей практически в 4 раза. Применение метода позволит уменьшить промышленные и экологические риски объектов находящихся в сложных горно-геологических условиях.

Ключевые слова: современные движения земной коры, СДЗК, искусственные нейронные сети, смещения, деформации, мониторинг, экологическая безопасность.

При проектировании, строительстве и эксплуатации опасных производственных объектов (ОПО) и объектов гражданского строительства, находящихся в сложных горно-геологических условиях, особое внимание уделяется их промышленной и экологической безопасности [Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ]. Обязательными являются исследования современных деформаций и движений земной коры на промышленных и строительных площадках объектов атомной энергетики, гидротехнических сооружений, горных работ, оползнеопасных и сейсмических районах [Федеральный закон от 21.07.1997 № 117-ФЗ; Приказ Ростехнадзора от 24.01.2013 №25; Приказ МПР РФ от 21.05.2001 № 433; Постановление Госгортехнадзора РФ от 30.05.2003 №45; Постановление Госгортехнадзора России от 16.03.1998 №13; Приказ Ростехнадзора от 06.11.2013 №520; Постановление Госатомнадзора РФ от 31.12.2003 №11 НП-050-03; Постановление Госатомнадзора РФ от 31.12.2003 №11 НП-050-03; Постановление Госатомнадзора РФ от 28.12.2001 №16; СП 14.13330.2014; СП 116.13330.2012; Батугин,

2009]. Современные движения земной коры (СДЗК) во многом определяют геодинамическую обстановку исследуемого района [Бондарик, 2008] и позволяют определить инженерные критерии безопасности эксплуатации предприятия. Для мониторинга скоростей СДЗК на геодинамических полигонах, промышленных и строительных площадках применяются GPS/ГЛОНАСС-технологии, геодезическая и маркшейдерская съемки. По данным инструментальных исследований проводится линейная (вдоль профильных линий) или площадная интерполяция компонент смещений и деформаций пунктов наблюдений на основе уже известных математических подходов (способ нахождения промежуточных значений величины по имеющемуся дискретному набору известных значений) – усреднение векторов смещений, интерполяция полиномами, тригонометрическая интерполяция, методы кригинга и др.

При интерполяции (прогнозе) смещений в плане, необходимо понимать, что расчетное поле смещений содержит в себе неопределённости обусловленные погрешностями измерений, ошибками аппаратуры, метода и методики проведения наблюдений и обработки данных. Но в своем большинстве, ошибки и неопределенности при площадной интерполяции связаны с тем, что статистические методы интерполяции не учитывают фундаментальные особенности и закономерности исследуемой природно-технической системы (ПТС) (сезонный фактор, цикличность геодинамических движений, зависимость абсолютных величин от масштабного фактора, тектонику района и т.д.).

Кинематика современных вертикальных и горизонтальных движений обусловлена движением структурных блоков по плоскостям тектонических нарушений. Таким образом при прогнозе параметров СДЗК необходимо учитывать такие фундаментальные особенности геологической среды как структурно-тектоническая блочность и влияние тектонических нарушений.

Одним из возможных путей решения является применение другого широко известного математического аппарата для обработки данных инструментальных наблюдений – искусственных нейронных сетей (ИНС). ИНС представляют собой определенную математическую систему соединённых и взаимодействующих между собой простых процессоров (далее - нейронов) [Хайкин, 2006]. Каждый нейрон сети имеет дело только с сигналами, которые он получает, и сигналами, которые он посылает другим нейронам. Будучи соединёнными в достаточно большую сеть такие по отдельности простые нейроны вместе способны выполнять довольно сложные задачи. У сети имеются взаимосвязи между нейронами (синапсы), и сила этих взаимосвязей выражена определенными весовыми коэффициентами. Полная матрица таких весовых

коэффициентов представляет собой аналитический аппарат ИНС, к некотором роде «мозг» сети.

Взаимодействующие между собой нейроны представляются в виде слоев (выделяют нейроны входящего, скрытого и выходящего слоя). Задача нейронов входящего слоя – получить, нормализовать и передать информацию на скрытые слои. Далее в скрытых слоях ИНС происходит расчет сигналов передаваемых на следующие скрытые слои или на выходящий слой. Выходящий слой преобразует конечные сигналы в выходящую информацию для пользователя ИНС.

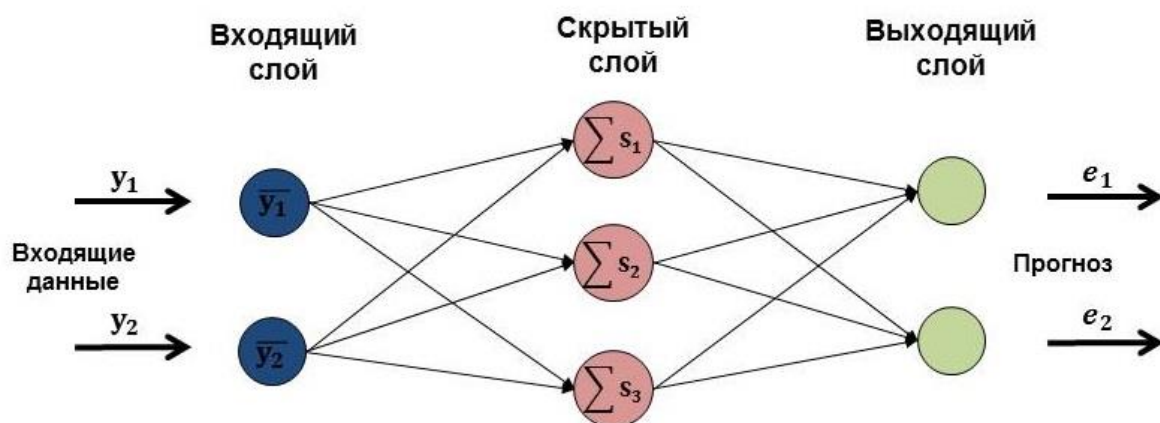


Рис. 1. Структура искусственной нейронной сети

Методология применения искусственной нейронной сети для прогноза СДЗК на различных объектах со сложными горно-геологическими условиями имеет ряд преимуществ над статистическими методами расчета карт мониторинга:

- *Обучаемость:* запрограммированная ИНС при поступлении новых данных или обновлении старых о состоянии исследуемой природно-технической системе использует их для корректировки своих внутренних параметров и тем самым повышает достоверность своих прогнозов;
- *Многовариантность структуры сети:* в отличие от статистических методов, ИНС учитывает фундаментальные особенности геологической среды исследуемой природно-технической системы (структурно-тектоническая блочность, влияние тектонических нарушений и т.д.), определяющих кинематику современных движений земной коры;
- *Универсальность входящих данных:* при обучении ИНС для задач прогноза параметров СДЗК можно использовать геологическую и инженерно-

геологическую информацию с разными свойствами (статическую и динамическую, качественную и количественную и т.д.) [Татаринов и др., 2016].

Для обучения искусственной нейронной сети (по сути настройки весовых коэффициентов синапсов) формируются выборки с известными прогнозируемыми данными и сеть итерационно обучается, сравнивая свое прогнозное значение с истинным, до тех пор, пока они совпадут с определенной (заданной пользователем) погрешностью (рис. 2). Когда обучение закончено, сеть может использовать свою матрицу весовых коэффициентов для прогноза.

Рассмотрим схему обучения ИНС более детально. Имеется набор данных, поступающих на входящий слой сети:

$$\sum y_n = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \end{pmatrix} \rightarrow \overline{y}_n = \begin{pmatrix} \overline{y}_1 \\ \overline{y}_2 \\ \dots \\ \overline{y}_n \end{pmatrix} \quad (1)$$

где $y_1, y_2 \dots y_n$ - различные входящие данные; $\overline{y}_1, \overline{y}_2 \dots \overline{y}_n$ - нормированные входящие данные, готовые к распределению в скрытые слои ИНС.

Для последующей работы со входящими данными внутри сети, необходимо их обработать – нормировать т.е. представить числовые параметры не в абсолютных единицах (градусы, м², МПа и др.), а в некоторых безразмерных единицах, характеризующих относительное значение.

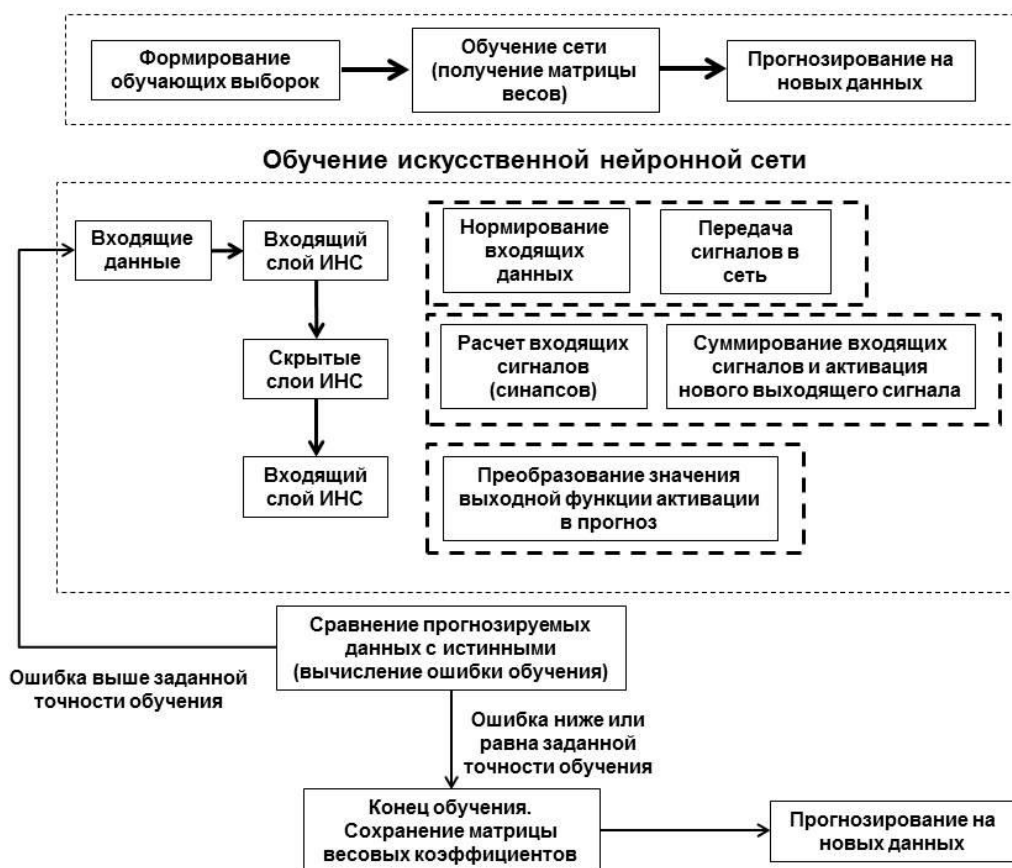


Рис. 2. Схема обучения искусственной нейронной сети

Далее сигналы поступают на скрытый слой, умножаясь на соответствующие весовые коэффициенты (изначально они задаются случайным образом).

$$S_n = \bar{y}_n \times W_{ij} = \begin{pmatrix} \bar{y}_1 \\ \bar{y}_2 \\ \dots \\ \bar{y}_n \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} w_{11} & \dots & w_{i1} \\ \dots & \dots & \dots \\ w_{1j} & \dots & w_{ij} \end{pmatrix} \quad (2)$$

где W_{ij} – полная матрица весовых коэффициентов синапсов, $w_{11}, w_{12} \dots w_{ij}$ – весовые коэффициенты синапсов, i – номер скрытого слоя, j – номер синапса в слое.

В каждом нейроне скрытого слоя происходит суммирование входящих в него сигналов и последующая активация (посредством специальной выбираемой функции) нового сигнала - $\text{Fact}(\sum S_n)$. Эта процедура повторяется для всех скрытых слоев.

На выходящем слое, сигналы в последний раз суммируются, после выходящее значение активируется и денормируется (при необходимости). Оно и является прогнозным значением. Прогноз сравнивается с истинным значением (вычисляется ошибка обучения) и если ошибка выше заданной точности обучения весовые коэффициенты синапсов корректируются и вся процедура повторяется. Иначе обучение считается законченным, матрица весовых коэффициентов сохраняется и может использоваться для прогноза.

Рассмотрим результаты прогнозирования СДЗК на примере данных GPS-наблюдений в пределах Нижне-Канского массива, где, как известно, в настоящее время ведется строительство первого в РФ пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов. Характерная особенность заключается в том, что геодинамическая сеть из-за природных условий построена неоднородно. В южной части района мониторинга имеющихся количества пунктов сбора информации достаточно мало, и поэтому построенные карты современных движений земной коры в точках интерполяции/экстраполяции мало достоверны. Для оценки качества прогнозов, рассмотрим конкретную область будущего строительства экологически опасного объекта – места захоронения РАО (на рис. 3 это место выделено пунктиром).

Прогноз параметров СДЗК осуществляется для определенных временных интервалов (эпоха GPS-съемки). Входящими данными для сети исследуемого участка являются: координаты GPS-пунктов и геолого-тектонические параметры (удаленность пункта от разлома, линейные размеры разломов и др.). Спроектированная тестовая сеть использует 1 выходной нейрон, который и выдает прогнозное значение.

Полная выборка (табл. 1) для рассматриваемого участка состоит из 6 значений параметров движений земной коры. Для оценки качества прогноза, последовательно будем убирать из нее по одному значению, прогнозируя его используя оставшиеся 5.

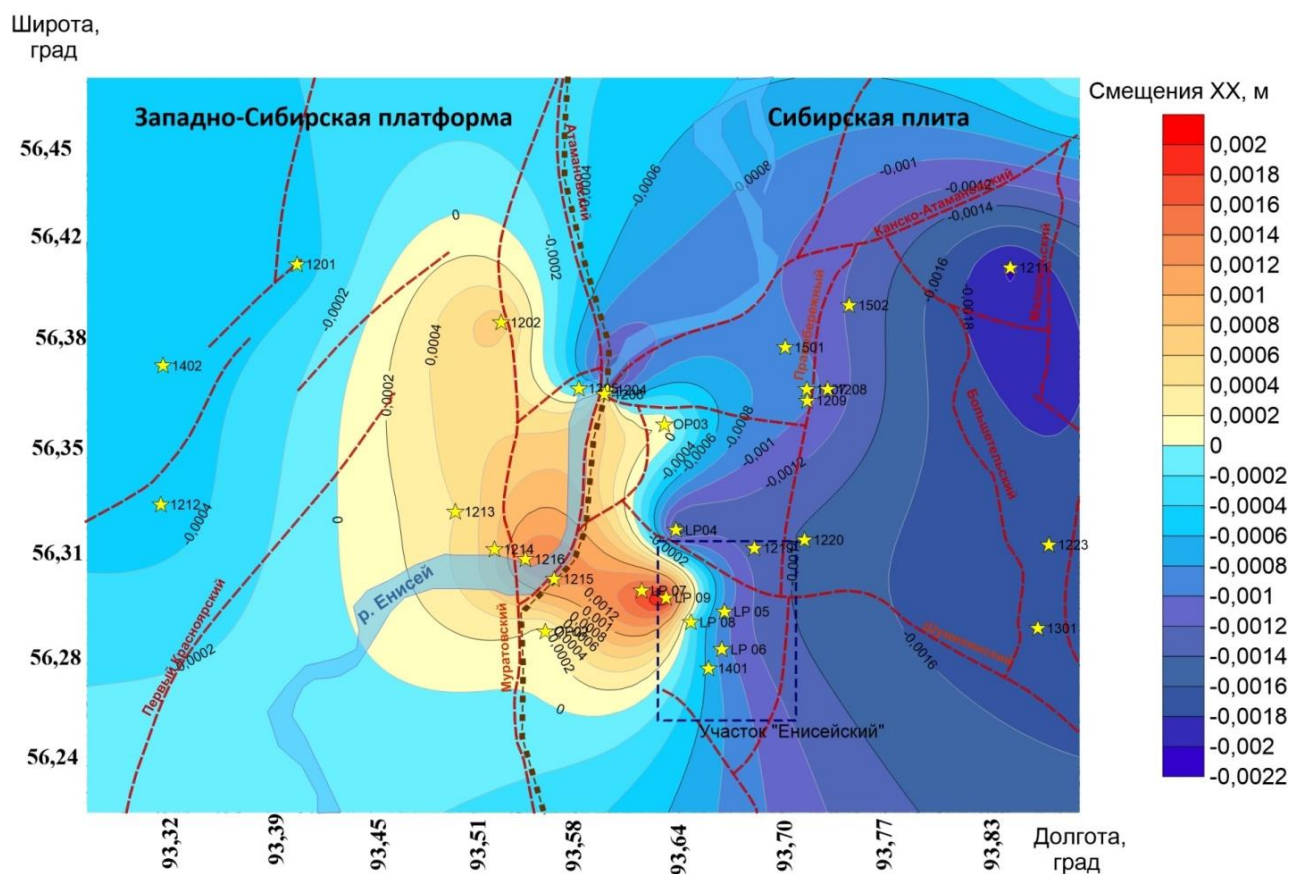


Рис. 3. Карта смещений по оси X (Нижне-Канский массив). Красные пунктирные линии – разломы, звезды – пункты геодинамической GPS-сети наблюдений, синяя пунктирная линия – проектный участок для захоронения РАО.

Таблица 1

Полная выборка движений земной коры

Пункты GPS	LP04	LP 05	LP 06	LP 07	LP 08	LP 09
U_{xx} , м	-15.20	-9.34	-8.99	16.78	-2.33	21.19

Таблица 2

Тестовые выборки

№ выборки	1	2	3	4	5	6
Пункты GPS	LP 05	LP04	LP04	LP04	LP04	LP04
	LP 06	LP 06	LP 05	LP 05	LP 05	LP 05
	LP 07	LP 07	LP 07	LP 06	LP 06	LP 06
	LP 08	LP 08	LP 08	LP 08	LP 07	LP 07
	LP 09	LP 09	LP 09	LP 09	LP 09	LP 08
Прогноз пункта	LP04	LP 05	LP 06	LP 07	LP 08	LP 09

Для оценки качества работы ИНС прогнозы деформаций земной коры были рассчитаны и другими (статистическими) методами. Расчеты были произведены на основе двух наиболее распространенных семейств методов интерполяции – кригинга (интерполяция на основе анализа полувариограм) и метода обратных расстояний (интерполяция на основе «взвешивания» точек попадающих в радиус влияния пробы/точки отсчета).

Таблица 3

Результаты прогнозов ИНС, методом обратных расстояний, кригингом

Прогноз смещений земной коры U_{xx} * 10^{-4} , м	Прогноз в пункте №					
	1	2	3	4	5	6
Реальные движения	-15.20	-9.34	-8.99	16.78	-2.33	21.19
ИНС	-8.45	-8.78	-7.64	15.79	-4.82	22.39
Метод обратных расстояний	7.62	-0.69	-2.05	11.28	3.19	5.60
Кригинг	12.91	-4.96	-6.69	13.93	4.71	6.28

Разберем результаты прогнозов СДЗК различными методами (таблица 3). В столбцах 2, 3, 4, 6 – прогноз сетью очень точный с абсолютной погрешностью до 15%, в то время как другие методы дают абсолютную погрешность 50 – 90%. В столбцах 1 и 5 – абсолютная ошибка прогноза ИНС высокая 50 - 100 %, но у других методов она составляет 150 – 300%, так же сеть, в отличие от других методов, верно прогнозирует направление (знак) смещения, что очень важно для определения областей сжатия – растяжения участков Земной коры. В табл. 4 можно видеть, что абсолютные ошибки прогноза методом обратных расстояний и кригинга выше ошибки ИНС практически в 4 раза.

Таблица 4

Абсолютные ошибки прогноза

Метод прогноза	Абсолютная ошибка прогноза, 10^{-4} , м
ИНС	13.36
Метод обратных расстояний	65.02
Кригинг	59.58

На рис. 4 можно наглядно увидеть результаты пространственного прогноза современных движений земной коры на основе искусственных нейронных сетей в сравнении с методами кригинга и обратных расстояний (учитывая что абсолютная ошибка прогноза на тестовых выборках было меньше у ИНС). Видно, то прогнозы ИНС в большей степени детализируют исследуемый район по изменчивости поля современных движений земной коры, распределение которого позволяет определить тектонические блоки их направление движения и области растяжения – сжатия.

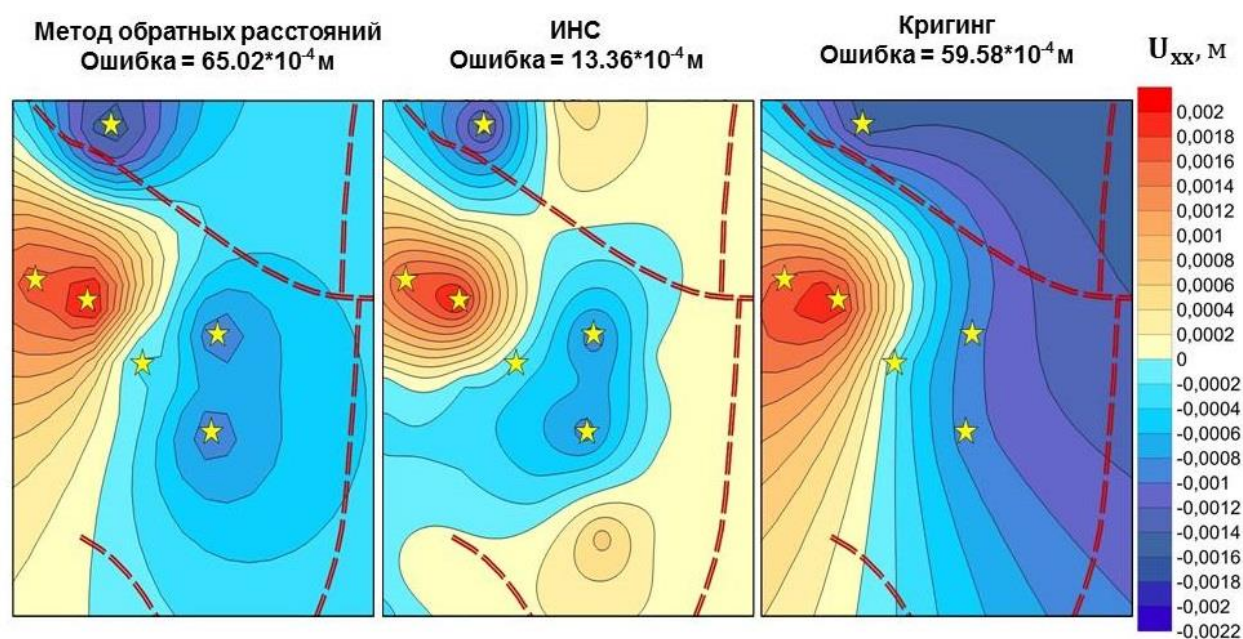


Рис. 4. Карты горизонтальных смещений по оси X, рассчитанные разными методами интерполяции

Нужно отметить, что представленная архитектура искусственной нейронной сети не может реализовать возможности своего прогноза полностью. Это обусловлено малой выборкой GPS-пунктов и недостатком данных на входящем слое ИНС. Так присутствует определенное несовершенство в программной реализации представленного метода (технически неудобный ввод данных, необходимость изменить метод обучения ИНС). Однако не смотря на все это, результаты полученные на представленной архитектуре ИНС уже дают возможность оценить положительную перспективу применения ИНС для прогноза СДЗК.

Во многом безопасность горнопромышленных объектов определяется изменениями геологической среды и геодинамической обстановкой района. Мониторинг современных движений земной коры с использованием спутниковых GPS/ГЛОНАСС систем позволяет получить необходимые данные о деформациях и смещениях земной коры для оценки инженерных критериев безопасности их эксплуатации (предельные скорости горизонтальных сдвижений, осадки и крены фундаментов и т.д.). Данные о СДЗК используют для определения и качественных показателей - зон растяжения и сжатия (к примеру, используя базисные расстояния между пунктами наблюдений [Татаринов и др., 2016]) и тектонической составляющей напряжений в горном массиве, поправка на которую присутствует во многих инструкциях по проектированию и строительству подземных горных выработок [Татаринов и др., 2014; Липина и Маневич, 2017; Ческидов и др., 2017; Батугин, 2009].

Использование искусственных нейронных сетей для прогноза современных движений земной коры в корне меняет процесс исследования кинематики вертикальных и горизонтальных движений. Выбранная методология предполагает обучение аналитической системы реализующей прогноз СДЗК. Так же прогнозы базируются на основе фундаментальных особенностей геологической среды. Применение рассмотренного метода в специализированных САПР позволит уменьшить промышленные и экологические риски объектов находящихся в сложных горно-геологических условиях.

Список литературы

- Барский А. Б.*, Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений, С. 176.
- Батугин А. С.*, Классификация участков земной коры по степени геодинамической опасности, Труды научного симпозиума «Неделя Горняка – 2009», 2009, С. 246-254.
- Бондарик Г. К.*, Инженерно-геологические изыскания: учебник, 2008.
- Заенцев И. В.* Нейронные сети. Основные модели, 1999, С. 76.
- Липина А. В., А. И. Маневич*, Перспективные направления в проектировании сетей пунктов сбора информации при инженерно-геологических исследованиях намывных массивов, откосных сооружений и их оснований, Горный информационно-аналитический бюллетень, №1, 2017, С. 387 – 395.
- Татаринов В. Н., В. И. Кафтан, И. Н. Сеелев*, Изучение современной геодинамики Нижне-Канского массива для безопасного захоронения радиоактивных отходов, Атомная энергия, Т, 121, №3, 2016, С. 157-160.
- Татаринов В. Н., В. В. Морозов, И. Ю. Колесников, А. И. Каган, Т. А. Татарина*, Устойчивость геологической среды как основа безопасной подземной изоляции радиоактивных отходов и отработавшего ядерного топлива, Надежность и безопасность энергетики, №1(24), 2014, С. 25-29.
- Татаринов В. Н., Т. А. Татарина*, Учет масштабного эффекта при наблюдениях за деформациями земной поверхности спутниковыми навигационными системами, Маркшейдерский вестник. №5, 2012, С. 15-19.
- Хайкин С.*, Нейронные сети, 2006, С. 1104.
- Ческидов В. В., Д. С. Куренков, А. И. Маневич*, Современные методы и средства оперативного контроля на горных предприятиях для обеспечения экологической и промышленной безопасности, Горный информационно-аналитический бюллетень, №6, 2017, С. 188 - 199.

Приложение

Постановление Госгортехнадзора РФ от 30.05.2003 №45 «Об утверждении «Правил безопасности при разработке угольных месторождений открытым способом».

Постановление Госгортехнадзора России от 16.03.1998 №13 «Об утверждении Правил охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях».

Постановление Госатомнадзора РФ от 31.12.2003 №11 НП-050-03 «Размещение ядерных установок ядерного топливного цикла. Основные критерии и требования по обеспечению безопасности».

Постановление Госатомнадзора РФ от 28.12.2001 №16 «Об утверждении и введении в действие Руководства по безопасности «Оценка сейсмической опасности участков размещения ядерно и радиационно опасных объектов на основании геодинамических данных».

Приказ Ростехнадзора от 24.01.2013 №25 «Об утверждении Рекомендаций по проверке критериев безопасности гидротехнических сооружений объектов энергетики».

Приказ МПР РФ от 21.05.2001 № 433 «Об утверждении Положения о порядке осуществления государственного мониторинга состояния недр Российской Федерации».

Приказ Ростехнадзора от 06.11.2013 №520 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности для опасных производственных объектов магистральных трубопроводов».

СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах».

СП 116.13330.2012 «Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов».

Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

Федеральный закон от 21.07.1997 № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений».

ОБОСНОВАНИЕ И РАНЖИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСА КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОТКОСНЫХ СООРУЖЕНИЙ

В. В. Ческидов, А. В. Липина

Горный институт НИТУ «МИСиС»

vcheskidov@ya.ru

Аннотация

Для обеспечения безаварийного функционирования современных горнопромышленных природно-технических систем необходимо постоянное наблюдение за параметрами их состояния. Откосные сооружения являются наиболее аварийно-опасными объектами, оценка их устойчивости – это неотъемлемая часть ведения горных работ. При этом на состояние бортов карьеров, откосов отвалов и ограждающих дамб оказывает большое количество факторов, которые необходимо ранжировать как по степени влияния на значение коэффициента запаса устойчивости (основной численной оценки устойчивости откоса), так и по степени их временной изменчивости. Это позволит разрабатывать системы мониторинга состояния откосных сооружений, обеспечивающих получение достоверной и своевременной информации для принятия необходимых управленческих решений по обеспечению безопасности функционирования горных предприятий.

Ключевые слова: горные работы, мониторинг, сбор и передача информации, откосные сооружения, гидроотвал, дамба обвалования, инженерно-геологические изыскания, моделирование, гидрогеологические условия.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-60116 мол_а_дк».

Конец XX и начало XXI веков принесли в нашу повседневную жизнь много новых аппаратных средств и технологий. Широкое распространение получили сотовая связь, интернет, GPS-приемники и т.д. Данный промежуток времени стал началом эпохи информационных и цифровых технологий, которые затронули все области производства, в

том числе и добычу полезных ископаемых. В 2016 году в мире впервые появились угольные разрезы, на которых погрузка горной массы и перевозка автотранспортном осуществляется в автоматизированном режиме без участия машинистов. Роль человека при этом сводится к принятию своевременных управленческих решений при нарушении технологического процесса или изменении условий ведения работ. Однако, для функционирования роботизации и автоматизации всех процессов необходима полная и достоверная информация о состоянии отдельных элементов природно-технических систем (ПТС).

Оценка состояния откосных сооружений осуществляется, как правило, через расчет коэффициента запаса устойчивости, который показывает соотношение удерживающих и сдвигающих сил, действующих в массиве. На сегодняшний день существует около сотни различных методов расчета коэффициента запаса устойчивости откоса, они используют различные физические и математические модели породного массива. Однако, в общем и целом все современные методы требуют одни и те же входные данные: геологическое строение массива со свойствами грунтов выделенных инженерно-геологических элементов; положение и характеристики водоносного горизонта, сформировавшегося в откосе; положение кривой скольжения. Последнее может быть получено инструментальными, например, с помощью инклинометрических измерений или расчетными методами.

Численные характеристики параметров состояния откосного сооружения определяются следующими группами факторов: физико-географическими, природно-геологическими, гидрогеологическими, инженерно-геологическими и техногенными. Нужно отметить, что перечисленные данные обладают различной степенью пространственной и временной изменчивости. Гидрогеологические условия территории могут изменяться достаточно быстро в результате природных и техногенных факторов: осадки, таяние снега, перераспределение выпуска пульпы при формировании гидроотвалов и хвостохранилищ. Анализ А. М. Демидова, В. К. Александрова, А. М. Гальперина и других показывает, что в 25% случаях причинами деформационных явлений в бортах карьерах являются атмосферные осадки. Количество осадков и их интенсивность оказывает наибольшее влияние на устойчивость песчано-глинистых массивов горных пород. При этом пространственно-временная изменчивость гидрогеологических показателей (в первую очередь, положение депрессионной кривой) отличается крайне высокой степенью. На рис. 1 показана динамика изменения уровня воды в пьезометрических скважинах профиля П-3 головной дамбы хвостохранилища ОАО

«Стойленский ГОК». На графике можно выделить несколько всплесков, которые соответствуют периодам изменения мест выпуска пульпы, большого количества осадков или времени снеготаяния [Гальперин, 2003; Гальперин и др., 2003; Липина и Маневич, 2017; Robert, 2009; Мясков и др., 2017].

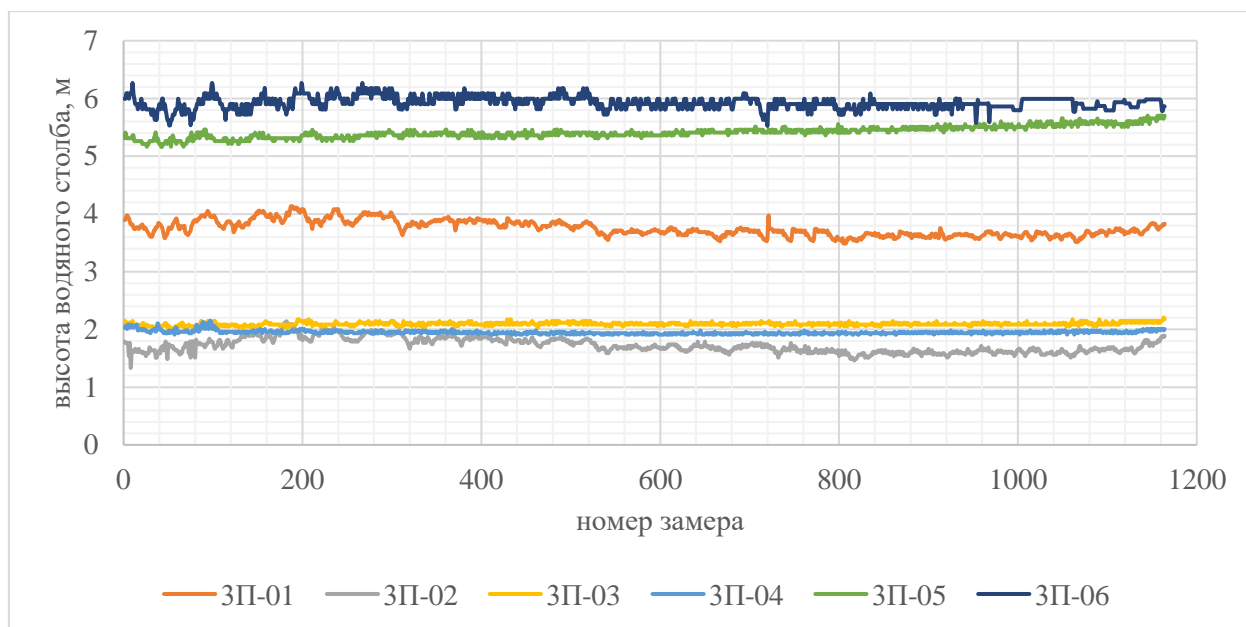


Рис.1. Динамика изменения уровня столба воды в скважинах контрольного автоматизированного профиля 3П головной плотины хвостохранилища с 1 января по 17 октября 2016 года.

Механические свойства пород в области кривой скольжения изменяются гораздо медленнее. Скачкообразное изменение угла внутреннего трения и сцепления может произойти в результате значительного увлажнения горной породы (рис.2), но, как правило, большая часть грунтов, в которых происходит разрушение структуры и смещение породных блоков, находятся в полностью обводненном состоянии и резких изменений механических свойств в них не наблюдается.

При длительном замачивании происходит выветривание горных пород на глинистом цементе. В результате песчаники и глинистые сланцы образуют глины или суглинки с крайне разнородным гранулометрическим составом. При разрушении рассланцованных аргиллитов образуются глины, в структуре которых сохраняются унаследованные плоскости ослабления, дополнительно снижающие механические свойства пород (рис.3.).

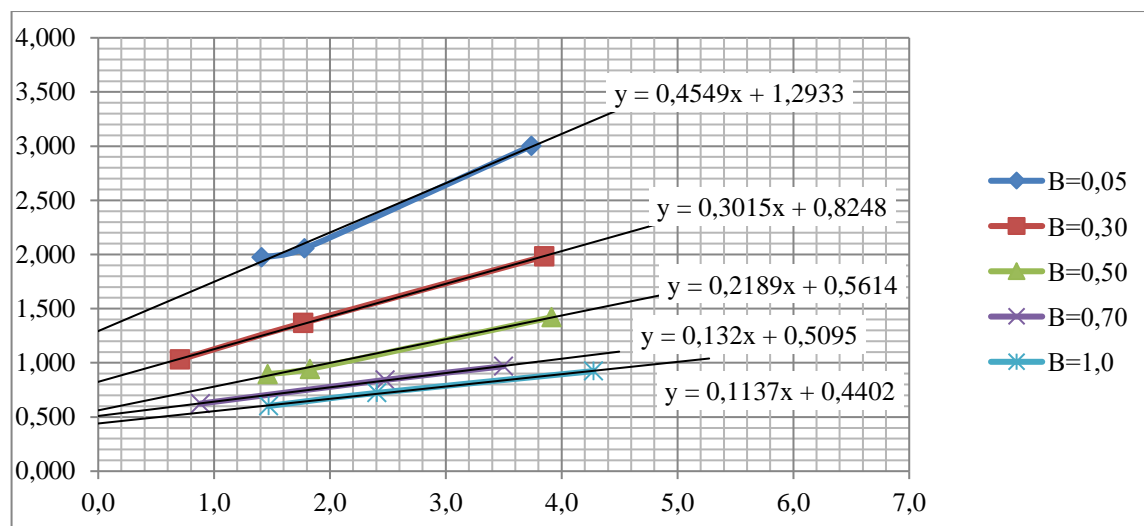


Рис.2. Результаты определения механических свойств глинистой породы при разной степени водоносности B .

Условия эксплуатации также оказывают значительное влияние на устойчивость откосного сооружения. Подработка склона и дополнительные динамические нагрузки (взрывные работы, вибрация от транспорта и др.) могут за короткий срок привести к негативным явлениям, связанным со смещением крупных породных массивов. При постепенном нагружении физико-механические свойства пород основания отвальных насыпей изменяются крайне медленно, в результате дополнительного вертикального давления глины и суглинки уплотняются и повышаются их механические свойства, но одновременно с этим формируемый техногенный водоносный горизонт обуславливает размягчение и снижение механических свойств [Ческидов и др., 2016; Ческидов, 2016].



а



б

Рис.3. Состояние рассланцованных аргиллитов в сухом (а) и замоченном (б) состоянии.

Многолетние наблюдения за состоянием глинистого слоя в основании откосных сооружений ОАО «Стойленский ГОК» показывают, что удельное сцепление и угол внутреннего трения при сохранении технологического режима формирования отвальных насыпей за 4 года изменяются на 5-7% в зависимости от интенсивности горных работ и начальных характеристик пород.

Изложенные факты определяют основные принципы проектирования систем сбора информации для оценки состояния откосных сооружений. При моделировании состояния массива в краткосрочной перспективе необходимо в первую очередь учитывать гидрогеологические факторы, определяемые погодными условиями, для ограждающих дамб необходимо оценивать процесс намыва отложений. При проектировании состояния откосных сооружений в долгосрочной перспективе необходимо учитывать весь комплекс факторов и их влияние друг на друга [Шпаков и др., 2016; Татаринов и др., 2015]. Например, изменение физико-механических свойств пород под влиянием замачивания и других процессов выветривания или раскрытие трещин при разгрузке массива их заполнение водой и дальнейшее разрушение стенок или кольматация в зависимости от характеристик породного массива и подземных вод.

Таким образом, факторы устойчивости откосных сооружений необходимо ранжировать не только с точки зрения их влияния на значение коэффициента устойчивости, но и с учетом скорости изменения параметров во времени для создания систем сбора информации с оптимальной периодичностью с одной стороны и обеспечения достоверности получаемых данных с другой.

Список литературы

- Гальперин А. М., Геомеханика открытых горных работ, 2003.
- Гальперин А. М., С. А. Пуневский, Ю. В. Бородин, Буй Куок Зунг, Развитие технических средств и способов гидрогеомеханического мониторинга отвальных сооружений, Маркшейдерия и недропользование, № 3, 2015, С. 22-30.
- Липина А. В., А. И. Маневич, Перспективные направления в проектировании сетей пунктов сбора информации при инженерно-геологических исследованиях намывных массивов, откосных сооружений и их оснований, Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), № 1, 2017, С. 387-395.

Мясков А. В., А. С. Ильин, С. М. Попов, Экономические аспекты адаптации параметров производственной деятельности карьеров к изменениям на рынках сырьевых ресурсов, Горный журнал, № 2, 2017.

Татаринов В. Н., Е. Г. Бугаев, Т. А. Татарина, К оценке деформаций земной поверхности по данным спутниковых наблюдений, Горный журнал, №10, 2015, С. 27-32. DOI: [dx.doi.org/10.17580/gzh.2015.10.05](https://doi.org/10.17580/gzh.2015.10.05).

Ческидов В. В., Разработка комплексной системы инженерно-геологического и гидрогеологического контроля безопасности эксплуатации горнотехнических сооружений, Горный информационно–аналитический бюллетень (научно–технический журнал), № 9, 2016, С. 358-368.

Ческидов В. В., Д. С. Чудинов, Т. А. Зезюля, Разработка программного обеспечения системы автоматизированного проектирования сетей инженерно-геологического опробования на горных предприятиях, Горный информационно–аналитический бюллетень (научно–технический журнал), № 3, 2016, С. 158-163.

Шпаков П. С., А. Г. Урузбиева, А. И. Маневич, Инженерно-геологический и геоэкологический мониторинг состояния сложных объектов горнодобывающего комплекса, Горный информационно-аналитический бюллетень, №8, 2016, С. 406 - 413.

Robert P., Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Vol. 68, 2009, pp. 387 – 395. DOI: 10.1007/s10064–009–0210–5

ОЦЕНКА ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД

Д. С. Куренков

НИТУ «МИСиС»

labbor407@gmail.com

Аннотация

В статье приведены факторы временной и пространственной изменчивости свойств горных пород. Рассмотрены современные тенденции повышения качества сбора инженерно-геологической информации. Проанализированы методы оценки временной изменчивости характеристик пород. Сделан вывод о необходимости разработки комплексных систем мониторинга состояния природно-техногенных систем, обладающих выраженными свойствами изменчивости.

Ключевые слова: изменчивость свойств горных пород, мониторинг состояния, инженерно-геологические исследования, техногенные массивы.

Современная горнодобывающая промышленность характеризуется активным освоением новых территорий и разработкой месторождений полезных ископаемых в сложных климатических, инженерно-геологических, гидрогеологических и других условиях. Анализ нештатных ситуаций на современных горных предприятиях показывает, что основные причины аварий – это нарушения технологического процесса эксплуатации горнотехнических объектов и недостаток структурированной информации о текущем состоянии природной среды. Последнее является результатом отсутствия своевременного контроля и возможности прогнозирования изменений параметров природно-технических систем, формирующихся в результате инженерной и хозяйственной деятельности человека. Систематизация информации о свойствах горных пород в данный момент времени позволяет уточнить критерии риска возникновения аварийной ситуации и разработать системы мониторинга состояния в которых осуществляется расчет необходимой частоты измерения свойств и параметров состояния объектов промышленности.

Таким образом, приоритетным направлением развития отрасли в условиях усиливающегося техногенного воздействия на окружающую природную среду, является

разработка принципов и методов прогнозирования изменения состояния природно-технических и природно-техногенных систем. Более эффективный контроль состояния горнотехнического сооружения достигается путем повышения качества сбора информации об объекте, а также ее хранения, анализа и интерпретации. В рамках данных мероприятий можно выделить два перспективных направления [Шпаков и др., 2016]:

1. Сбор и анализ инженерно-геологической информации, наиболее качественно описывающей пространственно-временную изменчивость свойств массивов горных пород и техногенных образований;
2. Мониторинг и прогноз состояния территорий промышленных объектов для своевременного контроля и принятия необходимых управленческих решений для безаварийного функционирования природно-технической системы.

Для инженерной геологии прогностическая функция составляет неотъемлемую часть науки с момента своего возникновения. Оценка инженерно-геологических условий местности всегда включает элементы прогноза, дающих представление о развитии во времени взаимодействия между геологической средой и проектируемым сооружением, а также характер процессов при строительстве и эксплуатации объектов [Бондарик, 1986]. Еще академик Ф. П. Саваренский отмечал, что перед геологией (в частности, инженерной геологией) стоит задача не только обеспечения выбора места расположения возводимого сооружения, но и прогнозирование будущих изменений геологической среды, вызываемых инженерно-геологическими процессами.

Надежный прогноз изменений геологической и техногенной сред, ожидаемых в результате их взаимодействия, возможен за счет обеспечения информирования о состоянии сред в последовательные периоды их совместного функционирования. Следовательно, необходимы данные наблюдений за изменениями отдельных элементов инженерно-геологических условий в области влияния двух взаимодействующих сред [Иванов и Тржцинский, 2001]. Системы прогнозов позволяют обосновать охранные и защитные мероприятия, обеспечивающие рациональное использование недр и охрану окружающей среды, таким образом можно говорить о переходе к управлению взаимодействием.

Сегодня моделирование поведения откосных сооружений производится при изменении сейсмической, гидрогеологической, инженерно-геологической и климатической обстановки. Отличительной чертой такого подхода является учет изменения состояния породного массива во времени и пространстве при изменении одного или нескольких факторов одновременно. Данный подход позволяет разработать

рекомендации по проектированию систем мониторинга, обеспечивающих быстрое оповещение при превышении измеренных значений предварительно заданных величин [Ческидов и др., 2017; Татаринов и др., 2014].

В последние десятилетия наблюдается тенденция к ежегодному увеличению количества отходов как горнодобывающего производства, так и металлургической промышленности. Вследствие данной деятельности формируются уникальные техногенные системы, поведение которых в процессе функционирования практически не поддается прогнозированию. Например, отвалы, являющиеся по сути техногенными геологическими телами, с течением времени претерпевают существенные изменения, связанные с процессами осадки, просадки, набухания, эрозии и пр. [Дроздов и Спиридонов, 1987]. Состав и свойства горных пород, слагающих техногенное образование, в значительной степени обуславливают интенсивность и локализацию указанных процессов.

Для гидроотвалов и хвостохранилищ, обладающих высокой степенью пространственной и временной изменчивости, зачастую не удастся разграничить влияние конкретных факторов, определяющих свойства отложений, а изменение свойств техногенных массивов, в первую очередь, обусловлено свойствами укладываемого материала, его фракционированием и технологией формирования отвала. Однако, выявленные особенности намывных техногенных образований позволяют сформулировать положения, отражающие общие законы изменчивости характеристик намывных массивов [Шаров и Ческидов, 2015]:

1. намывной техногенный массив, его отложения, структура и свойства представляют собой продукт взаимодействия физических полей природно-техногенной динамической системы;
2. поля инженерно-геологических параметров, их структура и характеристики наследуют и отражают черты процессов формирования техногенного массива, осаждения зерен намывного материала и консолидации уложенных глинистых пород;
3. формирование большой толщи тонкодисперсных отложений за короткий (в сравнении с геологическим временем) срок и сезонность ведения работ.

Одним из главных факторов временной изменчивости свойств пород является процесс выветривания, влияющий на характер и степень развития селевых, оползневых и других процессов и обуславливающий глубокие изменения физико-механических, прочностных свойств пород и их состава. На прочность, сжимаемость,

водопроницаемость и устойчивость пород к выветриванию оказывают влияние структура и текстура горной породы. Зная характер структуры и текстуры породы можно косвенно судить о ее свойствах и прогнозировать поведение при внешних воздействиях. Развитие процесса выветривания определяется исходя из следующих факторов [Мальнева, 2012]:

1. Наличия в породе воды
2. Содержания глинистых частиц
3. Наличия отрицательных температур и перехода через 0 °C

При отсутствии в породе воды физическое выветривание практически не наблюдается по причине отсутствия циклов замораживания – оттаивания и увлажнения – высушивания массива. Резкие переходы от отрицательных температур к положительным ускоряет процесс выветривания, что особенно актуально для Российской Федерации, многие промышленные регионы в которой расположены в зонах с активным распространением многолетней мерзлоты.

Получение информации о текущем состоянии среды осуществляется проведением инженерно-геологических изысканий, основная цель которых сбор достоверных сведений о геологической среде и ее изменениях для обеспечения оптимального проектирования и функционирования природно-технических систем различного уровня [Ческидов и др., 2011]. Построение сети опробования путем размещения скважин по профилям отвалов одного возраста с целью выявления отличий характеристик отложений в фиксированный момент времени (рис. 1) является одним из методов оценки временной изменчивости свойств горных пород. Одна из основных задач – определение направления пространственной изменчивости техногенных отложений. Изменчивость свойств раздельно-зернистых пород обусловлена неодинаковостью их вещественного и гранулометрического состава, зависимостью структурно-текстурных особенностей от применяемой технологии складирования, параметров массива, продолжительности «отдыха» [Татаринов и др., 2014].

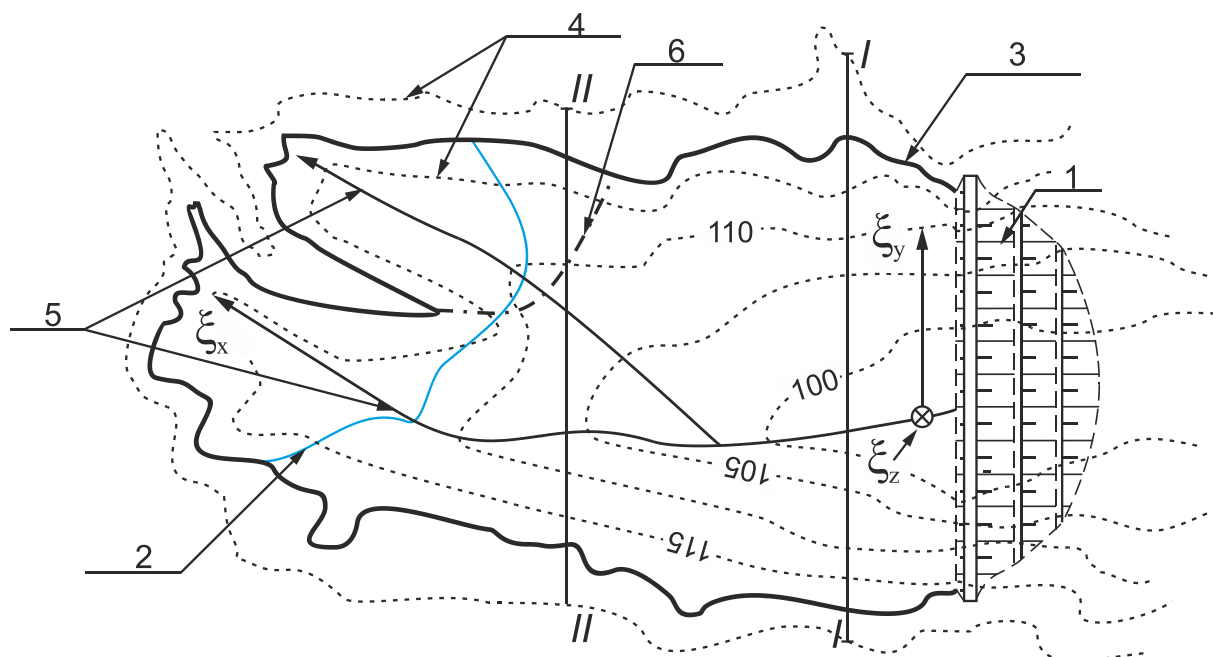


Рис.1. Расположение ключевых профилей опробования намывных отложений техногенных массивов овражно-балочного типа:

1 – дамба обвалования, 2 – граница прудка-отстойника, 3 – граница гидроотвала, 4 – горизонталь ложа, 5 – ключевые профили опробования, 6 – граница подсистем сети опробования; ξ_x , ξ_y , ξ_z – основные направления изменчивости.

Также применение методов статистики и кластерного анализа позволяет наиболее точно определить изменчивость свойств горных пород. С использованием методов оценки пространственной изменчивости свойств массива горных пород становится возможным проектировать сети инженерно-геологического опробования с оптимальной плотностью и минимальным количеством пунктов сбора информации без потери ее достоверности [Татаринев и др., 2014]. Известны разработанные на данной основе системы мониторинга, отличительной чертой которых является возможность учета изменения состояния горного массива во времени и пространстве [Ческидов и Маневич, 2016].

На современном этапе развития горных работ управление всеми технологическими процессами необходимо осуществлять при наличии полной и достоверной информации о состоянии природно-техногенных систем. Разработка и развертывание систем комплексного мониторинга состояния техногенных массивов, откосов отвалов, горнотехнических, гидротехнических и других сооружений наиболее актуально в связи с выраженной пространственной и временной изменчивостью свойств подобных объектов.

Литература

- Бондарик Г. К.*, Методика инженерно-геологических исследований, 1986, С. 333.
- Иванов И. П., Ю. Б. Тржцинский*, Инженерная геодинамика, 2001, С. 416.
- Дроздов Д. С., Д. В. Спиридонов*, Пространственная и временная изменчивость техногенных отложений в районе Назаровского углеразреза (западный КА1ЭК). Пространственная изменчивость инженерно-геологических условий и методы ее изучения: Тезисы докл. Всес. научно-техн. семинара 20-22 мая 1987 г., 1987, С. 116-119.
- Мальнева И. В.*, Оценка интенсивности выветривания как важнейшего фактора развития экзогенных геологических процессов на участках предполагаемого размещения строительных объектов (на примере Северного Кавказа), Сергеевские чтения. Роль инженерной геологии изысканий на предпроектных этапах строительного освоения территорий, Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (22 марта 2012 г.), №14, 2012, С. 45-49.
- Татаринов В. Н., В. Н. Морозов, И. Ю. Колесников, А. И. Коган*, Кинематический метод геодинамического районирования при проектировании отработки месторождений подземным способом, Безопасность жизнедеятельности, №7, 2014, С. 8-11.
- Татаринов В. Н., В. Н. Морозов, Т. А. Татарина*, Методологические аспекты спутниковых наблюдений за современными движениями земной коры. Сергеевские чтения. Развитие научных идей академика Е. М. Сергеева на современном этапе, № 16, 2014, С. 267-272.
- Ческидов В. В., Ю. В. Кириченко, М. В. Щёкина*, Проектирование сетей инженерно-геологических исследований техногенных массивов на основе кластерного анализа: Учебное пособие, 2011, С. 64.
- Ческидов В. В., Д. С. Куренков, А. И. Маневич*, Современные методы и средства оперативного контроля на горных предприятиях для обеспечения экологической и промышленной безопасности, Горный информационно-аналитический бюллетень, № 6, 2017, С. 188-199.
- Ческидов В. В., А. И. Маневич*, Инженерно-геологическое обеспечение мониторинга устойчивости оползневых склонов в условиях транспортного строительства, Горные науки и технологии, №1, 2016, С. 51-59.

Шаров А. С., В. В. Ческидов. Оценка изменчивости свойств намывных техногенных отложений, Евразийский союз ученых, № 5-4, 2015, С. 16-18.

Шпаков П. С., А. Г. Урузбиева, А. И. Маневич, Инженерно-геологический и геоэкологический мониторинг состояния сложных объектов горнодобывающего комплекса, Горный информационно-аналитический бюллетень, № 8, 2016, С. 406-413.

ВЫЯВЛЕНИЕ ПРОВАЛООПАСНОЙ ЗОНЫ И ПЛАНИРОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО
ЕЕ ЛИКВИДАЦИИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ГОРНО-ГРАФИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ
ПО ПОЛЮ ШАХТЫ № 12 В Г. КИСЕЛЕВСКЕ

А. А. Захарова, Е. П. Вишневская

Горный институт НИТУ «МИСиС»

alexaza@mail.ru

Аннотация

В статье проведен анализ горно-графической документации с целью выявления провалоопасных зон на поле шахты № 12 и сделана оценка предельной глубины выхода провальных воронок и просадок поверхности от горизонтальных выработок, пройденных на малой глубине. А также предложены мероприятия по ликвидации провальной зоны с помощью тампонажа пустот через бурение скважин с поверхности.

Ключевые слова: провалоопасные зоны, пустоты, деформации, провалы, ликвидация шахт, тампонаж выработок

В последние годы в Кузбассе были ликвидированы 21, имеющие срок эксплуатации 50 лет и более, также закрыты 10 шахт со сроком эксплуатации от 40 до 50 лет и с несколько меньшим сроком эксплуатации, приостановлено строительство новых шахт. Все это породило серьезные экологические проблемы.

Для Прокопьевско-Киселевского района характерны нарушения в виде провалов на поверхности, для Беловского и Кемеровского районов — подтопления, выделение газов отмечено на шахтах Беловского и Ленинского районов, имеющих высокую газонасыщенность, а значит — и пожароопасность пластов. Территории вокруг шахт Красногорская, Тайбинская, им. Вахрушева представляют собой более 10 км² поверхности с нарушенным рельефом, разрушенными зданиями, сооружениями и провалами. Площадь нарушенных земель в Кемеровской области в 10 раз больше, чем в среднем по России [Кураков и др., 2004].

Основными факторами образования провалов на шахте, частоты и время их выхода на поверхность можно отнести:

- геологическое строение массива;

- системой разработки и вынимаемая мощность пласта, его угол падения и глубина разработки;
- наличие в выработанном пространстве целиков, их размеры, физико-механические свойства покрывающей толщи горных пород;
- размеры и форма выработанного пространства (пустот);
- физико-механические свойства угля и вмещающих пород;
- наличие закладки выработанного пространства и ее состав;
- обводненность выработанного пространства и устойчивость пород к вымыванию;
- природно-техногенные процессы в нарушенном массиве.

Образования провалов на шахтах и их размеры (ширина, глубина) определяются углом падения пласта, крепостью вмещающих пород, высотой зоны обрушения и мощностью наносов; с увеличением мощности наносов размеры провалов в плане увеличиваются за счет углов естественного откоса, к которым стремятся обрушиться стенки воронок, а с увеличением угла падения пласта и крепостью пород кровли (мощные песчаники) увеличивается глубина провальной воронки (есть случаи до 25-30 м).

Форма провалов меняется от отдельных изолированных воронок при отработке пласта на I горизонте до оврагообразного типа при отработке пласта на II-м иногда III-м горизонтах и до отдельных воронок приуроченных, как правило, к границам выемочных участков с различного рода целиками угля (барьерные, межучастковые, предохранительные) при отработке пласта на III- IV горизонтах;

Провалы в виде воронок выходят повсеместно при отработке крутопадающего пласта на верхнем горизонте, если угольный целикоставленный под наносами менее 15-17 м, соответственно в зависимости от этого, время выхода провала может изменяться от 3-5 сут. до 2-3 мес.

Время выхода провалов на земную поверхность зависит от наличия угольных целиков у поверхности и их размеров по падению, примененной системы разработки, крепости угля и вмещающих пород, высоты зоны обрушения варьируется от нескольких месяцев до десятков лет [Шнаков и др., 2016]. При разработке пластов по падению, а именно щитовой, подэтажной и камерной системой относительная частота выхода провалов на поверхность наибольшая, а при разработке пластов по простиранию (длинные столбы в один слой или несколько слоев, комбинированная с гибким перекрытием) частота выхода провалов наименьшая [Коликов и др., 2015].

По характеру обрушения пород и выделяются три вида условий выхода провальных воронок:

- от вскрывающих вертикальных и крутонаклонных выработок, ликвидированных способом сооружения оградительных полков (шурфы, вертикальные и наклонные стволы, печи, бремсберги и др.) с засыпкой пространства между полком и поверхностью;
- от горизонтальных и наклонных подготовительных выработок, пройденных на малой глубине, оставленных на само погашение;
- от очистных работ.

Причиной образования провалов при разработке крутонаклонных угольных пластов ($\alpha = 36 - 55^\circ$) и крутых ($\geq 55^\circ$) является разрушение пород кровли и отжатого опорным давлением угольного целика с дальнейшим скатыванием и перепуском пород и угля в незаполненную нижнюю часть выработанного пространства [*Методическое руководство о порядке выделения провалоопасных зон и выборе комплекса технических мероприятий по выявлению и ликвидации пустот при ликвидации шахт*, 1999; Хотченков и др., 2013].

- при наличии оставленного под наносами угольного целика или породного массива размером $h < h_{ц}$;
- при наличии провалов от верхних отработанных горизонтов и глубине отработки $H < H_1$, где $h_{ц}$ - предельная вертикальная высота целиков угля или породных массивов, оставленных на выходах пластов под наносы, м; H_1 - предельная глубина ведения очистных горных работ, ниже которой провалы на земной поверхности не образуются.

Наибольший интерес с позиций образования провалов на поверхности и ликвидации провалоопасной зоны на территории Шахты № 12 представляет участок №1 (рисунок 1). Поскольку на остальных участках не выявлены пустоты, оставшиеся после ликвидации шахты.

Как показано на рис. 1 и приведено в документации по ликвидации выработок, все выходящие выработки и стволы на поверхность были ликвидированы и огорожены. Наиболее провалоопасной зоной является участок поверхности, под которым на горизонте +250 проходит квершлаг №1, так как его оставили на самопогашение после ликвидации шахты. Протяжённость квершлага составляет 245 м, ширина и высота квершлага №1 известна, поэтому на основании Методического руководства [*Методическое руководство о порядке выделения провалоопасных зон и выборе комплекса технических мероприятий по выявлению и ликвидации пустот при ликвидации шахт*, 1999], примем что ширина 3 м, высота 2,5 м., угол наклона 0° , площадь поперечного сечения квершлага составляет $7,5 \text{ м}^2$.

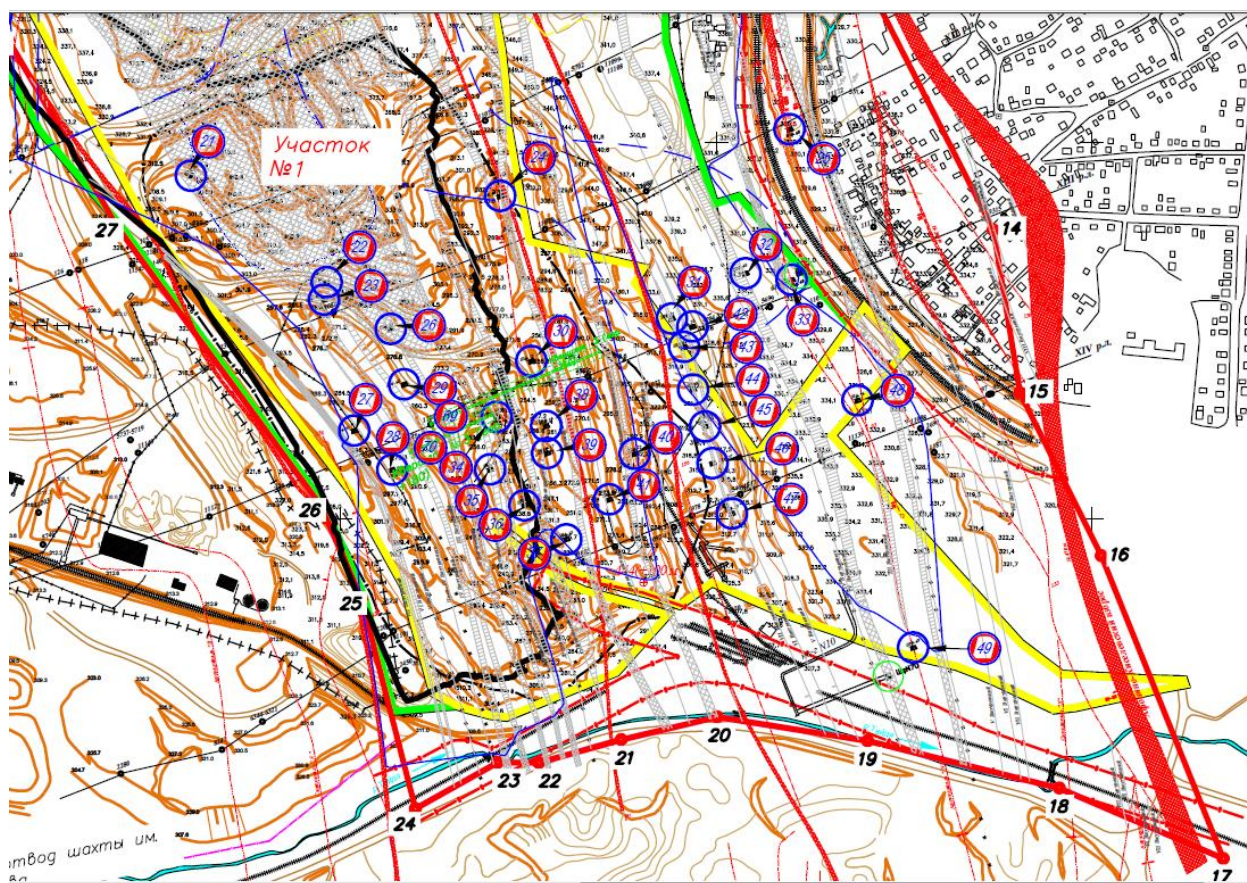


Рис. 1. Фрагмент шахтного поля с опасным участком по образованию провалов.

Оценим предельную глубину выхода провальных воронок и просадок поверхности от горизонтальных выработок, пройденных на малой глубине, оценивается величиной по формуле:

$$H_k < 15 \cdot h_b \cdot K_{\pi}, \text{ м} \quad (1)$$

где H_k - расстояние по вертикали от кровли выработки до контакта коренных пород с наносами, м; h_b - высота выработки вчерне, м (при отсутствии данных принимают $h_b = 2,5$ м); K_{π} - коэффициент, зависящий от строения массива и крепости пород:

- при тонкослоистых слабых и выветренных породах (сланцы, аргилиты, слабые алевролиты) принимают $K_{\pi} = 1,2$; при крепких монолитных породах (песчанистые сланцы, крепкие алевролиты, песчаники) - $K_{\pi} = 0,7$;
- при пересечении выработки или пород над ней крупным тектоническим нарушением и глубине $H_{k2} > 10 h_b$ принимают $K_{\pi} = 1,4$.

В нашем случае коэффициент K_{π} примем за 1,4 поскольку рассматриваемый участок находится в зоне влияния крупного тектонического нарушения, Афонино – Киселевский взброса, как видно на рис. 1.

$$H_k < 15 \cdot h_b \cdot K_{\pi} = 15 \cdot 2,5 \cdot 1,4 = 52,5, \text{ м}$$

С учётом полученной предельной глубины выхода провалов на поверхность H_k , оценим опасность провалов над квершлагом №1. Исходные данные для этого анализа представлены в табл. 1

Табл. 1

Исходные данные для определения опасности выхода провалов над квершлагом

Номер точки	Отметка рельефа H_p , м	Расстояние от нулевого пикета $N_{\text{пик}}$, м
1	260,3	5
2	285,4	71
3	274,7	82
4	257,6	97
5	256,5	109
6	257,6	125
7	254,5	130
8	260,6	153
9	256,6	162
10	258,7	170
11	289,4	195
12	290	226
13	289	239
14	308,6	251
15	310	265
16	311,8	294

Определим глубину расположения квершлага от поверхности для каждой точки по формуле:

$$h_{\text{кв}} = H_{\text{от}} - 250, \quad (2)$$

где 250 это отметка квершлага.

Для точки 1 $h_{\text{кв}} : h_{\text{кв}} = H_p - 250 = 260,3 - 250 = 10,3$ м

Для точки 2 $h_{\text{кв}} : h_{\text{кв}} = H_p - 250 = 285,4 - 250 = 35,4$ м

Для точки 3 $h_{\text{кв}} : h_{\text{кв}} = H_p - 250 = 274,7 - 250 = 24,7$ м

Для точки 4 $h_{\text{кв}} : h_{\text{кв}} = H_p - 250 = 257,6 - 250 = 7,6$ м

Для точки 5 $h_{\text{кв}} : h_{\text{кв}} = H_p - 250 = 256,5 - 250 = 6,5$ м

Для точки 6 $h_{\text{кв}} : h_{\text{кв}} = H_p - 250 = 257,6 - 250 = 7,6$ м

Для точки 7 $h_{\text{кв}} : h_{\text{кв}} = H_{\text{от}} - 250 = 254,5 - 250 = 4,5$ м

Для точки 8 $h_{\text{кв}} : h_{\text{кв}} = H_p - 250 = 260,6 - 250 = 10,6$ м

Для точки 9 $h_{\text{кв}} : h_{\text{кв}} = H_p - 250 = 256,6 - 250 = 6,6$ м

Для точки 10 $h_{\text{кв}} : h_{\text{кв}} = H_p - 250 = 258,7 - 250 = 8,7 \text{ м}$

Для точки 11 $h_{\text{кв}} : h_{\text{кв}} = H_p - H_k = 289,4 - 250 = 39,4 \text{ м}$

Для точки 12 $h_{\text{кв}} : h_{\text{кв}} = H_p - 250 = 290 - 250 = 40 \text{ м}$

Для точки 13 $h_{\text{кв}} : h_{\text{кв}} = H_p - 250 = 289 - 250 = 38,9 \text{ м}$

Полученные данные сравним с ранее рассчитанной предельной глубиной выхода провальных воронок H_k , и оценим опасность выхода провалов над квершлагом на земную поверхность. Полученные данные и их анализ, выхода провалов на поверхность приведены в табл. 2.

Табл. 2

Оценка опасности провалов земной поверхности над квершлагом №1.

Номер точки	Глубина расположения квершлага от поверхности, м	Провалоопасная глубина, м	Оценка опасности для поверхности
1	10,3	52,5	Провалоопасная зона
2	35,4	52,5	Провалоопасная зона
3	24,7	52,5	Провалоопасная зона
4	7,6	52,5	Провалоопасная зона
5	6,5	52,5	Провалоопасная зона
6	7,6	52,5	Провалоопасная зона
7	4,5	52,5	Провалоопасная зона
8	10,6	52,5	Провалоопасная зона
9	6,6	52,5	Провалоопасная зона
10	8,7	52,5	Провалоопасная зона
11	39,4	52,5	Провалоопасная зона
12	40	52,5	Провалоопасная зона
13	38,9	52,5	Провалоопасная зона

Исходя из полученных и проанализированных данных в табл. 2, расчета предельной глубины выхода провальных воронок и просядок поверхности H_k и глубины расположения квершлага от поверхности, мы можем сделать вывод, что весь участок над квершлагом является провалоопасной зоной, в связи, с чем необходима его ликвидация, для предотвращения провала в этой зоне. На основании полученных данных (табл. 1 и 2) построим разрез участка вдоль квершлага №1 с выделением провалоопасных зоны (рис. 2).



Рис. 2. Разреза участка вдоль квершлага с выделением провалоопасных зон.

На сегодняшний момент ликвидацию образованных пустот в выработанном пространстве горизонтальных выработок шахтного поля проводят следующими методами:

- 1) Консервация пустот
- 2) Сотрясательное взрывание с выходом провалом и его засыпка
- 3) Тампонаж пустот через бурение скважин с поверхности [Росстальной, 2007].

Первый метод нам не подходит, так как по рассчитанной предельной глубины выхода провальных воронок и просадок поверхности от горизонтальных выработок, пройденных на малой глубине зона над квершлагом №1 считается провалоопасной и необходимо этот участок перевести в неопасную зону.

Второй метод мы не можем использовать, так как ООО «Шахта 12» расположена в черте города Киселевска и рядом есть жилые застройки и на территории участка шахты проходить железная дорога, а также построена железнодорожная станция, под который оставлен целик для безопасности от провала. Сотрясательное взрывание может привести к выходу провалов в жилой зоне, спровоцировать трещины в жилых домах, что в дальнейшем может привести к разрушению домов, а также деформации поверхности где проходить железная дорога и построена железнодорожная станция [Татаринов и др., 2015]. Плюс зона участка ООО «Шахты 12» находится под влиянием крупного тектонического нарушения - Афоново – Киселевского взброса, что может усугубить ситуацию [Ческидов, 2015].

Ликвидацию пустот создаваемая квершлагом №1, в данных условиях целесообразно провести третьим методом, с помощью тампонажа через скважины, пробуренные с поверхности и обсаженные трубами диаметром не менее 150 мм, и засыпкой негорючими и малопросадочными материалом. Исходя из максимального водопритока 480 м³/час, тампонаж следует произвести по слоено. Материал для засыпки нижнего слоя следует выбрать с свойством, фильтрующим воду, который не будет уноситься водой и в то же время не позволит ей накапливаться, например, можно использовать щебень или другой аналогичным материалом. Последующие слои будем отсыпать песком. Так как квершлаг №1 находится ниже уровня грунтовых вод, т. е. находится в затопленном состоянии угол откоса материала для тампонажа принимается $\alpha = 25^\circ$. Местоположение скважин и схема тампонажа выработок показано на рис. 3.

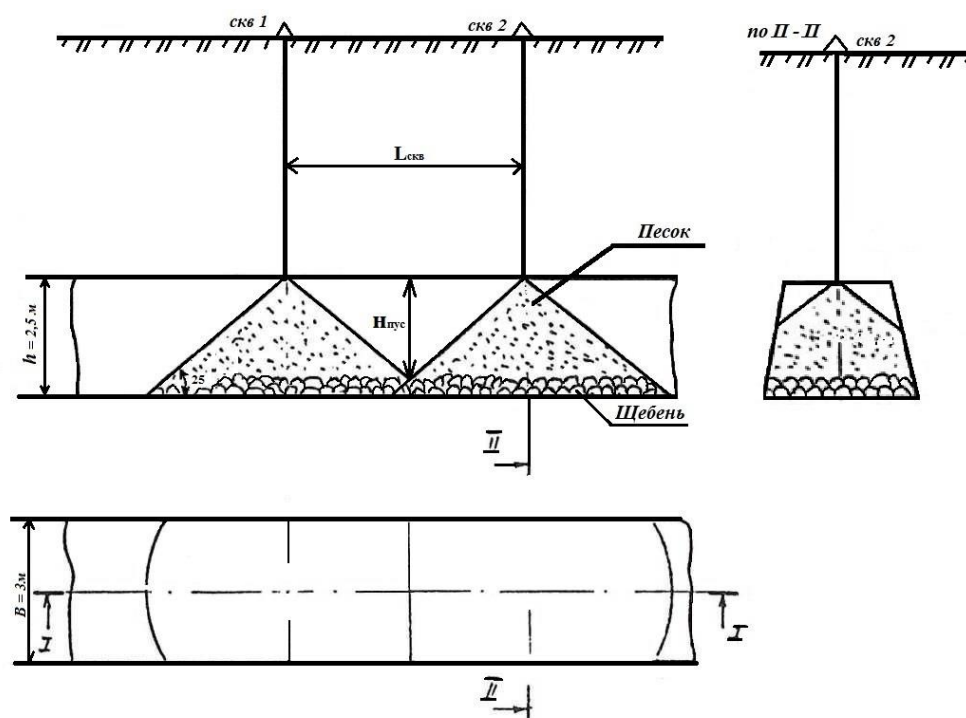


Рис. 3. Схема тампонажа пустот в выработке и расположения скважин.

Расстояние между скважинами устанавливается расчётным путём и обуславливает полноту закладки квершлага №1. Для установления расстояния между скважинами $L_{\text{скв}}$ необходимо чтоб выполнялось следующие условие:

$$H_{\text{пус}} \leq 0,6 \text{ м}$$

Необходимость выполнения этого условия исключит в дальнейшем времени образование провалов под квершлагом №1.

Для расчёта расстояния между скважинами $L_{\text{скв}}$ рассмотрим треугольник ABC (рис. 4), $H_{\text{пус}} = 0,6$, угол BAC равен 25° , так материалом для засыпки будет использован сухой песок, а угол естественного откоса песка в водной среде равен 25° , тогда :

$$L_{\text{СКВ}} = 2 \cdot AO, \text{ м} \quad (3)$$

где $AO = H_{\text{пус}} \cdot \text{ctg} 25^\circ = 0,6 \cdot 2,14 = 1,3 \text{ м}$

$$L_{\text{СКВ}} = 2 \cdot 1,3 = 2,6 \text{ м}$$

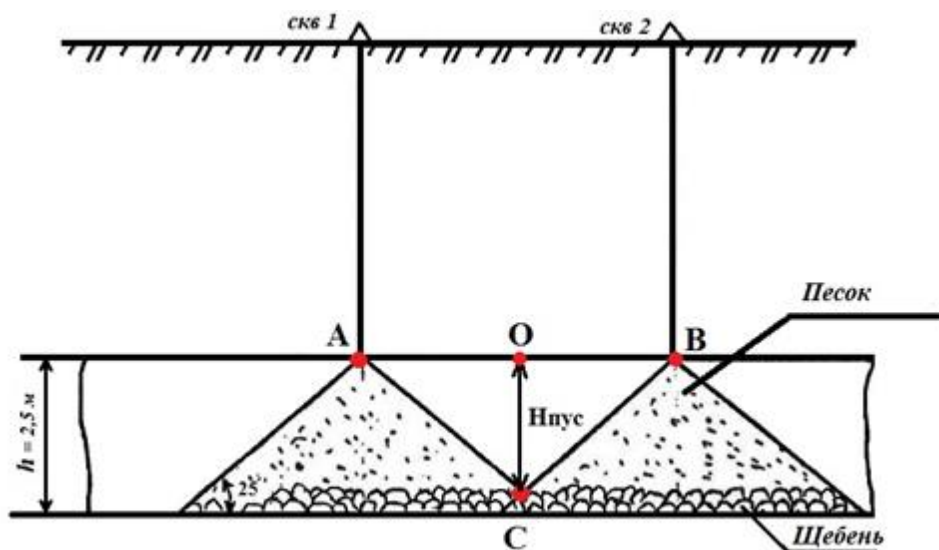


Рис. 4. Расчётная схема.

Так как отрезок АО равен 1,3 м, то длина отрезка АВ равна 2,6 м, или расстояния между скважинами $L_{\text{СКВ}}$ равно 2,6 м.

Рассчитаем нужное число скважин $N_{\text{СКВ}}$:

$$N_{\text{СКВ}} = \frac{L_{\text{КВ}}}{L_{\text{СКВ}}}, \text{ шт} \quad (4)$$

$$N_{\text{СКВ}} = \frac{L_{\text{СКВ}}}{L_{\text{СКВ}}} = \frac{245}{2,6} = 94 \text{ шт}$$

Рассчитать объём необходимого материала для тампонажа квершлага №1:

$$V_{\text{м}} = (V_{\text{КВ}} - V_{\text{пус}}) \cdot V_{\text{у}}, \text{ м}^3 \quad (5)$$

где $V_{\text{у}}$ – уплотнение закладочного материала при тампонировании и примем его равным за единицу; $V_{\text{КВ}}$ – это объём квершлага и определяется:

$$V_{\text{КВ}} = L_{\text{КВ}} \cdot B \cdot h, \text{ м}^3 \quad (6)$$

$$V_{\text{КВ}} = 245 \cdot 3 \cdot 2,5 \approx 1838 \text{ м}^3$$

где $V_{\text{пус}}$ – объём остаточных пустот после тампонажа квершлага №1, рассчитывается как объём пирамиды, умноженной на количество пустот между скважинами:

$$V_{\text{пус}} = \frac{1}{3} \cdot S \cdot H_{\text{пус}} \cdot 2 \cdot N_{\text{пус}}, \text{м}^3 \quad (7)$$

где $N_{\text{пус}} = N_{\text{скв}} - 1$, м^3 отсюда формула (7) можно представить :

$$V_{\text{пус}} = \frac{1}{3} \cdot S \cdot H_{\text{пус}} \cdot 2 \cdot (N_{\text{скв}} - 1), \text{м}^3 \quad (8)$$

$$V_{\text{пус}} = \frac{1}{3} \cdot 1,95 \cdot 0,6 \cdot 2 \cdot 93 \approx 73 \text{ м}^3$$

Тогда объём необходимого закладочного материала для тампонажа квершлага №1 найдём:

$$V_{\text{м}} = (1838 - 73) \cdot 1 \approx 1765, \text{м}^3$$

Объём необходимого песка составить 65 % от $V_{\text{м}}$, а щебня составит 35% на основании «Методического руководства» [*Методическое руководство о порядке выделения провалоопасных зон и выборе комплекса технических мероприятий по выявлению и ликвидации пустот при ликвидации шахт*, 1999].

Согласно принятому способу ликвидации квершлага, производство работ осуществляются в следующем порядке:

1) Подготовка мест производства работ путем планировки и организации подъездных путей согласно ситуационному плану на участке №1.

2) Бурение скважин для подачи тампонажных смесей в точках.

3) По слоеная засыпка материалов через скважины

4) Тампонаж скважин.

Бурение скважин для подачи тампонажно-закладочных материалов в квершлаг №1 осуществим установками разведочного бурения типа УРБ-3-А-3 и УРБ-3 АМ без выхода керна, с продувкой сжатым воздухом через буровой инструмент, соединение буровых труб – ниппельное.

Таким образом, для ликвидации пустот на участке № 1 на Горном отводе ООО «Шахты 12», над квершлагом, необходимо пробурить 94 скважины глубиной 5-40 м (зависимо от глубины расположения квершлага №1 от поверхности) и около 1765 м^3 закладочного материала, щебня примерно потребуется 618 м^3 , а песка 1147 м^3 . В результате ликвидации провалоопасной зоны 73 га нарушенных земель можно передать в хозяйственное пользование г. Киселевска.

Литература

- Батугин А. С., И. В. Головки, В. А. Семенов, В. Р. Мусина, Ш. Р. Мухитдинов*, Оценка ширины зон влияния границ блоков по данным проявления техногенной сейсмичности в горнопромышленном районе Кузбасса, №7, 2015, С. 211-214.
- Коликов К. С., В. В. Ческидов, А. И. Маневич*, Мониторинг состояния откосных сооружений и оснований на горнодобывающих предприятиях, Горный информационно-аналитический бюллетень, № 12, 2015, С. 124 – 137.
- Кураков Ю. И., В. Н. Кухтин, В. Г. Суворов*, Влияние закрытия шахт на окружающую среду шахтных городов и поселков, № 4, 2004.
- Росстальной Е. Б.*, Совершенствование технологии тампонажа закрепных пустот капитальных выработок угольных шахт, Вестник Кузбасского государственного технического университета, № 6, 2007.
- Татаринов В. Н., Е. Г. Бугаев, Т. А. Татаринова*, К оценке деформаций земной поверхности по данным спутниковых наблюдений, Горный журнал, №10, 2015, С. 27-32. DOI: [dx.doi.org/10.17580/gzh.2015.10.05](https://doi.org/10.17580/gzh.2015.10.05)
- Хотченков Е. В., А. С. Батугин, И. М. Батугина*, Результаты геодинамического районирования как основа совершенствования горно-экологического мониторинга карстовых процессов, Мониторинг. Наука и технологии, №2, 2013, С. 14-23.
- Ческидов В. В.*, Инженерно-геологическое обеспечение управления состоянием массивов горных пород на оползнеопасных территориях, Горная промышленность, № 1, 2015, С. 84.
- Шпаков П. С., А. Г. Урузбиева, А. И. Маневич*, Инженерно-геологический и геоэкологический мониторинг состояния сложных объектов горнодобывающего комплекса, Горный информационно-аналитический бюллетень, №8, 2016, С. 406 – 413.

Приложение

Методическое руководство о порядке выделения провалоопасных зон и выборе комплекса технических мероприятий по выявлению и ликвидации пустот при ликвидации шахт, 1990.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЗАБЛАГОВРЕМЕННОЙ ДЕГАЗАЦИИ
ОДНОГО ИЗ УЧАСТКОВ ПОЛЯ ШАХТЫ ИМ. КИРОВА В КУЗБАССЕ

А. А. Захарова, Н. И. Чугунова

Горный институт НИТУ «МИСиС»

alexaza@mail.ru

Аннотация

В данной статье рассмотрена заблаговременная дегазация одного из участков поля шахты для снижения природной газоносности пласта, давление метана в пласте до начала очистных работ в шахтном поле, что позволит уменьшить опасность внезапных выбросов газа и угля. Сделан прогноз суммарного объема извлекаемого газа.

Ключевые слова: заблаговременная дегазация, добыча угля, гидрорасчленение, утилизация метана.

В условиях перспектив роста объемов и интенсивности подземной добычи угля возрастает актуальность проблемы извлечения метана из неразгруженного от горного давления углегазонасного массива. Это позволит рассмотреть уголь, как нетрадиционный резервуар, связанный с огромными ресурсами газа, повысить производительность труда, безопасность добычи угля и снизить выбросы в атмосферу большого количества метана – парникового газа. Неразгруженный угольный пласт представляет собой газоносную блочно-трещиноватую среду с иерархической структурой и частично скрытой, частично явной природной нарушенностью (трещиноватостью). Природная проницаемость этой системы крайне низка и для обеспечения эффективной дегазационной подготовки необходимо проведение воздействий, обеспечивающих раскрытие природных трещин, объединение их в фильтрационные каналы, что, в свою очередь, создает условия для десорбции метана и его миграции в дегазационную (добычную) скважину [Сластунов и др., 2015].

Поэтому возникает необходимость проведения инженерной дегазации угленосной толщи в целом по месторождению или отдельных шахтных полей [Методические рекомендации о порядке дегазации угольных шахт РД-15-09-2006, 2007; Правила безопасности в угольных шахтах ПБ 05-618-03; 2003].

В связи с тем, что на шахте им. Кирова планируется разрабатываться пласт Болдыревский лавы, которые залегают на глубине 500 м, пласт считается выбросоопасный, по химическому составу угленосные относятся к кольчугинской серии верхнепермского

периода Ленинской свиты и по химическому составу содержит: Fe_2O_3 – 9,7 %, Al_2O_3 – 21,4 %, MgO – 3,0 %, SiO_2 – 45,0 %.

Природная газоносность пластов угля по данным геологической разведки характеризуется следующими значениями по горизонтам: ± 0 – 10 м³/т с.б.м; -100 м – 15 м³/т с.б.м; -200 м – 18 м³/т с.б.м; -300 м – 20 м³/т с.б.м; -400 м – 22 м³/т с.б.м; -500 м – 25...26 м³/т с.б.м.

Предлагается на данных пластах провести заблаговременную дегазацию. Для этого будем проводить гидрорасчленение с нагнетанием в скважины сначала воды, а затем раствора комплексонов для растворения минеральных составляющих угольных пластов с низкой проницаемостью для извлечения метана из неразгруженных угольных пластов [Королёва, 2004; Ельчанинов и др., 2012; Удалова и др., 2012]. Гидрорасчленение угольных пластов, обеспечит повышение проницаемости на 2-3 порядка. Радиус воздействия в основном составляет 120-140 м, в ряде случаев водопроявления отмечены на расстоянии до 400 м от нагнетательной скважины. Трещины закрепляются песком, в последующем возможна возможность их сохранения за счет остаточных деформаций.

Дегазация на основе гидрорасчленения пластов (ГРП) применяется на пластах с природной газоносностью более 10 м³/т и при их залегании в водонепроницаемых породах не ниже средней устойчивости.

Заблаговременная дегазация осуществляется при сроке извлечения метана из угольного пласта более 3 лет [Сластунов, 2015], Технология дегазации угольных пластов с предварительным их гидрорасчленением включает три основных этапа: гидродинамическое воздействие; освоение скважин и извлечение газа из угольных пластов, а также отсос газа из выработанного пространства после подработки скважин ГРП очистными работами. Гидрорасчленению из одной скважины могут быть подвергнуты пласты угля мощностью свыше 0,2 м, а также труднообрушаемые и газоносные породы. Скважины при заблаговременной дегазации закладываются на расстоянии не менее 300 м от действующих пластовых выработок и не более радиуса их влияния от тектонических нарушений с амплитудами, превышающими мощность обрабатываемого пласта [Маневич и др., 2017; Егорова и др., 2016, Колико, 2015] (рис. 1).

Скважины ГРП бурятся на 30-40 м ниже почвы последнего из принятых к гидрорасчленению угольных пластов, то есть наиболее удаленного от земной поверхности пласта. Конструкция скважины определяется числом пересекаемых интервалов водопоглощения, каждый из которых перекрывается промежуточной колонной с

цементацией затрубного пространства. Эксплуатационная колонна с внутренним диаметром не менее 98 мм цементируется на всю глубину.

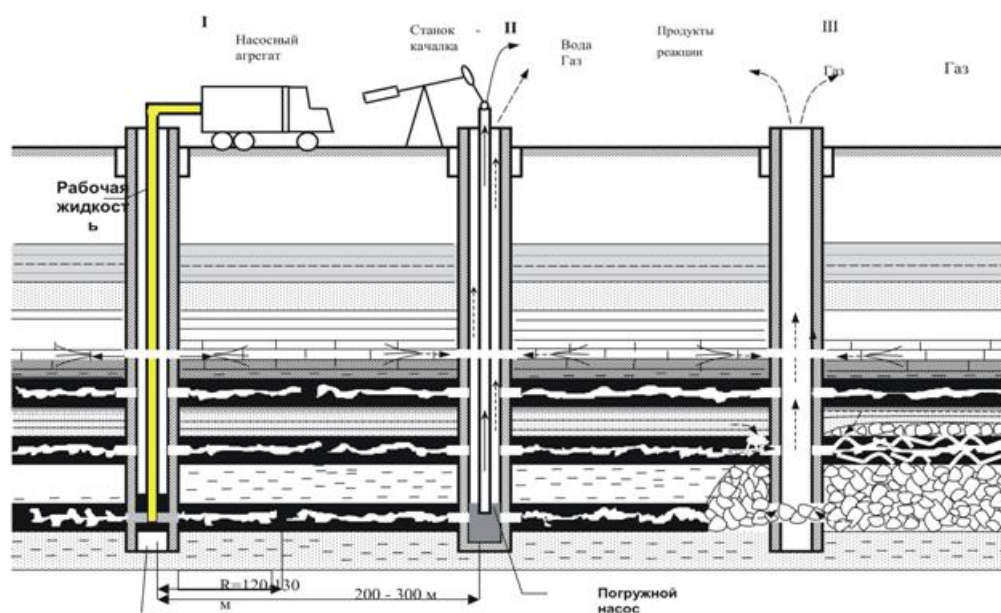


Рис. 1. Поэтапная технология дегазации свиты угольных пластов скважинами с поверхности: I - ГРП и другие активные воздействия на неразгруженную свиту пластов; II - освоение скважин (извлечение воды и метана); III - дегазация подработанного массива.

Для гидрорасчленения могут быть использованы переоборудованные геологоразведочные скважины. При гидрорасчленении выбросоопасных угольных пластов, на которых должна быть обеспечена разгрузка призабойной части пласта, может производиться дополнительное воздействие на вмещающую породу основной кровли.

Вскрытие подверженных гидровоздействию угольных пластов или вмещающих горных пород в обрабатываемой угленосной толще проводится путем гидро- или кумулятивной перфорации скважины.

Расчленение угольных пластов в свите производится последовательно, начиная с нижнего пласта. Все ранее обработанные интервалы скважины ГРП изолируются с помощью песчаной пробки или пакером.

В качестве рабочих агентов для расчленения пластов используются вода и водные растворы комплексонов (типа НТФ и ИСБ-М) применяются на угольных пластах с высоким (более 10 %) содержанием в минеральной части угля соединений металлов (Fe, Cu, Mg и др.), то есть пирита, халькопирита, сидерита и др. Рабочие концентрации растворов НТФ и

ИСБ-М для углей марок «ОС», «Ж», «Т», «А» составляют 1-5 % и 2-10 % соответственно [Королёва, 2004].

В случае падения давления, отмеченного при постоянном темпе нагнетания и свидетельствующего о гидравлической сбойке с полостью, закачка рабочей жидкости прекращается и производится тампонаж гидропроводных каналов древесными опилками или высоковязкими жидкостями. Тампонаж гидропроводных трещин проводится до тех пор, пока давление нагнетания не достигает проектных величин.

При гидрорасчленении мощных пластов, залегающих на глубинах более 600 м, в скважину ГРП закачивается закрепитель, например, песок. На пластах мощностью до 2 м нет необходимости в закрепителе, поскольку трещины сохраняются в раскрытом виде за счет остаточных деформаций угля.

После гидрорасчленения последнего из обрабатываемых пластов скважина ГРП закрывается на 3-12 месяцев для выдержки рабочей жидкости в пласте. По истечении срока выдержки скважина ГРП промывается до забоя. Рабочая жидкость из нее удаляется с помощью эрлифта, глубинных штанговых насосов с приводом от станка-качалки или погружных электронасосов.

Проведем расчет необходимого количества воды и водного раствора.

Для условий проведения заблаговременной дегазационной подготовки пласта эффективный радиус гидрообработки принимался $R_{эф} = 120$ м. Соответственно, большая и малая полуоси зоны гидрообработки составили: $R_1 = 143$ м, $R_2 = 100$ м.

Объем закачки рабочей жидкости на стадии ГРП:

$$Q_{ж} = K_n \cdot \pi \cdot R^2 \cdot m_n \cdot n_g, \text{ м}^3$$

где K_n – коэффициент, учитывающий потери жидкости на фильтрацию и нарушенность обрабатываемого участка, $K_n=1,1 \div 1,6$; m_n – полная мощность пласта, 2,1 м; n_g – эффективная пористость пласта, 0,03; R_g – эффективный радиус воздействия, 120 м.

$$Q_{ж.} = 3,14 \cdot 120^2 \cdot 2,1 \cdot 0,03 \cdot 1,1 \cdot 1,05 = 3290 \text{ м}^3$$

Объем (V) дегазируемых запасов составил:

$$V = m_n \cdot \pi \cdot R_{эф}^2 = 94954 \text{ м}^3,$$

где m_n – полная мощность пласта, 2,1 м; L – длина лавы, 230 – 300 м; $R_э$ – эффективный радиус воздействия, 120 м.

Обрабатываемые запасы угля:

$$m_V = V \cdot r_{yz} = 123440 \text{ т},$$

где r_{yz} – объёмная плотность, равна 1,3 т/м³.

Примем длину разведки 1600 м. Необходимое число скважин 7 шт.

Суммарные дегазационные запасы составят:

$$m_{\text{сум}} = \frac{m_v \cdot n}{k} = 785528,5 \text{ т},$$

где n – число скважин; k – коэффициент для

Скважины, предназначенные для гидрорасчленения, располагаются таким образом, чтобы:

- отсутствовали необработанные участки пласта при минимальном количестве скважин;
- перекрывались зоны воздействия от смежных скважин;
- скважины, пересекая пласт угля, находились на расстоянии 30–40 м от запланированных на выемочном поле выработок.

Необходимое количество товарной НТФ кислоты $Q_{\text{кт}}$:

$$Q_{\text{НТФ}} = 10^2 \cdot \pi \cdot R_э \cdot m_n \cdot \rho_{yz} \cdot C_k \cdot q_{yz} \cdot C_{\text{кт}}^{-1} \cdot k_{\mu} \cdot k_{\text{и.н.}} = 0,13 \text{ т}$$

где $\rho_{\text{уд}}$ – плотность угля, т/м³; C_k – содержание минералов в фильтрующих каналах, доли ед.; $q_{\text{уд}}$ – удельный расход 98 %-ной НТФ кислоты на 1 т минералов, принимается равным 0,1 т/т, определялся экспериментально; $C_{\text{кт}}$ – концентрация товарной кислоты ($C_{\text{кт}} = 98 \%$); k_{μ} – коэффициент, учитывающий сорбцию и скорость реакции НТФ кислоты с минералами, ($k_{\mu} = 0,02$); $k_{\text{и.н.}}$ – коэффициент, учитывающий интерференцию скважин и неравномерность обработки массива ($k_{\text{и.н.}} = 0,8$).

Объем кислотного раствора ($Q_{\text{НТФ}}$, м³, с рабочей концентрацией C_p , равной 1 %, составляет:

$$Q_{\text{кр}} = \frac{Q_{\text{НТФ}} \cdot C_{\text{кт}}}{\rho_k \cdot C_p} = 9,6 \text{ м}^3$$

где ρ_k – плотность НТФ кислоты, принимается равной 1,33 т/м³.

Рабочий темп закачки q_p , м³/с, жидкости в последнем цикле, обеспечивающий необходимый радиус обработки, определяется:

$$q_p = \frac{R_p - 90}{3,5} \sqrt{\frac{\pi \cdot m_n \cdot n_p}{Q'}} = 0,07 \text{ м}^3/\text{с}$$

где $Q' = Q_{\text{ж}} - Q_{\text{кр}} - 200$, м³; n_p - эффективная пористость угольного пласта, равна 0,03 доли ед.

Ожидаемое давление $P_{\text{ус}}$, МПа, на устье скважины при рабочем темпе нагнетания жидкости определяется из выражения

$$P_{\text{ус}} = (0,02 \div 0,025) \cdot H = 11,25 \text{ МПа},$$

где H - глубина залегания пласта, равна 500 м [Сластунов и др., 2015].

Проведем расчет планируемого суммарного объема извлекаемого газа q' , зависящий от газоносности обрабатываемого пласта и времени эксплуатации скважин [Коликов, 2016], определяется:

$$q' = a' \ln t_p/k_0 + b' = 3,35 \cdot \ln 3/1 + 2,45 = 6,2 \text{ м}^3/\text{т},$$

где a' , b' коэффициенты, значения которых приведены в таблице 1; t_p - время освоения и эксплуатации скважин гидрорасчленения, т.е. срок дегазации ($t_p > 3$ лет); k_0 - коэффициент приведения, $k_0 = 1$ год.

Табл. 1.

Значения коэффициентов a' и b' .

Коэффициенты	Размерность	При природной газоносности пласта, м ³ /т		
		10-15	15,1-20	20,1-25
a'	м ³ /т	2,1-2,8	2,9-3,3	3,4-3,7
b'	м ³ /т	0,7-1,0	1,1-1,4	1,5-1,9

Тогда планируемый общий объем метана за время дегазации составит:

$$V_{\text{общ}} = m_{\text{сум}} \cdot q' = 785528,5 \cdot 6,2 = 4,9 \text{ млн. м}^3$$

Таким образом, в результате заблаговременной дегазации планируемого участка поля шахты длиной разведки 1600м с размещением 7 скважин получим 4,9 млн. м³ метана за 3 года.

Литература

Егорова Е. А., К. С. Коликов, Х. А. Мегид, Оценка проницаемости угольного пласта с учетом неоднородности в геологической структуре кровли, Горный журнал, № 6, 2016, С. 56-59.

Ельчанинов Е. А., Н. П. Удалова, Е. А. Ельчанинова, О. О. Посеряева, Обогащение метановоздушных смесей метаном до концентраций, требуемых промышленными установками, Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), № 11, 2012, С. 250-253.

Коликов К. С., В. Н. Королева, В. А. Егорова, А. И. Маневич, Оценка выбросопасности выемочного участка в зоне геологических нарушений с учетом аномальных зон, Горный информационно-аналитический бюллетень, №10, 2015, С. 3 – 8.

Коликов К. С., С. Г. Никитин, А. И. Маневич, Аналитическая оценка прогноза метанообильности, рекомендуемого нормативными документами, Безопасность труда в промышленности, №8, 2016, С. 34-39.

Королёва В. Н., Извлечение и утилизация шахтного метана, 2004, С. 286.

Маневич А. И., В. А. Макаров, П. Н. Пащенко, Перспективы математического моделирования как составной части геомеханического мониторинга на шахтах с целью повышения эффективности управления газовойделением, Горный информационно-аналитический бюллетень, №6, 2017, С. 91 – 100.

Методические рекомендации о порядке дегазации угольных шахт РД-15-09-2006, НТЦ «Промышленная безопасность», 2007, С. 230.

Правила безопасности в угольных шахтах ПБ 05-618-03, Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 2003.

Сластунов С. В., К. С. Коликов, Г. П. Ермак, Е. П. Ютяев, Решение проблемы безопасности угледобычи в долгосрочной программе развития отрасли, Горный журнал, №4, 2015, С. 46-49.

Сластунов С. В., К. С. Коликов, А. А. Захарова, Е. В. Мазаник, Выбор эффективной физико-химической технологии дегазации угольных пластов, Химия твердого топлива, № 6, 2015, С. 44-49.

Удалова Н. П., К. С. Коликов, Е. А. Ельчанинов, Использование некондиционного шахтного метана, Международный научно-исследовательский журнал, № 1-4, 2017, С. 147-149.

СОВРЕМЕННЫЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ
ГОРНОДОБЫВАЮЩЕМ ПРЕДПРИЯТИИ

Н. П. Удалова, П. П. Ганган

Горный институт НИТУ «МИСиС»

udal71@mail.ru

Аннотация

В статье изложены основные области использования отвалов горнодобывающей промышленности. Рассмотрены вопросы использования породных отвалов как техногенных месторождений, которые представляют собой новый источник минерального сырья, образованный в результате промышленного производства. Подобные месторождения часто обладают необычным минеральным составом и могут служить крупным потенциальным источником разнообразных полезных компонентов, в частности редкоземельных и благородных металлов. Рассмотрены и другие области использования отвалов, реализованных на практике, как-то: рекультивация земель, нарушенных горными работами, использование отвальных пород для целей и задач строительства и другие способы использования отвалов (очистка вод, переформирование рельефа местности).

Ключевые слова: породные отвалы, отвалы, гидроотвалы, золоотвалы, техногенные месторождения, рекультивация

При разработке месторождений твердых полезных ископаемых (ТПИ) формируются отвалы, являющиеся неотъемлемой частью любого горного предприятия. В зависимости от месторождения (его горнотехнических, геологических и экономических условий освоения) формируются различные виды отвалов горных пород или продуктов их переработки, это в свою очередь влияет на области применения отвалов в жизненном цикле горнодобывающего предприятия [Верчеба и Маркелов, 2003; Верчеба и Бортников, 1995]. Основная перспективная область применения отвалов - это так называемая разработка техногенных месторождений, которыми и могут являться отвалы. Однако в практике настоящего времени отвальные породы используются при закладке (засыпке) выработанного пространства, строительстве (гражданском, автодорожном, железнодорожном), рекультивации нарушенных земель, фильтрации рудничных вод.

Отвал горных пород, или породный отвал – техногенный массив, формируемый на специально отведённой площади из горных пород, получаемых в процессе освоения месторождения (разработки и переработки полезного ископаемого).

По типу формирования отвалы можно разделить на насыпные и намывные (они же гидроотвалы). Ключевая особенность гидроотвалов в том, что это гидротехническое сооружение, предназначенное для размещения грунтов, горных пород и различных материалов, поступающих в виде пульпы (гидросмеси). Так же, нужно отметить что при открытой разработке горизонтальных и пологозалегающих залежей породный отвал могут формировать в выработанном пространстве карьера (внутренний породный отвал), а при разработке крутопадающих залежей и вскрытии любых месторождений - за пределами контура карьера (внешний породный отвал).

Так же существует множество классификаций породных отвалов по технологическим способам их формирования (в зависимости от техники, задействованной при отсыпке и транспортировании горной породы), вместительности, геометрическим признакам и т.д. (однако в контексте области применения отвалов – подробно их рассматривать не стоит).

Ежегодно образование отходов предприятий горно-обогатительного сектора только увеличивается, это в первую очередь связано с наращиванием производительности горнодобывающих и перерабатывающих предприятий и одновременно усложняющимися горно-геологическими условиями разработки месторождений, а также снижением среднего содержания полезных компонентов в добываемой горной массе [Надымов, 2015]. Тем самым на земной поверхности формируются огромные по занимаемой площади отвалы различных отходов как от горного, так и от перерабатывающего производств [Morozov *et. al.*, 2003]. Отходами горного производства традиционно считаются неиспользуемые продукты добычи и переработки минерального сырья, выделяемые из массы добытого полезного ископаемого (горной массы) в процессах разработки месторождения.

Аспект освоения техногенных месторождений обусловлен экологическими целями. Природоохранные и экологические задачи сохранения окружающей среды во многом обусловлены решением вопросов утилизации техногенных минеральных образований и рекультивации территории горнорудных объектов.

Техногенные месторождения — это скопление минеральных веществ на поверхности Земли или в горных выработках, образовавшееся в результате их отделения от массива и складирования в виде отходов горного, обогатительного, металлургического и других производств и пригодное по количеству и качеству для промышленного использования (для извлечения металлов и других полезных компонентов, получения топлива и стройматериалов). К техногенным месторождениям относятся отвалы добычи полезных ископаемых, хвостохранилища обогатительных фабрик, золо- и шлакоотвалы

ТЭЦ, складированные отходы металлургического и других производств [Гальперин и др., 2006].

Геологический аспект освоения техногенных минеральных ресурсов заключается в том, что данная минеральная масса уже отделена от горного массива и складирована на поверхности земли. Их геолого-экономическая оценка не требует проведения дорогостоящих геологоразведочных работ, связанных с проведением горных выработок. Основной задачей геолого-экономической оценки техногенного сырья является изучение его технологических свойств и новых техногенных минеральных образований, возникших за время хранения горной массы [Надымов, 2015].

В качестве основных геологических факторов, определяющих методику разведочных работ, следует выделить: запасы техногенных образований, морфологию и внутреннее строение залежей техногенного сырья, гидрогеологические условия, экологическую агрессивность минеральной массы, пространственную изменчивость свойств техногенного сырья и перспективные технологии его переработки. Указанные аспекты показывают, что возникла необходимость решения проблемы освоения техногенных минеральных ресурсов как экономически рентабельных и экологически неблагоприятных.

Техногенные месторождения представляют собой новый источник минерального сырья, образованный в результате промышленного производства. Подобные месторождения часто обладают необычным минеральным составом и могут служить крупным потенциальным источником разнообразных полезных компонентов, в частности редкоземельных и благородных металлов. На данный момент, существует несколько примеров разработки техногенных месторождений:

- На фабрике «Толедо» (Филиппины) хвосты содержат 0,08% меди. На фабрике действует установка для перефлотации песковой части хвостов, содержащей 0,13% меди. Получаемый медный концентрат с содержанием 1,0 - 1,5% меди направляют на основную фабрику, где его объединяют с концентратом контрольной флотации, доизмельчают и перечищают до конечного медного концентрата. Применение данной технологии на фабрике позволило повысить общее извлечение меди с 87,84 до 91,69% и содержание меди в концентрате — с 28 до 30%. Содержание меди в хвостах снизилось до 0,05%;
- На ОАО «Святогор» шламы Сорьинской обогатительной фабрики вовлекаются в переработку (500 тыс. тонн в год) с использованием флотации и магнитной сепарации; получают медный, апатитовый и железо-ванадиевый концентраты, а также строительный песок. На этом предприятии с 1998 г. также осуществляется

переработка пирит содержащих хвостов обогащения флотационным способом с целью извлечения меди, железа и драгоценных металлов; получают медный и пиритный концентраты;

- На ОАО «СУМЗ» с 2005 г. шлак перерабатывают флотацией с получением медного концентрата и железистых песков. Производительность линии переработки —1200 тыс. тонн шлаков. При переработке 1 млн. тонн шлаков получают 6 тыс. тонн меди, около 200 кг золота, 6 тонн серебра, 900 тыс. тонн железистых песков

В настоящее время идет детальное изучение техногенных месторождений, разработка их классификаций, технических методов разработки и обогащения, создания информативно-аналитических баз данных, но пока что широкого применения добыча минерального сырья таким способом – не получила.

Использование техногенных ресурсов в стройматериалах вместо природного минерального сырья существенно снижает экологическую нагрузку на природу.

Породы горных отвалов можно использовать как источник материалов строительного сырья, однако в отличие от традиционных месторождений строительных материалов (цементное сырье, галечники, пески, гравий, известняки, кварциты, мрамор, изверженные горные породы, перлиты и др.), отвальные породы могут служить скорее дополнительными наполнителями строительных смесей [Гавришев и Пыталев, 2007].

Для дорожного строительства используют так называемый «золото-шлако-породный гравий». Важным документом, стандартизирующим применение отходов угольной и металлургической промышленности для дорожного строительства является ГОСТ 8269. 0-97 (Межгосударственный стандарт) «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ». Настоящий стандарт распространяется на щебень и гравий из плотных горных пород (в том числе попутно добываемых вскрышных и вмещающих пород и некондиционных отходов горных предприятий) и отходов промышленного производства (в том числе шлаков черной и цветной металлургии и тепловых электростанций) со средней плотностью зерен от 2,0 до 3,0 г/см³, применяемых в качестве заполнителей для тяжелого бетона, а также дорожных и других видов строительных работ.

Проведенные исследования с целью сбора данных, подбора составов смесей на основе отобранных проб, изучение показателей физико-механических свойств смесей горелых пород позволяют определить следующие области применения материала в дорожном строительстве:

- для отсыпки земляного полотна автомобильных дорог с учетом каркасности смеси без или с назначением комплекса противопучевых или изолирующих мероприятий;

- для устройства оснований автомобильных дорог без или с обработкой минеральными вяжущими и получением материала всех трех классов прочности по СН 25-74;
- для устройства покрытий автомобильных дорог с использованием асфальтобетона всех трех марок по ГОСТ 9128-84.

Отдельно стоит выделить золошлаковые (ЗШМ) материалы. Опыт применения ЗШМ достаточно велик: это использование золы при производстве цементно-сырьевых смесей; приготовление искусственных пористых наполнителей; применение в строительной индустрии – изготовлении стеновых блоков, кирпичей, кровельных материалов, теплоизолирующих плит; в дорожном строительстве в качестве насыпного материала; в сельскохозяйственной отрасли в качестве удобрений; большое количество золошлаковой смеси используется для строительства ограждающих дамб на шлакоотвалах, т.е. на собственные нужды ТЭС. В производстве легких бетонов в качестве кремнеземистого компонента используют золу-унос, содержащую повышенное количество SiO_2 минимальное количество CaO (менее 10%). Введение кислой золы в состав бетона приводит к снижению его плотности, повышению прочности и морозостойкости. Рефтинская зола обладает пуццолановой активностью, т.е. способностью связывать при обычных температурах гидроксид кальция, образуя нерастворимые соединения. Благодаря этой особенности, ее используют в качестве вяжущего для цементов. Помимо увеличения прочности и экономии вяжущего, при введении золы достигается снижение водоотделения и расслаиваемости бетонной смеси, повышение коррозионной стойкости и морозостойкости бетона, улучшение поверхности изделий. Среди перспективных способов использования ЗШМ можно выделить использование золошлака при рекультивации угольных разрезов, что позволяет одновременно решать две задачи: рекультивировать нарушенные горными работами земли и снизить техногенную нагрузку на окружающую среду, уменьшив площадь и объем золоотвала.

С целью уменьшения ущерба для окружающей среды породные отвалы стремятся размещать в выработанном пространстве карьеров, зонах обрушений, ущельях, оврагах и т.п. с подветренной стороны населённых пунктов и промышленных площадок. При разработке крутопадающих залежей площади под породные отвалы значительно превосходят площади самого карьера, поэтому отвалы развивают в высоту. Все отвалы подлежат рекультивации, в связи с чем их откосам придают ступенчатую форму и при необходимости покрывают растительным слоем [Коликов и др., 2015]. При отсыпке в породные отвалы токсичных пород их консервируют внутри отвального массива.

Внутренние породные отвалы рекультивируют, как правило, с целью использования их в сельскохозяйственном производстве, а внешние — для устройства на них лесонасаждений. По мере реализации принципа безотходности производства возрастают масштабы использования отвальных пород в качестве строительных материалов, что в свою очередь способствует уменьшению потерь земель, отчуждаемых под породные отвалы.

Основные направления использования отвалов горных пород в рекультивации так или иначе связаны с перемещением и отсыпкой горной массы:

- Засыпка карьерных выемок;
- Использование пород для восстановления ландшафта;
- Использование некоторых отвальных пород для биологического этапа рекультивации (как площадь для высадки, или как добавку к почвенному слою — к примеру, золошлаковые материалы).

На возможность применения в рекультивации, для прогнозирования поведения будущей, рекультивируемой природно-технической системы влияют свойства (горно-технические, инженерно-геологическое, биологические), качество (пригодность отвалов горных пород к реализуемому способу обращения с ними) и их долговечность (свойство сохранять во времени основные характеристики).

Помимо использования отвальных пород в строительной отрасли, рекультивации и в качестве источников минерального сырья, отвалы могут быть задействованы и других областях горного производства, рассмотрим два примера — закладка подземного пространства и очистка сточных вод дражными отвалами.

Для очистки от взвешенных частиц сточных вод могут использоваться грунтовые плотины (дражные отвалы) — классического механического геохимического барьера. Такой тип очистки используется только в качестве этапа механической очистки и с обязательным исследованием фильтрующего массива, для обоснования возможности очистки сточных вод.

Закладка выработанного пространства (подземного) — совокупность процессов по заполнению подземного выработанного пространства шахт закладочными материалами. Закладка выработанного пространства применяется для управления горным давлением, снижения потерь полезных ископаемых в недрах, выемки законсервированных охранных целиков, предотвращения подземных пожаров и внезапных выбросов угля и газа, уменьшения деформаций поверхности земли и охраны от разрушения объектов на подрабатываемых территориях, оставления в шахте породы от проходческих работ, повышения безопасности горных работ. В зависимости от полноты заполнения

выработанного пространства закладка выработанного пространства может быть полной или частичной (в виде охранных полос при поддержании выработок). По способу транспортирования закладочного материала и формирования из него массива закладка разделяется на гидравлическую, пневматическую, твердеющую, самотёчную, механическую. Гидравлическую закладку впервые начали применять в 80-е годы 19 века в США и с 1894 в Германии. Первые опыты по использованию сжатого воздуха для доставки закладочных материалов по трубопроводам проведены в 1904-05 в Германии. В промышленном масштабе пневматическая закладка впервые применена в Германии в 1924 на руднике "Дойчланд". Твердеющая закладка впервые использована в 1924 на золоторудной шахте "Бракпан" (Южная Африка) [Бронников и Цыгалов, 1989].

Литература

- Бронников Д. М., М. Н. Цыгалов, Закладочные работы в шахтах: Справочник, 1989, С. 400.
- Верчеба А. А., С. В. Маркелов, Техногенные месторождения, способы их формирования и переработки: МГГУ им. Серго Орджоникидзе, 2003, С. 66.
- Верчеба А. А., А. Я. Бортников, Геология и разведка месторождений полезных ископаемых, 1995.
- Гавришев С. Е., И. А. Пыталев, Перспективные направления использования отвалов и выработанного карьерного пространства, Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова, №4, 2007, С.10 – 16.
- Гальперин А. М., В. Ферстер, Х. Шеф-Ю, Техногенные массивы и охрана природных ресурсов, Т. 2, 2006, С. 259.
- Коликов К. С., В. В. Ческидов, А. И. Маневич, Мониторинг состояния откосных сооружений и оснований на горнодобывающих предприятиях, Горный информационно-аналитический бюллетень, № 12 (9601), 2015, С.124 – 137.
- Надымов Д. С. Разработка организационно-экономического механизма освоения техногенных месторождений с привлечением потенциала государственных институтов развития, Диссертация на соискание уч. ст. д.э.н. НМСУ «Горный», 2015, С. 157.
- Morozov V. N., Labuntsova L. M., Ponomarev A.V., Tatarinov V. N., The assessment of heavy metals pollution of water bodies and soil in the zone of ecological disaster (city Karabash), «Environment, Technology, Resources» 4th International Conference. Rezekne, 2003, pp. 178-185.

НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Е. А. Ельчанинов, Н. П. Удалова

Горный институт НИТУ «МИСиС»

udal71@mail.ru

Аннотация

Проанализированы основные направления функционирования топливно-энергетической отрасли в России и за рубежом. Определены основные направления повышения эффективности функционирования топливно-энергетической отрасли в добывающих регионах Российской Федерации. Озвучены основные проблемы и намечены основные пути решения по повышению эффективности топливно-энергетической отрасли с учетом климатических и географических особенностей различных регионов России

Ключевые слова: Энергетические системы, теплоэлектростанции, газогенератор, вторичные энергетические ресурсы, остаточное тепло, энергоносители.

Анализ мирового опыта показывает, что снижение спроса на энергетический уголь, как один из основных энергоносителей, в период временного спада производства, не может служить ориентиром в долговременной энергетической стратегии любого государства. Эта стратегия должна быть не только ориентирована на предстоящий подъем экономики, но и предопределять его базовый характер в данной отрасли.

Практика показала, что снижение добычи энергетического угля неизбежно вызывает необходимость замещения его в энергетическом балансе нефтью и газом, что невозможно считать экономически оправданным, потому, что в условиях рыночной экономики наличие собственных природных запасов этих энергоносителей является только кажущимся преимуществом, так как потери одной страны от снижения их экспорта тождественно равны затратам других стран на их импорт, а компенсировать небаланс во внешней торговле весьма сложно.

Учитывая, что Россия – страна с холодным климатом, а ответственность за обеспечение населения энергоносителями для коммунального теплоснабжения и промышленных объектов возложена на частных производителей энергоносителей, им же

невыгодно отпускать нефтепродукты и газ по ценам ниже мировых, поэтому оплата бытового теплоснабжения, а также горнодобывающей промышленности, при низком уровне доходов становится непосильной, что вызывает необходимость выделения бюджетных дотаций,

Традиционным направлением технического прогресса в данной области является централизованная теплофикация на основе комбинированной выработки тепловой энергии на крупных теплоэлектроцентралях. Экономичность такой энергетической системы основана на использовании остаточной теплоты рабочего тела паровых турбин. Но даже теоретические расчеты показывают ограниченность условий, при которых проявляются преимущества централизованной теплофикации [Коликов и др., 2016]. Она применяется повсеместно, от субтропических районов до Арктики. В связи с этим, в южных районах России, эффективность такого способа обогрева низка вследствие короткого отопительного периода. В северных же широтах она сильно уязвима: сравнительно небольшие аварии на теплотрассе Магадана, Норильска, Воркуты и в других районах Севера и Сибири равноценны природным катастрофам. Также много проблем создают мощные теплотрассы в крупных городах. С другой стороны, в редко заселенных регионах такая система неприменима и вместо нее используют низкоэффективные маломощные котельные, наносящие колоссальный вред окружающей среде. Этим недостатком особенно отличаются горнодобывающие регионы, где в котельных, не оборудованных системами очистки дымовых газов, сжигается самый низкосортный уголь.

На практике оказалось, что применяемая в России система теплоснабжения эффективно работает только на газе и нефтепродуктах, а использование на ТЭЦ угля сопряжено с большими экологическими проблемами [Сластунов и др., 2015].

Не оставляя без внимания традиционную систему теплофикации в тех случаях, когда она обеспечивает максимальный эффект, необходимо произвести дифференциацию эффективности применения альтернативных систем обогрева зданий, учитывающих многообразие климатических условий России и позволяющих использовать различные источники энергии.

Известен опыт эксплуатации теплоэлектростанций, представляющих собой комплекс паросиловых установок, газогенераторов и газотурбинных генераторов электроэнергии. Такие электростанции позволяют полнее использовать остаточное тепло при использовании различных видов топлива: каменного угля, бурого угля, горючих сланцев, теплоносителей растительного происхождения. В газогенераторах в качестве теплоносителей могут использоваться бытовые отходы при одновременном решении

проблемы их утилизации.

В России и за рубежом накоплен большой опыт применения газогенераторов, однако в России в последнее время от них отказались, в основном по причине значительных запасов природного газа и нефти. Однако запасы этих ископаемых, как уже указывалось, ограничены и их следует использовать более экономично. В связи с этим целесообразно выполнить современную оценку области рационального их применения с учетом нового технического уровня и новых задач. Опыт показывает, что реализуемые на основе новых видов техники технологические процессы позволяют более эффективно решать экономические и экологические проблемы при использовании угля, горючих сланцев, утилизации бытовых отходов и вторичных ресурсов.

Реализация данного направления технического прогресса позволяет более рационально решать задачу теплоснабжения в зависимости от климатических, географических и технических условий. Вместо единого шаблона должен быть использован дифференцированный подход. В одних случаях целесообразна традиционная система теплоснабжения, в других случаях окажется выгодно поставлять соответствующим способом газ и использовать его в районных, групповых и индивидуальных установках. Необходимо выделить условия, в которых целесообразно применять электрическое отопление, используя для этой цели различные типы низкотемпературных электронагревателей, совмещая их работу с кондиционированием воздуха в помещениях. Этот вопрос особенно актуален для регионов с холодным климатом, где важное значение имеет уязвимость традиционных систем теплоснабжения.

Диверсификация тепловой и электрической энергетики позволяет выбрать более рациональные варианты размещения источников энергии, более экономичные способы транспортирования энергоносителей и подачи энергии к месту потребления.

Данная задача особенно актуальна для районов с горной промышленностью. Специализация предприятий основного профиля этой отрасли, как правило, выражена добычей, обогащением и отгрузкой товарного полезного ископаемого. Даже временные затруднения со сбытом товарной продукции, в частности энергетического угля для угольной промышленности, создают для такого предприятия непреодолимые трудности.

Направления повышения эффективности функционирования топливно-энергетической отрасли экономики должны органически сочетаться с определением рационального удельного веса различных источников энергии в общем балансе ее получения и использования. Так на основе применения газогенераторной технологии могут быть более эффективно использованы возобновляемые источники энергии

растительного происхождения, для получения энергии, причем, в тех районах, куда доставка других энергоносителей экономически не выгодна

Анализ показывает, что во многих государствах энергетические проблемы решаются аналогичными методами. В Европе и Америке принцип рационального использования различных энергоносителей, основанный на комплексном применении в качестве утилизаторов вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) паровых и фреоновых турбин, газогенераторов и газовых турбин практически испытан на базе экспериментальных промышленных установок и получил название "процесс Шея Ойл". На его основе создан ряд тепловых станций различной мощности. Опыт показал, что данная технология обеспечивает максимальную сохранность окружающей среды, высокую экономичность, может быть использована для утилизации бытовых отходов.

Получение газообразного и жидкого топлива из угля практикуется в Германии, Франции, ЮАР. Электрический обогрев помещений эффективно применяется во многих странах. Особенно рационально его применение в сочетании с тепловыми насосами, позволяющими использовать природные источники низко потенциальной тепловой энергии и тепловые выбросы различных производств.

Опираясь на опыт стран с развитыми рыночными отношениями, можно заключить, что вопросы, касающиеся производства и потребления энергии, достаточно полно поддаются анализу и прогнозированию. В связи с этим необходимо оценить баланс производства и потребления энергии с учетом доставки энергоносителей в основные горнодобывающие регионы Российской Федерации и будущие районы освоения на территории Крайнего Севера и Сибири. На основе этой оценки обосновать прогнозируемое распределение производства и потребления тепловой и электрической энергии по этим регионам, а также определить рациональные ее источники, исходя из условий минимальных материальных издержек и сохранности природной среды.

Литература

- Коликов К. С., Е. А. Ельчанинов, Н. П. Удалова, Оценка рациональной области использования тепловых труб в горной промышленности, Фундаментальные и прикладные науки сегодня. Материалы X международной научно-практической конференции, 2016, С. 97-101.*
- Сластунов С. В., К. С. Коликов, Г. П. Ермак, Е. П. Ютяев, Решение проблемы безопасности угледобычи в долгосрочной программе развития отрасли, Горный журнал, №4, 2015, С. 46-49.*

ИНДИКАЦИОННО-ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ, ПРИГОДНЫЙ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

А. Д. Лазаренко, Е. И. Хабарова

Горный институт НИТУ «МИСиС», г. Москва

izos95@mail.ru

Аннотация

В статье приведена оценка индикационно-диагностических свойств высших растений, пригодных для использования в различных направлениях горного производства. На основании анализа существующих данных сделан вывод о перспективе развития индикационной ботаники в горной отрасли, а именно: мониторинге состояния окружающей среды вблизи объектов горного производства, выявлении естественных и техногенных биогеохимических аномалий, биогеохимическом методе поиска полезных ископаемых, а также определении и оценке ореолов рассеяния и путей миграции поллютантов вблизи отвалов, шламо- и хвостохранилищ.

Ключевые слова: горная промышленность, адаптация растений, фитоиндикатор, индикационно-диагностические свойства растений, биогеохимический метод, индикация изменений

Горное производство по характеру своего воздействия на окружающую среду является одним из наиболее масштабных и долговременных. Освоение земных недр, будь то поиск, разведка или добыча минеральных ресурсов, подразумевает антропогенное вмешательство в природно-равновесные экосистемы. Техногенное воздействие добывающих предприятий на окружающую среду отличается от других промышленных объектов тем, что затрагивает и литосферу, и гидросферу, и атмосферу, и биосферу, поэтому в зоне такого воздействия может оказаться любая экосистема. Это воздействие может быть непосредственным (прямым) и косвенным, являющимся следствием первого. Размеры зоны распространения косвенного воздействия значительно превышают размеры зоны локализации прямого воздействия и, как правило, в зону распространения косвенного воздействия попадает не только элемент биосферы, подвергающийся непосредственному воздействию, но и другие элементы. Практически все трофические цепи экосистем начинаются с продуцентов - фотосинтезирующих растений, поэтому состояние и функции

самовосстановления экосистем, подвергшихся техногенному воздействию, будут определяться степенью сохранности ее фитоценоза [Галченко, 2011].

На рис. 1 приведена схема воздействия горного производства на природный ландшафт, а, следовательно, и на растения и их сообщества, произрастающие там.

Воздействие на природный ландшафт проявляется не только в механическом разрушении почвенной структуры, но и в значительном изменении химического состава почвенного покрова. Минерализация, засоление, интоксикация почв различными элементами (тяжелыми металлами, радиоактивными элементами) приводит к изменениям условий жизнедеятельности растений, произрастающих на таких почвах. Избыточное количество различных химических элементов – один из экстремальных факторов, способных вызвать морфологические и физиологические изменения у растений в результате адаптации к экстремальным условиям, таким как техногенное воздействие горнодобывающего производства на среду (рис. 2) [Ляшенко, 2012].



Рис. 1. Влияние горного производства на природный ландшафт.

Активное отношение растительного организма к воздействию неблагоприятных факторов проявляется в его адаптивных возможностях, индуцируя у него проявление целого комплекса защитно-приспособительных реакций, приводящих к устойчивости растений к избыточному присутствию химических элементов. Способность приспособления адаптированных растений к изменениям геохимической среды заключается в проявлении целого ряда детоксикационных свойств, действие которых можно рассматривать с двух позиций: предотвратить либо обезвредить негативное воздействие. К таким способностям относятся аккумуляция химических элементов различных концентраций в органах (корнях, стебле, листьях, цветках и плодах с семенами); биотрансформация токсикантов с помощью специфичных органических комплексов, ферментов, вырабатываемых клетками растений; механизмы предотвращения либо ограничения попадания химических элементов в органы, клетки, а также различные способы их выведения из организма [Хабарова и др., 2015] (рис. 3).



Рис. 2. Характер адаптации растений к долго действующим экстремальным условиям окружающей среды.

По характеру адаптации и устойчивости к изменениям среды выделяют [Хабарова и др., 2015]:

- непривычные концентраторы (индикаторы) – растения, концентрация химических элементов в тканях которых отражает концентрацию элементов в почве;

– привычные концентраторы (аккумуляторы, накопители) – растения, в которых химические элементы накапливаются в надземной части, как при низких, так и при высоких их концентрациях в почве;

не концентрирующие химические элементы (исключители) – содержание химических элементов в растениях постоянное и низкое независимо от концентрации в почве, до определенного критического уровня.

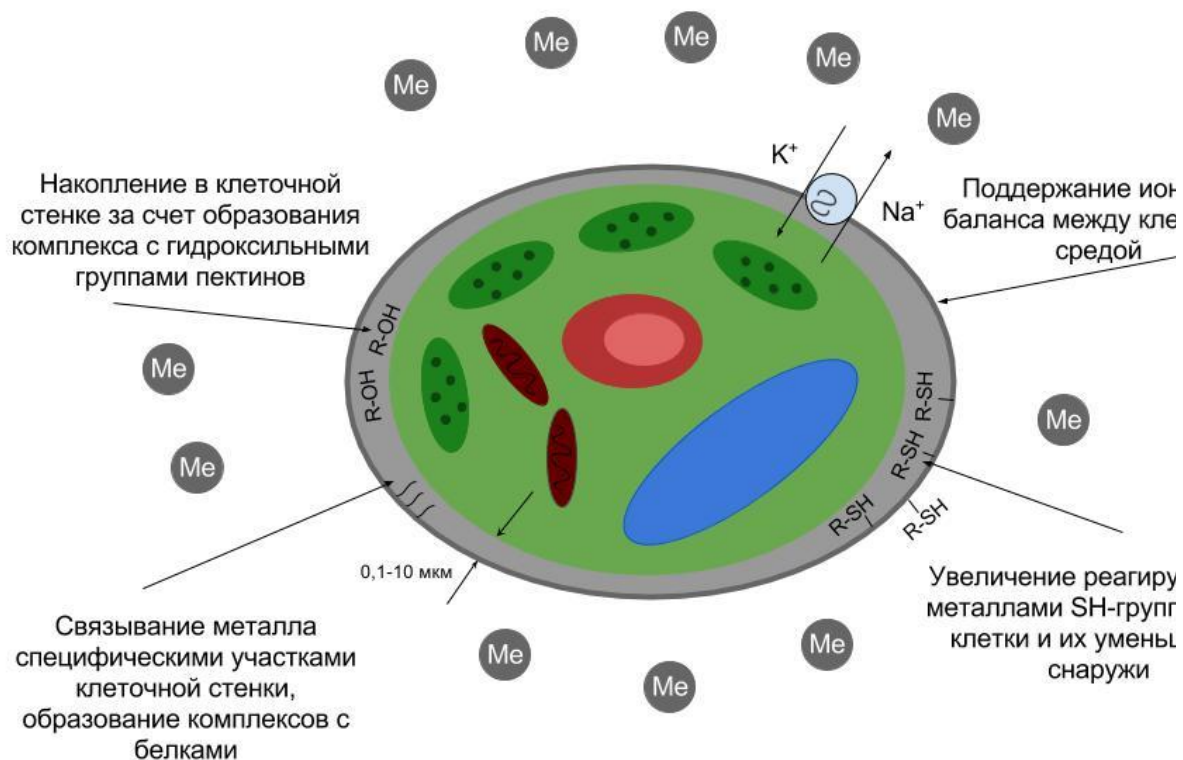


Рис. 3. Механизмы устойчивости растительной клетки к химическим элементам

Растительные сообщества (а также отдельные виды, внутривидовые формы и тераты¹), обладающие достаточной определенной и стойкой связью с условиями среды и используемые для распознавания этих условий, называются индикаторами. Индикаты (т.е., объекты индикации, скрытые от визуального наблюдения и дистанционной регистрации компоненты), определяемые с помощью ботанических показателей, очень разнообразны. Виды, сообщества либо эколого-генетические ряды растений-индикаторов могут указывать на какой-либо природный объект, свойства этого объекта, свойства

¹ **ТЕРАТЫ** (от греч. *teras*, *teratos* — чудовище, урод, уродство), резко выраженные аномалии, затрагивающие генетические основы организма.

природной среды, на происходящие в ней естественные процессы. Важным моментом является то, что кроме индикации естественных изменений, растения и их сообщества могут указывать на антропогенные изменения природной среды [Хабарова и др., 2015]. Нами были сформулированы основные направления объектов фитоиндикации, применение которых возможно и для горной промышленности (рис. 4).



Рис. 4. Индикаты, определяемые с помощью ботанических показателей

Анализ существующих данных о различных направлениях применения индикационно-диагностических свойств растений [Виноградов, 1964; Артамонов, 1986; Алехин, 1944], показал, что в настоящее время поведение растений-индикаторов, их реакции на внешнее воздействие и изменения окружающей среды используются в основном для биоиндикации – методе оценки состояния окружающей среды.

Между тем, потенциал растений в индикации и диагностике, а также фитомелиорации перспективно рассматривать в экологии и мероприятиях по анализу и улучшению состояния окружающей среды. Индикационно-диагностический потенциал

растений может позволить использовать растения как один из инструментов, используемых при мониторинге состояния окружающей среды (экологическом мониторинге).

При этом необходимо отметить, что к достоинствам биоиндикаторов относятся их следующие особенности [Бондаренко и Ершов, 2004]:

- реакция на относительно слабые нагрузки вследствие эффекта кумуляции дозы;
- суммирование действия различных антропогенных факторов;
- отсутствие требования регистрации химических и физических параметров, характеризующих состояние окружающей среды;
- фиксация скорости проходящих изменений в окружающей среде;
- обнаружение тенденций развития окружающей среды;
- возможность оценки и контроля степени воздействия загрязняющих веществ на живые организмы и человека.

Растения – универсальный интегрирующий показатель состояния природно-техногенных систем, поэтому фитоиндикация может применяться для изучения состояния и воздушной среды, и почвы, и водной среды, а также оценки токсичности химических веществ в различных природных средах. Классификация направлений применения индикационных свойств растений по областям природной среды, в которых они проявляются, привела к следующему обобщению (рис. 5).



Рис. 5. Использование индикационно-диагностического потенциала высших растений для определения наличия и изменения компонентов окружающей среды

Растения признаются универсальным интегрирующим показателем состояния природно-техногенных систем в связи с тем, что непрерывно находятся в зоне действия неблагоприятных факторов по причине отсутствия у них возможности перемещаться в пространстве и тем самым уклоняться от техногенного влияния. Эта особенность растений позволяет использовать их, в частности, как интегральные тест-системы, которые способны отражать/отображать суммарное воздействие экологических токсикантов.

Исходя из приведенной выше схемы (рис.5), все перечисленные направления использования индикационного потенциала растений могут быть полезными для оценки изменений природной системы, обусловленных воздействием горнодобывающего производства (т.е. для мониторинга состояния воздуха, воды и почвы).

В частности, биологическая характеристика состояния экосистем в зоне влияния горнодобывающих предприятий может проводиться с применением следующих показателей [Ляшенко, 2012]:

- видовой состав и фитоценотическая зависимость видов (состояние биоразнообразия);
- доля антропофильных видов в составе растительных группировок и скорость восстановления коренной растительности;
- элементы биологического круговорота (накопленные запасы фитомассы, фракционный состав, мортмасса и ее трансформация; прирост годичного кольца вида – биоиндикатора; биохимические характеристики: содержание в фитомассе различных химических элементов, зольность);
- тератологические изменения растений (уродства) различных органов, связанные с геохимическими аномалиями.

В то же время перспективными направлениями применения фитоиндикаторов в горной промышленности, на наш взгляд, являются следующие области биогеохимии.

1) Биохимическая разведка полезных ископаемых, методы которой могут применяться как при поиске месторождений полезных ископаемых, так и при их оценке (выявление биогеохимических аномалий, определение естественного ореола рассеяния элементов в земной коре, рекогносцировочная оценка перспектив рудоносности; обнаружение отдельных рудных тел и жил, особенно на территориях уже эксплуатируемых месторождений; ревизия отработанных рудных зон и оценка возможности обнаружения новых месторождений; определение масштаба оруденения и форм залегания полезных ископаемых, проведение биогеохимической съемки, составление карт рудоносности [Подлипский, 2014; Глухов, 2006; Брукс, 1986; Ковалевский, 1975; Малюга, 1963; Ткалич, 1970]).

При этом нет принципиальной разницы в том, какие явления определяется этими методами: природные или техногенные (вторичные) ореолы рассеяния химических веществ и элементов. И в том, и в другом случае содержание элементов в растениях будет сильно возрастать при достижении корнями рудных тел или участков породы, обогащенных рудными элементами. Этот факт хорошо иллюстрирует таблица, в которой приведены данные по содержанию ряда элементов в растениях, произрастающих на обычных почвах и над соответствующими месторождениями (табл.1).

Табл. 1

Содержание элементов в золе обычных растений и растений, произрастающих над месторождениями [Сауков, 1963]

Элемент	Обычные растения	Растения над месторождениями	Степень концентрации (порядок)
Ванадий	$5 \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-2}$	100
Хром	$5 \cdot 10^{-1}$	$n \cdot 10^{-2}$	100
Марганец	$1 \cdot 10^{-2}$	10	1000
Кобальт	$4 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-3}$	10
Никель	$1 \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-2}$	100
Медь	$5 \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-1}$	100
Цинк	$1 \cdot 10^{-2}$	1,0	100
Молибден	$5 \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-2}$	100
Свинец	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-2}$	100
Уран	$n \cdot 10^{-5}$	$n \cdot 10^{-2}$	1000

Преимущество биогеохимического метода поиска полезных ископаемых заключается в возможности его применения в любое время года, например, зимой при наличии глубокого снежного покрова, когда металлотермическое опробование почв и наносов и гидрохимические методы оказываются нерентабельными. Эффективен метод также при поисковых работах в заболоченных районах и в зоне многолетней мерзлоты. Хорошие результаты он дает и при поисках полезных ископаемых, состоящих из минералов, залегающих на глубине 25-30 м, реже 50-90 м [Ковалевский, 1975].

2) Биохимическая инспекция распространения химического загрязнения от техногенных источников (оценка ореола рассеяния поллютантов вблизи отвалов, гидроотвалов, шламо- и хвостохранилищ, накопителей сточных вод т.е. определение искусственного ореола рассеяния почвенно-грунтовых загрязнителей) – биогеохимический метод индикации с использованием коэффициентов концентрации в корнях растений, представляющийся информативным и имеющий определенные преимущества для оценки воздействия отвалов, хвостохранилищ на текущее экологическое состояние окружающей среды.

Расположение биогеохимических ореолов дает возможность охарактеризовать основные пути миграции загрязнений с территории зоны складирования, а также свидетельствует о наличии разрывов в системе защитных сооружений [Подлипский, 2014].

3) Биохимическая индикация поверхностных и подземных вод (определение глубин залегания вод и их состава). Пробы биологического материала в отличие от

литохимических обладают большей репрезентативной емкостью, то есть данные по ним могут быть экстраполированы на большую площадь. Например, проба грунта (почвы), отобранная до глубины 20 см с площадки 5×5 м методом «конверта», является представительной для площади 25 м² и объема грунта 5 м³ (при детальном мониторинге). Пробы органов и тканей растений (продуцентов) в зависимости от их видовой принадлежности могут нести геохимическую информацию о различных территориальных единицах (площадью от 5 до 25 м²) (при локальном мониторинге). Так, полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris* L. - длиннокорневищное однолетнее безбарьерное растение) имеет корневую систему в объеме грунта около 3-5 м³. Кроме того, в местах неглубокого залегания грунтовых вод (до 2 м) по составу своих органов и тканей она может характеризовать их качество, а, следовательно, отвечать за всю площадь их распространения выше по потоку [Подлитский, 2014].

Перечисленные выше направления можно отразить в следующей обобщенной схеме (рис. 6).



Рис. 6. Применение фитоиндикаторов в горной промышленности

Использование индикационно-диагностического потенциала высших растений, как вида, так и их сообществ, экологических рядов, в горнодобывающем производстве может

найти свое место и успешное применение, наряду с литохимическими методами. Существующие методы определения масштабов оруденения, поисков полезных ископаемых, наличия глубинного залегания вод и их состава, а также ореолов рассеяния техногенных источников загрязнения (отвалов, хвостохранилищ) могут быть дополнены фитоиндикационным методом, посредством которого возможно получать информацию не только о состоянии экосистем и различных прогнозах этого состояния, но и использовать в инженерно-геологических изысканиях, определении и оценке биогеохимических аномалий, масштабов оруденения, типов и форм залегания полезного ископаемого, установлении путей миграции поллютантов, разработке системы экологического мониторинга и др.

Список использованной литературы

- Алехин В. В.*, География растений: (Основы фитогеографии, экологии и фитоценологии), 1944, С. 454.
- Артамонов В. И.*, Растения и чистота природной среды, 1986, С. 172.
- Брукс Р. Р.*, Биологические методы поисков полезных ископаемых, 1986, С. 310.
- Викторов С. В., Ремезова Г. Л.*, Индикационная геоботаника, 1988, С. 168.
- Виноградов Б. В.*, Растительные индикаторы и их использование при изучении природных ресурсов, 1964, С. 331.
- Галченко Ю. П.*, Основы технического нормирования экологических факторов горного производства по условиям сохранения биологических систем, Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), № 11, 2011, С. 111-120.
- Глухов А. З.*, Современная концепция развития промышленной ботаники, Промышленная ботаника, Вып. 6, 2006, С. 3 –14.
- Бондаренко Е. И., Ершов М. А.*, Биоиндикация загрязнения экосистем в зоне влияния золотодобычи на юге Дальнего Востока, Материалы XLIV научно-технической конференции студентов и аспирантов ХГТУ, 2004, С. 13.
- Ковалевский А. Л.*, Особенности формирования рудных биогеохимических ореолов, 1975, С. 115.
- Малюга Д. П.* Биогеохимический метод поисков рудных месторождений (принцип и практика поисков), 1963, С. 264.
- Ляшенко О. А.*, Биоиндикация и биотестирование в охране окружающей среды, 2012, С. 67.

Подлипский П. П. Аккумулятивная биоиндикация в инженерно-экологических изысканиях, Инженерные изыскания, №1, 2014, С. 54-63.

Сауков А. А., Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых, 1963, С. 248.

Ткалич С. М., Фитогеохимический метод поисков месторождений полезных ископаемых, 1970, С. 174.

Хабарова Е. И., А. Д. Лазаренко, С. С. Сибагатуллина, Компоненты фитоценозов как биохимические индикаторы избыточного присутствия химических элементов в приповерхностной части литосферы, Вестник МИТХТ, № 4, 2015, С. 94-101.

К АНАЛИЗУ ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРОЯВЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

А. С. Батугин

Горный институт НИТУ «МИСиС», г. Москва

as-bat@mail.ru

Аннотация

Анализ тектонофизических условий проявления сильных горно-тектонических ударов и землетрясений при затоплении шахт показывает, что в их механизмах есть общие черты, проявившиеся и во время сильнейшего техногенного Бачатского землетрясения в Кузбассе.

Ключевые слова: горно-тектонический удар, техногенное землетрясение, напряженное состояние, разрывные нарушения, вектор смещения, затопление шахт, Бачатское землетрясение

К настоящему времени во многих странах мира сформировались горнопромышленные районы с техногенной сейсмичностью, которая превратилась в важный фактор воздействия на экономическое, экологическое, социальное благополучие регионов [Яковлев и др., 2013; Батуина и др., 2012; Goldbach, 2009; Батугин и Алферова, 2011]. Внезапность проявления и обширная география этого феномена свидетельствуют о его недостаточной изученности, сложности моделирования, слабом раскрытии закономерностей поведения массива при масштабном техногенном воздействии. Между тем прогноз геодинамического состояния горного массива имеет большое значение и в местах расположения других опасных промышленных объектов [Петухов и Батугина, 1999; Игнатов, 2010; Морозов и др., 2001; Morozov and Tatarinov, 2006; Зыков, 2006]. В этой связи тектонофизические модели и представления могут играть важную роль в понимании происходящих геодинамических процессов и создавать основу для последующего математического моделирования. Таким образом, одной из задач изучения феномена техногенной сейсмичности является тектонофизический анализ условий проявления крупных горно-тектонических ударов и техногенных землетрясений.

1. Тектонофизические условия проявления горно-тектонических ударов

Считается, что ведение горных работ создает условия для концентрации напряжений, что вызывает динамические подвижки по нарушениям (горно-тектонические удары), направления которых связаны с техногенным полем напряжений [Зыков, 2006; Ермаков, 2005 и др.]. Однако материалы изучения деформаций в очагах сильных горно-тектонических ударов показывают, что направление подвижек по крупным нарушениям соответствует не техногенному полю напряжений, а региональному тектоническому полю напряжений, характерному для нетронутого массива [Батугин, 2010; Морозов, 2016]. Это объясняется тем, что размеры блоков, где идет подготовка горно-тектонического удара, намного превышают размеры области, в которой ориентация осей напряжений изменена в результате ведения горных работ. В этом случае именно региональное поле напряжений управляет направлением смещения по внутриблоковым нарушениям.

Проявлению подвижки по нарушению способствует и то, что область разгрузки, возникающая при ведении горных работ, захватывает части сместителей крупных нарушений и вызывает уменьшение нормального сжатия их крыльев, что в итоге приводит достижению предельного напряженного состояния и к срыву блоков пород по сместителю под действием регионального поля напряжений. Такой срыв, по сравнению с нетронутым массивом, облегчается также и тем, что одно из крыльев нарушения может сместиться в сторону выработанных пространств [Батугин, 1996].

2. Тектонофизические условия землетрясений при затоплении шахт

Массовое затопление шахт в России, ЮАР, Индии, Чехии и других странах вызвало повышение сейсмической активности районов их расположения. В разных странах исследователи связали это с активизацией тектонических нарушений, которая была обусловлена повысившимся давлением воды в их сместителях [Goldbach, 2009; Srinivasan et. al., 2000; Батугин и Климанова, 2000; Холуб, 2006]. Растущее давление воды в плоскостях сместителей разрывных нарушений снижает нормальное сжатие их крыльев, что приводит к толчкообразному смещению одного из них в сторону выработанного пространства под действием касательных напряжений.

На основе подхода к оценке опасности нарушений для затапливаемых шахт возможно выделить наиболее опасные дизъюнктивы и оценить глубину опасного подъема воды. Так, на поле шахты Анжерская, через два года после начала ее затопления произошли землетрясения с $M=2,7$. Анализ ориентировки сместителей шахты Анжерская в поле современных напряжений показывает, что все нарушения, за исключением

крутопадающих запад-северо-западного простираения, расположены в плоскостях, близких к площадкам максимальных касательных напряжений, т.е. благоприятно для развития по ним смещений при снижении контакта между крыльями из-за заполнения сместителей водой.

Оценка избыточных напряжений сдвига, действующих вдоль сместителей при подъеме уровня воды в шахте на несколько сотен метров показывает, что они могут достигать 12-18 МПа, что достаточно для толчкообразного деформирования массива, нарушенного ведением горных работ [Еманов и др., 2015].

3. К механизму Бачатского землетрясения

Землетрясение с магнитудой $M_L=6,1$ произошедшее под днищем углеразреза Бачатский, относят к крупнейшим техногенным землетрясениям [Еманов и др., 2015]. Район расположения карьера находится на участке земной коры 3-й степени геодинамической опасности, на котором предположительно возможно формирование предельно напряженного состояния массива до глубин в несколько километров [Батугин, 2009]. Механизм главного толчка определяется как чистый взброс по нодальной плоскости, падающей на юго-запад. Учитывая тектоническое строение района и характер современных полей напряжений можно видеть, что тектонофизическая схема механизма данного землетрясения буквально повторяет тектонофизические схемы сильных горных ударов, рис. 1. Несмотря на то, что геомеханические расчеты опровергают влияние разгрузки от карьерной выемки на предполагаемую глубину гипоцентра (3-4 км), все же сам факт того, что подвижка при землетрясении произошла по крупному нарушению прямо под карьером и в направлении касательных напряжений современного поля напряжений, представляет интерес для анализа.

Такие нарушения, как Тырганский, Салаирский, Бачатский взбросы имеют падение на юго-запад под углами 30-50 градусов и формируют чешуйчатое строение района. Напряженное состояние района частично изучено по характеру смещения современными разломами элементов рельефа [Батугин и Лазаревич, 1986]: региональное сжатие действует в направлении ЮЮЗ–ССВ, локальное поле напряжений в районе г. Ленинск-Кузнецкого имеет северо-западную ориентировку оси современного максимального сжатия. По данным из работы [Еманов и др., 2015] ориентировка осей максимального сжатия в очагах афтершоков Бачатского землетрясения характеризуется положением оси максимального сжатия также в северо-западном направлении.

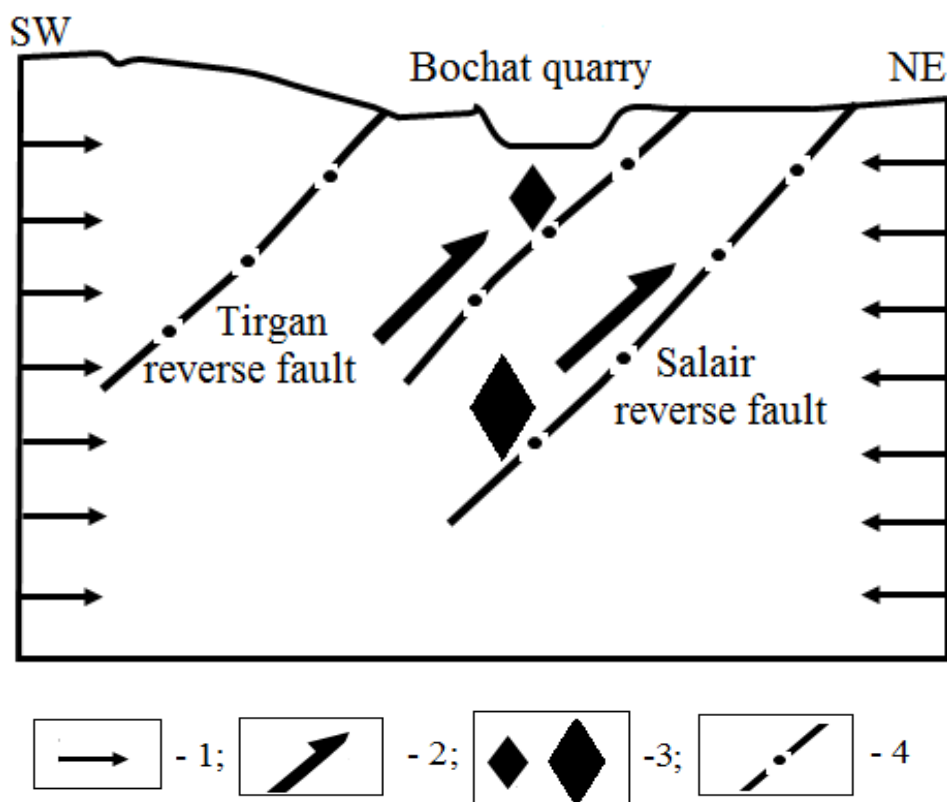


Рис. 1. Схема возможного механизма Бачатского землетрясения: 1- ориентировка максимального сжатия в регионе; 2 –направление подвижки при сейсмическом событии; 3 – гипоцентры афтершоков и главного толчка; 4 – региональные взбросы.

В этих региональном и локальном полях напряжений на сместителях крупных взбросов и сдвигов возникают касательные напряжения, стремящиеся сдвинуть их висячие крылья, что и происходило во время главного толчка и при последующих афтершоках, заполнивших зону под карьером до глубин 5 км. Возможным триггером землетрясения могло быть изменение контактных условий на сместителе Салаирского взброса, связанных с вибрационным воздействием взрывов или снижением под их влиянием нормального сжатия крыльев из-за формирования техногенного водоносного горизонта, или под влиянием других причин, которые предстоит выяснить. Распределение афтершоков по глубине обозначило существовавшую в горном массиве под карьером зону предельно напряженного состояния до глубины 5 км, при разрядке которой направления смещений крыльев тектонических нарушений управлялись региональными полями напряжений.

Таким образом, механизмы горно-тектонических ударов в шахтах, землетрясений при затоплении шахт, техногенных землетрясений на карьерах имеют общие черты. Эти динамические явления сопровождаются подвижками крыльев крупных тектонических нарушений в направлении касательных напряжений на их сместителях, создаваемых региональным полем напряжений.

Литература

- Батугин А. С.*, К механизму горно-тектонических ударов, Дополнительный сборник «Международная конференция «Эффективная и безопасная подземная добыча угля на базе современных достижений геомеханики», 1996, С. 97-101.
- Батугин А. С.*, К механизму землетрясений 25.04.1997 и 27.04.1997 на севере Кузбасса, Горный информационно-аналитический бюллетень, № 2, 2006, С. 185—189.
- Батугин А. С.*, Классификация участков земной коры по степени геодинамической опасности, Труды научного симпозиума «Неделя Горняка – 2009», 2009, С. 246-254.
- Батугин А. С.*, Тектонофизическая модель горно-тектонических ударов с подвижками крыльев крупных тектонических нарушений, «Труды научного симпозиума «Неделя Горняка – 2010», 2010, С.252-264.
- Батугин А. С., А. С. Алферова*, Геодинамическая опасность как разновидность экологической опасности, Отдельный выпуск «Экология, метанобезопасность», №8, 2011, С. 297-304.
- Батугин А. С., В. Г. Климанова*, Оценка влияния глубины затопления ликвидируемых шахт на повышение геодинамической опасности. Деформирование и разрушения материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках, 2000, С. 26-27.
- Батугин А. С., Т. И. Лазаревич*, Напряженно-деформированное состояние и особенности блочного строения некоторых шахтных полей Кузбасса/Совершенствование способов разработки удароопасных месторождений, 1986, С.34-38.
- Батукина И. М., А. С. Батугин, И. М. Петухов*, Горное дело и окружающая среда. Геодинамика недр, 2012.
- Еманов А. Ф., А. А. Еманов, А. В. Фатеев, Е. В. Лескова*, Техногенная сейсмичность Кузбасса, Современная тектонофизика. Методы и результаты. Материалы четвертой тектонофизической школы-семинара, Т. 1, 2015, С.108-111.
- Ермаков Н. И.* Инициирование тектонических деформаций как причина разрушения подработанной толщи пород, № 8, 2005, С. 150-156.

Зыков В. С. Техногенная геодинамика, 2006.

Игнатов Ю. М. Совместное использования горно-геометрических данных и цифрового маркшейдерского плана в геоинформационной системе для поиска опасных зон, № 1, 2010, С. 139-143.

Морозов В. Н., А. И. Маневич, Моделирование напряженно-деформированного состояния эпицентрального района землетрясения 26.01.2001 г., М=6.9 (Индия), Геофизические исследования, Том 17, № 4, 2016, С. 23-36. DOI: 10.21455/gr2016.4-2

Морозов В. Н., М. В. Родкин, В. Н. Татаринов, К проблеме геодинамической безопасности объектов ядерно-топливного цикла, Геоэкология, №3, 2001, С. 227-238.

Петухов И. М., И. М. Батугина, Геодинамика недр, Недра Коммюникейшенз, 1999.

Холуб К. О реакции массива на сокращение добычи угля, №1, 2006, С.18-30.

Яковлев Д. В., Т. И. Лазаревич, С. В. Цирель, Генезис и развитие природно-техногенной сейсмичности Кузбасса, Уголь, №10, 2013, С. 53-59.

Goldbach O. D. Seismic risks posed by mine flooding, Hard rock safe safety conference, 2009, pp. 149-174.

Morozov V. N., V. N. Tatarinov, Tectonic processes development with time in the areas of HLW disposal from expert assessment to prognosis, International Nuclear Energy science and Technology, Vol. 2, №2 ½, 2006, pp. 65-74. DOI: 10.1504/IJNEST.2006.010648.

Srinivasan C., S. Benady, C. Sivakumar, Fluid Induced Seismicity in the Colar mine region, Dam safety, including Instrumentation of Dams, Thiruvananthapuram, 2000.

Suckale J., Induced seismicity in hydrocarbon fields, Advances in Geophysics, vol. 51, 2009, pp. 55-106.

О ПОДХОДЕ К ФУНКЦИОНАЛЬНОМУ ЗОНИРОВАНИЮ ТЕРРИТОРИЙ НА ОСНОВЕ
АНАЛИЗА ДАННЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ

И. В. Головки

Горный институт НИТУ «МИСиС»

nova-ya08@mail.ru

Аннотация

В научной литературе имеются факты о влиянии геодинамически опасных зон на инженерные сооружения и экологическое состояние селитебных зон. На основании данных о проявлении техногенной сейсмичности развивается подход к функциональному зонированию территорий населенных пунктов, учитывающий ранг и расположение границ геодинамически активных блоков земной коры. Предлагается изменять функциональное назначение городских территорий в пределах расположения геодинамически опасных зон.

Ключевые слова: геодинамически опасные зоны, техногенная сейсмичность, селитебные зоны, функциональное зонирование

1. Геодинамическая опасность как часть экологической опасности.

Ретроспективный анализ показывает, что началом эры техногенных землетрясений в горнопромышленных районах можно считать первую треть 20-го века. Уже в то время при разработке месторождений полезных ископаемых происходили горные удары, которые по своим последствиям и энергии были бы отнесены по современным классификациям к техногенным землетрясениям. При крупных горных ударах как на угольных, так и на рудных месторождениях отмечался сейсмический эффект территорий, разрушение зданий и сооружений, проседание поверхности, исчезновение мелких водотоков и др. [Адушкин и др., 2015; Батугин и Алферова, 2011; Козырев и др., 2002]. К настоящему времени на территории России, Китая и других стран произошло формирование горнопромышленных районов, подверженных техногенной сейсмичности [Адушкин и др., 2015; Батугин и Алферова, 2011; Козырев и др., 2002]. В них частота и интенсивность землетрясений оказывается выше нормальной для данного района, а очаги землетрясений располагаются в

непосредственной близости от инженерных объектов. Современные сейсмические активизации в горнопромышленных районах создают непосредственную угрозу для селитебных зон и расположенных на поверхности опасных промышленных объектов.

Среди таких районов можно назвать Кемеровскую область с Кузбассом, Урал, районы горных разработок Кольского полуострова, районы добычи калийных солей в Пермской области (города Березняки и Соликамск). На территории Кемеровской области в районе г. Полысаево с 2005 отмечается всплеск сейсмической активности, в июне 2013 г. произошло крупнейшее техногенное Бачатское землетрясение, в 2016-17 гг. появились новые места сейсмической активизации на юге Кузбасса [Батугин, 2006; Бабков-Эстеркин, 1999; Бабков-Эстеркин и др., 1997, Лань Тяньвэй и др., 2014; Цяо и др., 2016; Яковлев и др., 2013; McCarr *et.al.*, 1989].

Анализ имеющихся данных и публикаций по проявлению геодинамической опасности показывает, что места ее проявления связаны с разломами земной коры в различных пониманиях этого термина [Батугин и Болотный, 2009; Батугин и Головкин, 2010; Батукина и др., 2012; Головкин и др., 2011; Игнатов, 2010; Козырев и др., 2012; Морозов и др., 2001; Татаринцев и Татарникова, 2012; Татаринцев и др., 2014; Морозов и Маневич, 2016; Цяо и др., 2016; Яковлев и др., 2013, Ненашева и Чебоксаров, 2005 Batugin *et. al.*, 2016, Morozov and Tatarinov, 2006]. Однако при функциональном зонировании селитебных зон в шахтерских регионах ни наличие разломов, ни результаты геодинамического районирования не учитывались, поскольку масштабного проявления техногенной сейсмичности не наблюдалось. В настоящее время в связи со сложившейся ситуацией вынос селитебных зон за пределы потенциально опасных зон можно рассматривать как меру снижения геодинамического риска для населения. Рассмотрим возможный подход к решению этого вопроса на примере г. Полысаево Кемеровской области

2. Проявление техногенной сейсмичности в геодинамически опасных зонах на границах блоков земной коры

Одним из методов, позволяющих заблаговременно выявлять геодинамически опасные зоны, является разработанный в России метод геодинамического районирования [Батукина и Петухов, 1988].

Границы блоков и узлы их пересечения получили названия геодинамически опасных зон. Структурная приуроченность техногенной сейсмичности к структурным

неоднородностям массива считается общепризнанной, однако вопрос о прогнозе ширины таких зон остается открытым. Работы по геодинамическому районированию центральной части Кузбасса частично были проведены в 80-х годах прошлого века и их результаты представлены в работах [Батугин и Лазаревич, 1986; Батугина и Петухов, 1988]. В результате этих работ была установлена блочная структура территории и проведена оценка напряженного состояния методами тектонофизики. С 2006 г. вблизи г. Полысаево стали отмечаться сейсмические толчки, что было достаточно неожиданно, т.к. этот район Кузбасса считался относительно благополучным по проявлению динамических явлений. Исследования сейсмической активизации за период 2007-2009 гг. представлены в работах [Еманов и др., 2009; Яковлев и др., 2013].

На рис. 1 представлена совмещенная схема блочного строения территории района г. Полысаево с материалами по проявлению техногенной сейсмичности из вышеуказанных работ. Из рисунка можно видеть, что в районе г. Полысаево имеются границы блоков III и IV рангов. Граница между двумя блоками третьего ранга вытянута вдоль р. Иня (1—1), каждый из них разделён на четыре блока четвёртого ранга. Границы блоков IV рангов 3—3 и 5—5 пересекают город в направлении с юго-запада на северо-восток.

На рис. 1 по данным из работ [Еманов и др., 2009; Яковлев и др., 2013] нанесены две зоны проявления землетрясений в районе шахт «Октябрьская» и «Полысаевская»: I и II. Проанализируем проявление сейсмичности в каждой из них.

В зоне сейсмической активизации I из работы (Еманов) показано 57 событий. Можно видеть, что из них непосредственно на границе блоков IV ранга (3—3) и в зоне ее влияния произошло 41 сейсмическое событие из 57, то есть 71,9 % всех показанных в этой зоне сейсмических событий. Гистограмма распределения сейсмических событий по пласту Толмачёвскому представлена на рис. 2. Анализ гистограммы показывает, что по мере приближения забоя пласта Толмачёвского к границе блоков в зоне ее влияния происходило усиление сейсмической активизации, которая достигла максимальных значений непосредственно на границе блоков. После пересечения лавой границы блоков отмечается спад сейсмической активизации до полного их прекращения. На расстоянии 200 м по обе стороны от границы блока произошло 43 сейсмических события из 57, то есть 75,4 % всех показанных в работах [Еманов и др., 2009; Яковлев и др., 2013] событий. Гистограмма распределения сейсмических событий представлена на рис. 3. Таким образом, расстояние 400 м (200 м по обе стороны от геодинамического разлома), можно считать зоной влияния границы блока IV ранга.

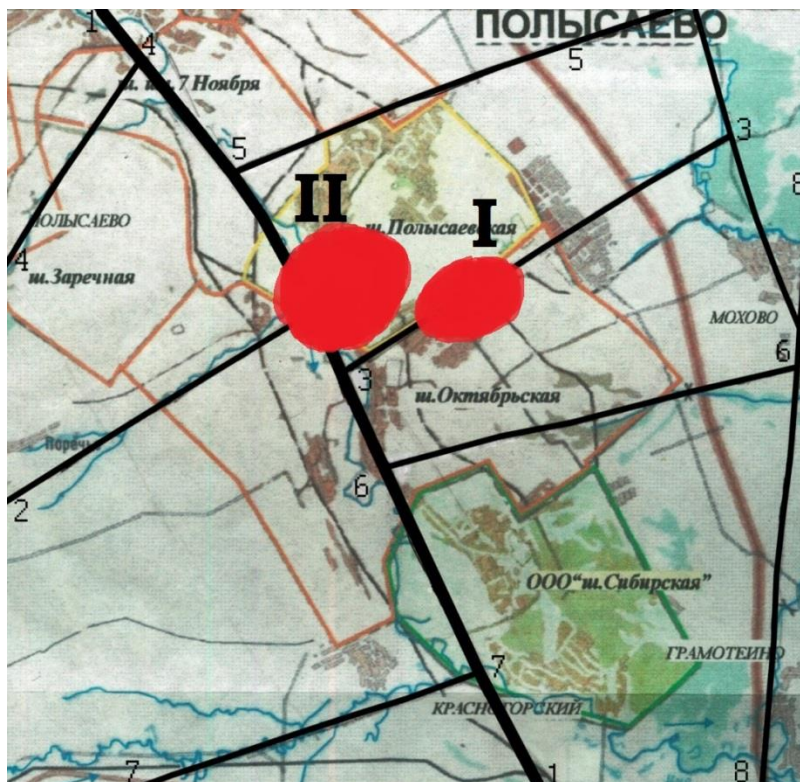


Рис. 1. Зоны сейсмической активизации на границах блоков в районе города Полысаево

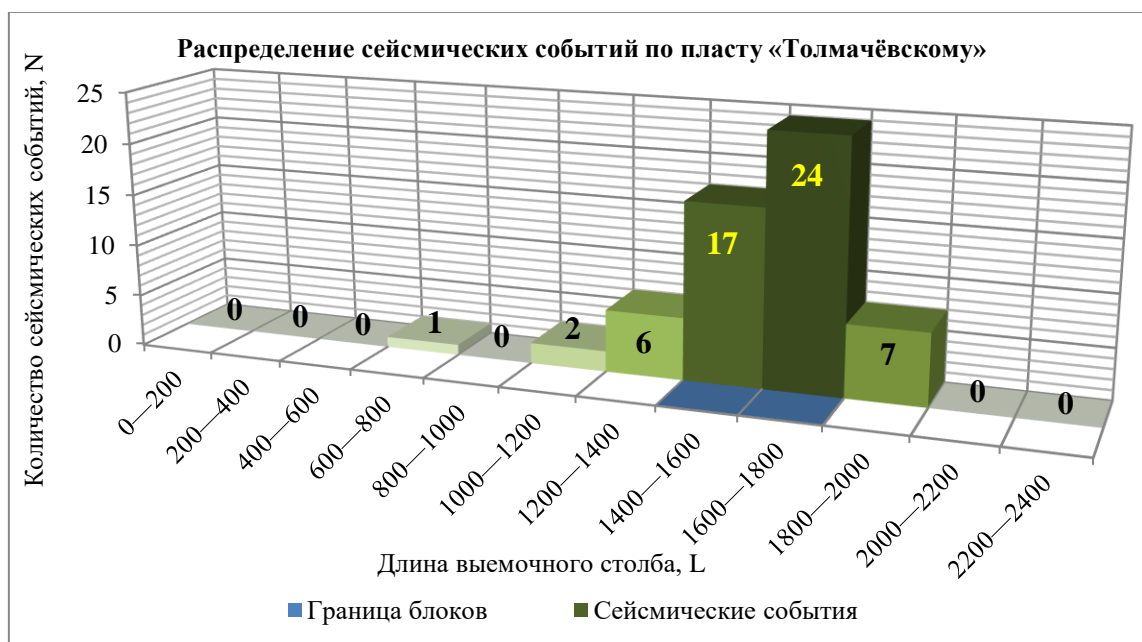


Рис. 2. Распределение сейсмических событий по пласту Толмачёвскому в районе границы блоков IV ранга 3-3.

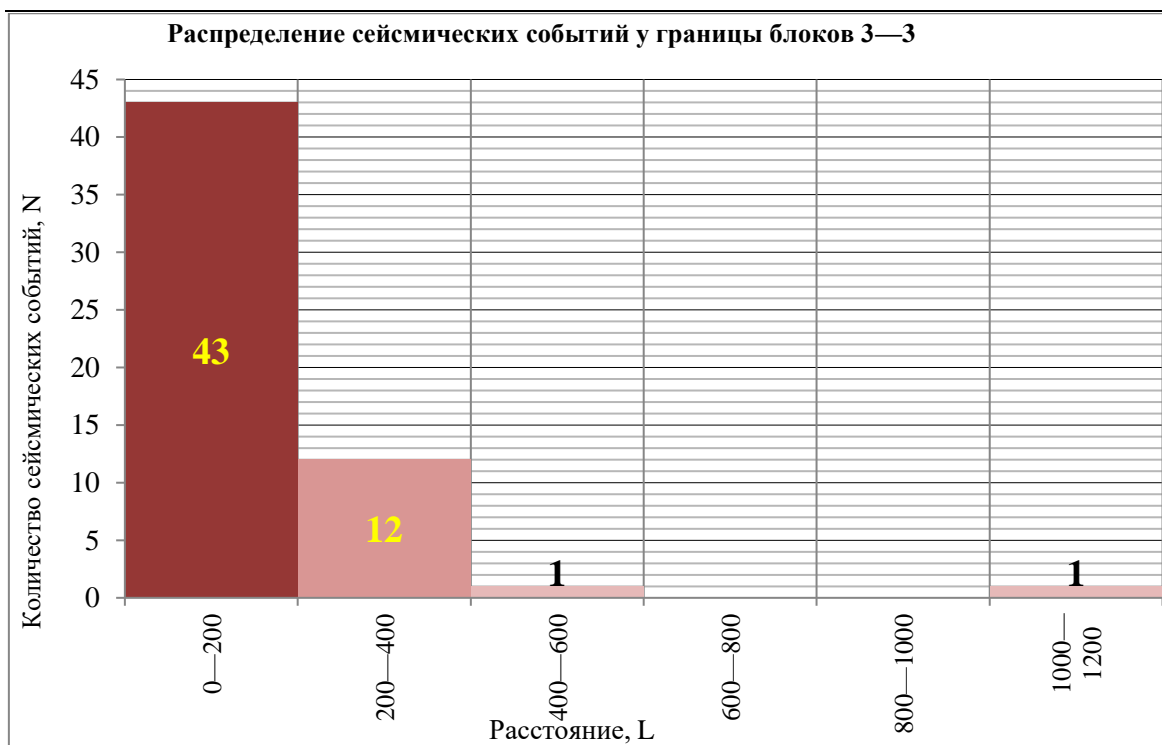


Рис.3. Распределение сейсмических событий у границы блоков 3—3

В зоне сейсмической активизации II на рисунках из работ [Еманов и др., 2009; Яковлев и др., 2013] показано 124 землетрясения. Из них 48 событий, то есть 38,7 % от всех зарегистрированных в этой области, произошло на границе блоков III ранга (1—1) и на расстоянии 200 м от нее. 83% всех событий (103 из 124) произошло в зоне шириной 800-1200 м, 97% (120 событий из 124) произошло в зоне шириной 1200-1600 м (600-800 м в каждую сторону от границы блоков). В данном случае результат 83% можно признать вполне приемлемым и считать, что ширина зоны влияния границы блоков III ранга составляет 800- 1200 м. Распределение сейсмических событий у границы блока 1-1 представлено на рис.4.

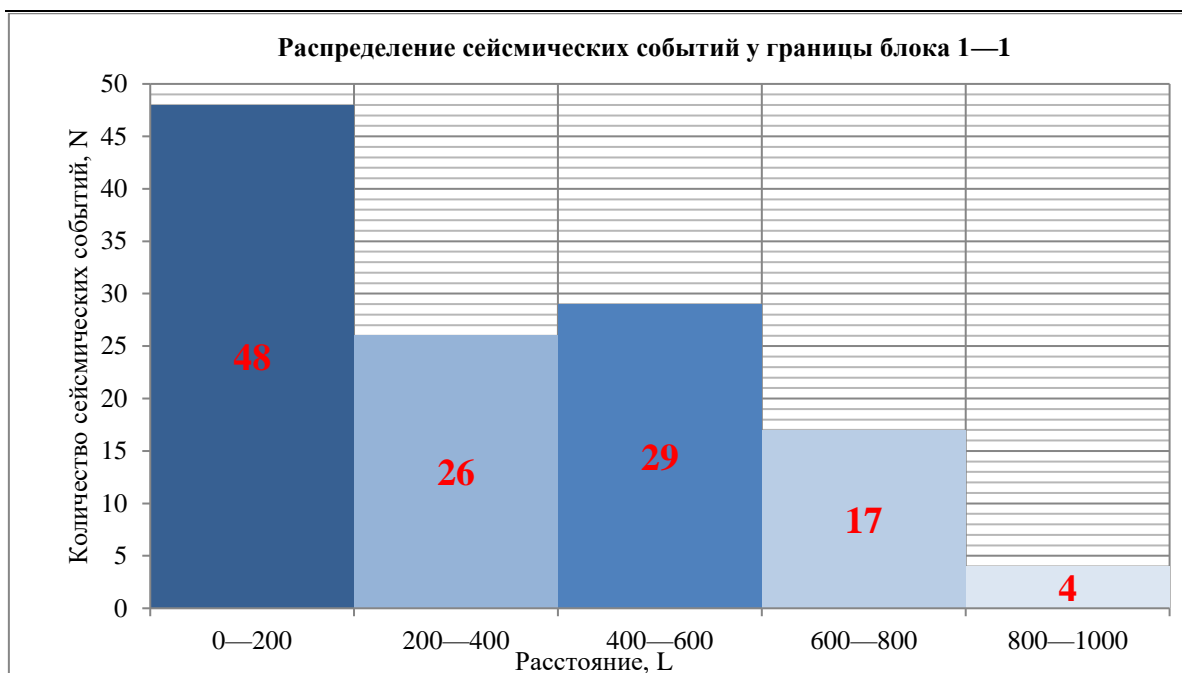


Рис. 4. Распределение сейсмических событий у границы блока 1—1.

В узле контакта границы блоков III ранга 1-1 с границей блоков IV ранга 2-2 горные работы велись по пласту Бреевскому, где образовалась зона сейсмической активизации диаметром около 2000 м.

Таким образом, как показывают результаты сопоставления схемы блоков земной коры с данными проявления техногенной сейсмичности, все зоны сейсмических активизаций находятся в зонах влияния границ блоков 1—1 и 3—3, 1—1 и 2—2, на замыканиях и пересечениях геодинамически опасных зон. С высокой вероятностью ширина зон влияния границ блоков III ранга — 1600 м, зон влияния границ блоков IV ранга — 400 м, зон влияния пересечений границ блоков III и IV ранга — 2000 м. Геодинамически опасной зоной можно считать всю зону влияния границы блоков на прилегающую территорию, а также зоны их замыкания и пересечения.

3. Изменение функционального зонирования городских территорий в горнопромышленных районах как мера снижения геодинамической опасности

Особенностью техногенной сейсмичности в горнопромышленных районах является внезапность и неожиданность. Профилактические меры ее предотвращения находятся в стадии разработки. Актуальной задачей остается разработка и обоснование мероприятий, направленных на снижение геодинамической опасности. Одним из таких мероприятий

может быть изменение функционального зонирования городских территорий для исключения селитебных зон из участков, опасных по проявлению техногенной сейсмичности.

В соответствии с [Большой медицинский словарь], функциональным зонированием называется разделение территории населенного пункта на зоны с разным функциональным назначением (жилая, промышленная и т. п.) с целью устранения или уменьшения неблагоприятного влияния окружающей среды на население.

Функциональное зонирование территории закрепляется на двух уровнях — областном и муниципальном. На областном уровне выделяются функциональные зоны градостроительного, горнопромышленного, сельскохозяйственного, лесохозяйственного, природоохранного и др. назначения. На муниципальном уровне указанные выше зоны соответственно могут конкретизироваться: градостроительного назначения — на зоны жилого много- и малоэтажной застройки, промышленные и коммунально-складские; сельскохозяйственного назначения — на пашни, плодоводства и огородничества, животноводства и т.д.

В соответствии с Генеральным планом, территория г. Полысаево делится на селитебные и внеселитебные территории. Селитебные территории включают в себя кварталы жилой застройки, выполненные как индивидуальными, так и многоквартирными жилыми домами; участки учреждений и предприятий обслуживания; зелёные насаждения общего пользования; улицы, дороги, проезды, площади, автомобильные стоянки. Внеселитебные территории включают в себя территории промышленных предприятий и коммунально-складские территории, а также улицы, дороги и проезды, находящиеся в ведении предприятий промышленности и коммунальных служб; водные пространства; сельскохозяйственные угодья; лесопарки и садовые участки; свалка; рекультивированные земли; кладбища; нарушенные земли.

Имея данные о ширине влияния границ блоков можно получить, что в настоящее время площадь города, занимаемая геодинамически опасными зонами, составляет около 5 млн. м². На этой территории имеются как застроенные, так и не застроенные участки. В случае принятия решения о выводе этих участков из состава селитебных зон возникнут затраты на расселение застроенных участков и потеря стоимости не застроенных территорий, попавших в геодинамически опасные зоны. Селитебные зоны могут быть переведены, например, в категорию, предназначенную для ведения индивидуального приусадебного хозяйства что снизит кадастровую стоимость земель, но приведет одновременно с снижению возможного ущерба от землетрясения. Отсюда видно, что

результаты геодинамического районирования позволяют обосновывать оценку составляющих геодинамического риска в горнопромышленных районах. Выбором ширины геодинамически опасной зоны регулируется вероятность попадания в нее эпицентра техногенного сейсмического явления, а возможный или предотвращенный ущерб связаны с затратами, возникающими при изменении функционального зонирования территории.

Выводы.

Таким образом, подход к функциональному зонированию селитебных и промышленных зон, основанный на учете данных геодинамического районирования может быть использован в районах с высокой техногенной нагрузкой. Такая мера, как изменение функционального зонирования территорий населенных пунктов с исключением зон влияния границ блоков из позволит снизить экологическую и геодинамическую опасность селитебных зон в горнопромышленных районах.

Литература

- Адушкин В. В., С. Б. Турунтаев*, Техногенная сейсмичность - индуцированная и триггерная, ИДГ РАН, 2015, С. 364.
- Батугин А. С.*, К механизму землетрясений 25.04.1997 и 27.04.1997 на севере Кузбасса, Горный информационно-аналитический бюллетень, №2, 2006, С. 185-189.
- Батугин А. С.*, Тектонофизические условия проявления техногенных землетрясений, Современные проблемы в горном деле и методы моделирования горно-геологических условий при разработке месторождений полезных ископаемых, Сборник материалов всероссийской научно-технической конференции с международным участием, 2015, С. 36.
- Батугин А. С., А. С. Алферова*, Геодинамическая опасность как разновидность экологической опасности, Отдельный выпуск «Экология, метанобезопасность», ГИАБ, №8, 2011, С. 297-304.
- Батугин А. С., Р. А. Болотный*, Оценка геодинамического риска для территории мегаполисов (на примере г. Реутова Московской области), ГИАБ, № 4, 2009, С.132-134.
- Батугин А. С., И. В. Головкин*, Оценка геодинамического риска при затоплении шахт (на примере ш. Анжерская), Горный информационно-аналитический бюллетень, № 10, 2010, С.78-81.
- Батугин А. С., В. Г. Климанова*, Затопление шахт как возможная причина землетрясений в горнопромышленных районах, ГИАБ, № 2, 2002, С. 181-184.

Батугин А. С., Т. И. Лазаревич, Напряженно-деформированное состояние и особенности блочного строения некоторых шахтных полей Кузбасса/Совершенствование способов разработки удароопасных месторождений, ВНИМИ, 1986, С. 34-38.

Батукина И. М., А. С. Батугин, В. Ю. Каплунов и др., Вопросы геодинамической и геозекологической безопасности при ликвидации горных предприятий, Мониторинг. Наука и технологии, №2, 2012, С. 6.

Батукина И. М., И. М. Петухов, Геодинамическое районирование месторождений, 1988.

Головко И. В., А. С. Батугин, А. С. Ииштова, Геозекологическая оценка последствий ликвидации шахт на севере Кузбасса, №8, ГИАБ, 2011, С. 278-290.

Бабков-Эстеркин В. И., А. С. Батугин, А. Е. Воробьёв, В. В. Качак, К. С. Коликов, В. Н. Королева, Е. Ю. Куликова, С. В. Сластунов, В. В. Соболев, А. Шилов, Горное дело и окружающая среда, 1997.

Бабков-Эстеркин В. И., А. С. Батугин, А. Е. Воробьёв, В. В. Качак, К. С. Коликов, В. Н. Королева, Е. Ю. Куликова, С. В. Сластунов, В. В. Соболев, А. Шилов, Горное дело и окружающая среда, Часть 3, 1999.

Еманов А. Ф., А. А. Еманов, Е. В. Лескова, А. В. Фатеев, А. А. Демидова, Ю. В. Кузнецова, А. Ю. Сёмин, У. И. Ворона, А. В. Рубцова, Наведённая сейсмичность в районе г. Полысаево. (<http://gs.sbras.ru/content/> Геофизическая служба СО РАН).

Еманов А. Ф., А. А. Еманов, Е. В. Лескова, А. В. Фатеев, А. Ю. Сёмин, Сейсмические активизации при разработке угля в Кузбассе, Физическая мезомеханика, т. 12, № 1, 2009, С. 37—43.

Игнатов Ю. М., Совместное использования горно-геометрических данных и цифрового маркшейдерского плана в геоинформационной системе для поиска опасных зон. Вестник КузГТУЮ, № 1, 2010, С. 139-143.

Козырев А. А., В. И. Панин, С. Н. Савченко и др., Сейсмичность при горных работах, КНЦ РАН, 2002.

Лань Тяньвэй, Чжан Хунвэй, И. М. Батукина и др. Изучение геодинамических условий проявления горных ударов на угольных шахтах месторождения Цзинси в Китае, ГИАБ, №7, 2014, С. 247-257.

Морозов В. Н., А. И. Маневич, Моделирование напряженно-деформированного состояния эпицентрального района землетрясения 26.01.2001 г., М=6.9 (Индия), Геофизические исследования, Том 17, № 4, 2016. С. 23-36. DOI: 10.21455/gr2016.4-2

Морозов В. Н., М. В. Родкин, В. Н. Татаринов, К проблеме геодинамической безопасности объектов ядерно-топливного цикла, Геозекология, №3, 2001, С. 227-238.

Ненашева Р. И., В. С. Чебоксаров, Оценка структурно-тектонического строения шахтных полей Кузбасса для решения горно-геологических задач, Вестник КузГТУ, № 1, 2005, С. 39-46.

Татаринов В. Н., В. Н. Морозов, И. Ю. Колесников, А. И. Каган, Кинематический метод геодинамического районирования при проектировании отработки месторождений подземным способом, Безопасность жизнедеятельности, № 7, 2014, С. 8-11.

Татаринов В. Н., Т. А. Татаринова, Учет масштабного эффекта при наблюдениях за деформациями земной поверхности спутниковыми навигационными системами, Маркшейдерский вестник, №5, 2012, С.15-19.

Цяо Ц., А. С. Батугин, И. М. Батугина, Л. Юй, Ц. Чжао, Условия проявления геодинамических явлений на шахте Хуафэн в Китае, 2016, С. 144.

Шилов А., Горное дело и окружающая среда, Часть 1, 1997.

Яковлев Д. В., Т. И. Лазаревич, С. В. Цирель, Генезис и развитие природно-техногенной сейсмичности Кузбасса, Уголь, № 10, 2013, С. 53-59.

Batugin A.S., K. S. Kolikov, I. M. Batugina, I. V. Golovko, Analysis of Stress Fields and Manifestations of Mining-induced Seismicity During Development of Kusbass Coal Mine Considering the Results of Geodynamic Zoning, Processing of 35th International Conference on Ground Control in Mining, 2016, pp. 60-65.

McCarr A., J. Bicknell, E. Sembera, R. Green, Analysis of exceptionally large tremors in two gold mining districts of South Africa, Pure and Appl. Geophys, Vol. 129, № ¾, 1989, pp. 309-324.

Morozov V. N., V. N. Tatarinov, Tectonic processes development with time in the areas of HLW disposal from expert assessment to prognosis, Int. Nuclear Energy science and Technology, Vol. 2, № ½, 2006. pp. 65-74. DOI: 10.1504/IJNEST.2006.010648.

Приложение

Большой медицинский словарь: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/medic2/49960>.

К АКТУАЛЬНОСТИ ВОПРОСА АНАЛИЗА ДАННЫХ О ВЛИЯНИИ
ГЕОДИНАМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ЗОН НА ИНЖЕНЕРНЫЕ ОБЪЕКТЫ

В. Р. Мусина

Горный институт НИТУ «МИСиС»

musinavaleriya@mail.ru

Аннотация

В научной литературе за последние десятилетия описаны факты, свидетельствующие о влиянии современных геодинамических процессов на инженерные сооружения и состояние окружающей среды не только в тектонически активных, но и в традиционно относительно спокойных районах. На основании данных о расположении горящих углепородных отвалов и ориентировке их очагов предлагается обоснования рекомендаций по выбору мест для расположения углепородных отвалов.

Ключевые слова: геодинамически опасные зоны, блоковые структуры, углепородные отвалы, инженерные сооружения

Введение.

В научной литературе за последние десятилетия описаны факты, свидетельствующие о влиянии современных геодинамических процессов на инженерные сооружения и состояние окружающей среды не только в тектонически активных, но и в традиционно относительно спокойных районах. В первую очередь это касается горнопромышленных районов. Так, было отмечено деформирование стволов Таштагольского рудника, попавших на границу блоков земной коры [Петухов и Батугина, 1999], возникновение сильных горных ударов на границах блоковых структур на месторождениях Кольского полуострова [Тряпицын и Шабаров, 2007], Североуральского [Батугин, 2010; Петухов и Батугин, 1999] и Южноуральского [Батугин и Батугина, 2011] бокситовых месторождений, сейсмическая активизация разломов в Кузбассе [Батугин, 2016; Батугин, 2006; Батугин и др., 2015; Яковлев и др., 2013], Кировском руднике [Патент РФ №2600948 от 27.10.2016. Способ выбора мест расположения горящих углепородных отвалов], а

также на многих зарубежных месторождениях [Батугин и Алферова, 2011; Тяньвэй и др., 2014; Рахимов и др., 2008; Рябоштан, 1990; Цяо, 2016].

Отмечено, что к границам современных блоковых структур приурочены аварийные зоны на газо-и нефтепроводах [Адушкин, 1997; Петухов и Батугина, 1999; Шабаров и Гусева, 1997], железных дорогах [Петухов и Батугина, 1999], месторождениях нефти [Кузьмин, 1999], водопроводных сетях и канализации в городах [Батугин и Болотный, 2009а; Батугин и Болотный, 2009б; Батугин и др., 2008]. На границах блоков отмечены опасные зоны по развитию карста [Хотченков и др., 2013], оползней [Ниметулаева, 2004], техногенной сейсмичности [Батугин, 2016; Батугин, 2006; Батугин и др., 2015; Батугин и Климанова, 2002; Тряпицын и Шабров, 2007; Петухов и Батугина, 1999 и др.] деформации зданий [Батугин и др., 2011; Цяо, 2016 и др.]. В связи с влиянием границ блоков на инженерные сооружения их стали называть геодинамически опасными зонами (ГОЗ) [Петухов и Батугина, 1999]. К настоящему времени геодинамическая опасность приобрела выраженную экологическую составляющую [Батугин и Алферова, 2011; Никонов, 1980 и др.]. Геодинамическое состояние горного массива с выявлением активных разломов оценивают при планировании горных работ [Патент РФ №2600948 от 27.10.2016. Способ выбора мест расположения горящих углепородных отвалов], проектировании и строительстве атомных станций и хранилищ отходов [Морозов и др., 2011; Татаринов и Татаринова, 2012; Татаринов и др., 2014; Петухов и Батугин, 1999, Маневич и др., 2017; Морозов и Маневич, 2016; Morozov and Tatarinov, 2006], застройке селитебных и промышленных зон [Батугин и др., 2011].

Известно, что одной из важных экологических проблем в горнопромышленных районах является самовозгорание отвалов и их воздействие на окружающую среду [Агапов и др., 2008; Каплунов и др., 2010]. Многие отвалы имеют рецидивы самовозгорания. Эта проблема актуальна во многих угледобывающих странах мира. Анализ практики размещения отвалов показывает, что их часто располагали в балках и оврагах, которые, как известно, зачастую являются индикаторами границ геодинамически активных блоков, ГОЗ. В этой связи возникло предположение, что расположение отвалов в ГОЗ может и для них создавать неблагоприятные условия, приводящие к их самовозгоранию [Батугин и Мусина, 2016; Патент РФ №2600948 от 27.10.2016 Способ выбора мест расположения горящих углепородных отвалов; Батугин и Мусина, 2016].

1. Практика выбора мест для размещения отвалов

В соответствии с теоретическими разработками [Веселовский и др., 1971], основным фактором возгорания угля является приток воздуха в тело отвала, в результате чего активизируются процессы окисления угля и других горючих пород.

При выборе площадки для размещения отвалов сложилась практика, при которой она должна быть сложена породами, устойчивыми к воздействию атмосферных факторов, свободна от залежей полезных ископаемых, размещаться на землях, непригодных для сельскохозяйственного производства и других целей, на площадке не должно быть выходов пластов угля [Агапов и др., 2008; Морозов и Татаринцов, 2006 и др.]. Кроме того, расстояние транспортирования породы от угольного предприятия до породного отвала должно быть минимальным. В связи с этим углепородные отвалы часто размещались в балках и оврагах, которые, как известно [Петухов и Батугина, 1999], могут быть индикаторами границ геодинамически активных блоков земной коры, геодинамически опасных зон (ГОЗ).

2. Возможный механизм влияния границ блоков на возгорание отвалов

Геодинамически опасные зоны представляют собой линейные участки тектонической деструкции породного массива. Проницаемость пород на границах блоков обычно намного выше, чем проницаемость пород внутри блоков, что способствует массопереносу газов в массиве именно по этим зонам. Кроме того, взаимодействие блоков и их относительные смещения по границам препятствуют залечиванию трещин в массиве горных пород и вызывают деформации поверхностных сооружений. При размещении углепородного отвала над геодинамически опасной зоной создаются условия для разрушения с течением времени изолирующего слоя в основании отвала (6) и на его бортах (7) и поступления воздуха в тело отвала через проницаемую зону за счет тяги, возникающей за счет ветрового напора и перепада давления по высоте отвала, рис. 1 [Патент РФ №2600948 от 27.10.2016 Способ выбора мест расположения горящих углепородных отвалов].

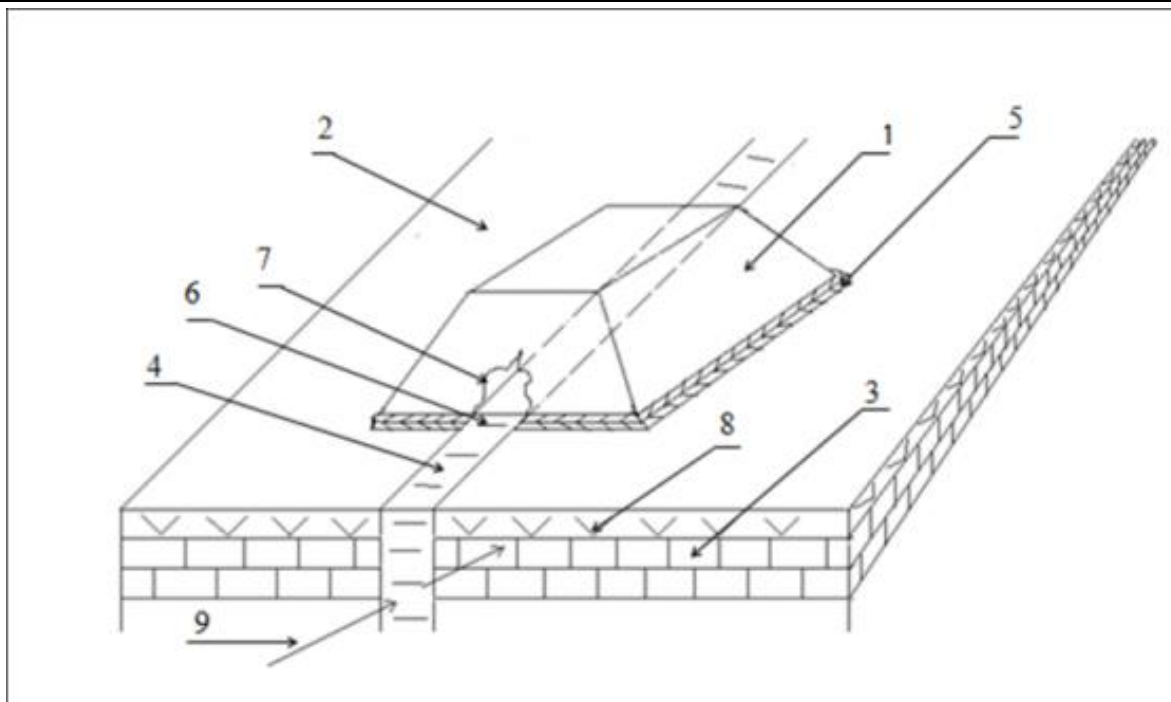


Рис.1. Схема поступления воздуха в тело отвала при расположении его над ГОЗ: 1 – углепородный отвал; 2 – земная поверхность; 3 – массив горных пород; 4 – зона влияния границ геодинамически активных блоков (геодинамически опасная зона); 5 – изолирующий слой; 6 – зона разрушения изолирующего слоя в основании; 7 – зона разрушения изолирующего слоя на бортах; 8 – наносы; 9 – движение воздуха.

3. Анализ форм очагов возгорания.

Имеющиеся результаты геодинамического районирования показывают, что на территории Донбасса в районах расположения шахтных полей имеются границы геодинамически активных блоков III-IV рангов преимущественно северо-восточного, северо-западного и меридионального направлений.

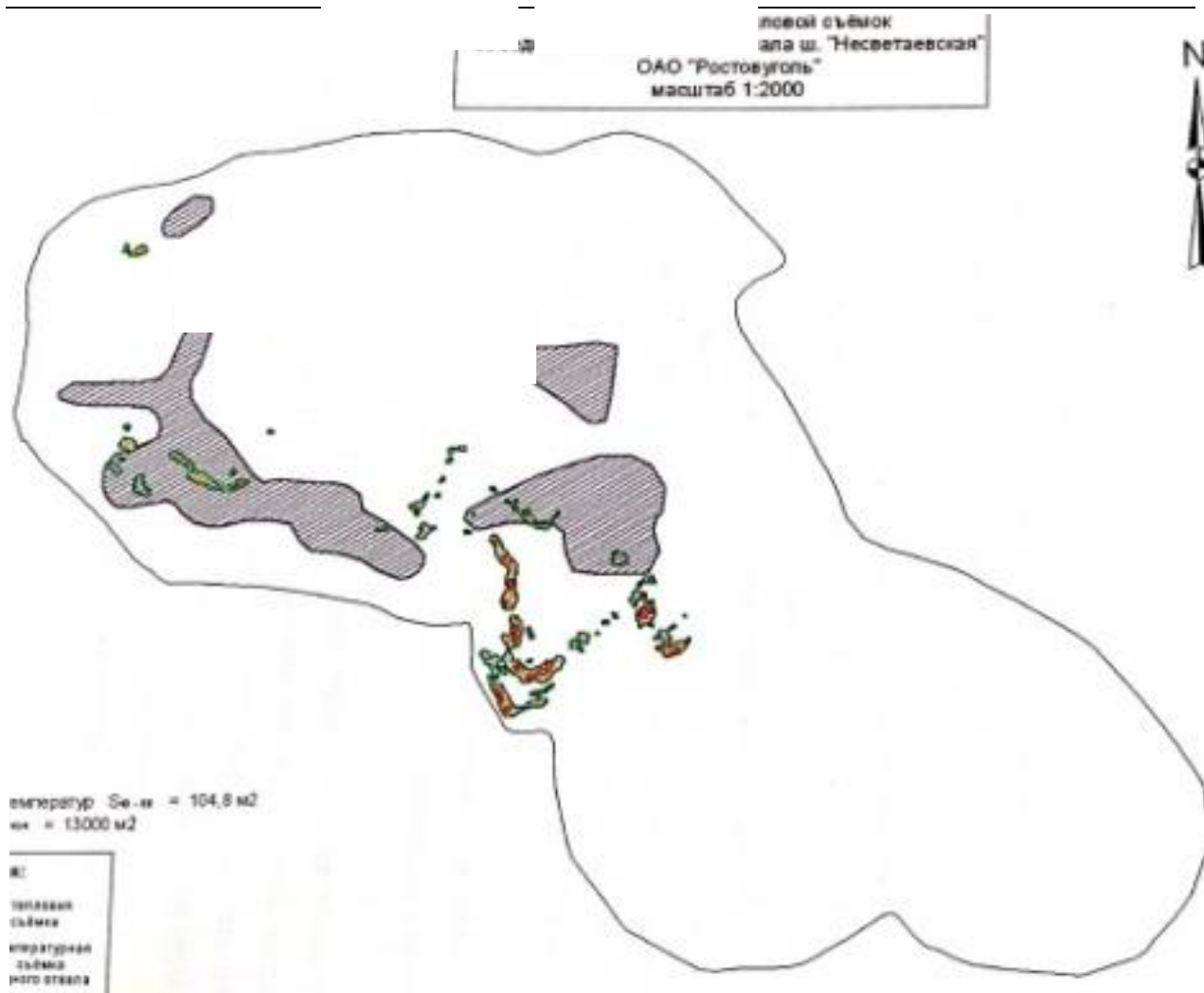


Рис. 2. Типичные формы очагов горения на отвалах.

На углепородных отвалах проводится регулярная температурная съемка с целью выявления возможных и существующих очагов возгорания [Каплунов и др., 2010; Пономарев, 2013]. Анализ планов тепловых полей отвалов Восточного Донбасса показывает, что на многих из них очаги горения имеют линейную форму или выстроены в линии определенного направления. Например, на отвале шахты Несветаевская очаги горения вытянуты в цепочку северо-западного направления, что соответствует простиранию границ геодинамически активных блоков, рис. 2. Поскольку отсыпка отвалов производилась ярусами, то материал отвала можно принять однородным по составу по всему телу отвала. Это позволяет предположить, что линейная форма очагов возгорания связана с границами геодинамически активных блоков, расположенных под телом отвалов.

Выводы.

В настоящее время исследованиями многих авторов установлено, что геодинамически опасные зоны, образованные на границах блоков земной коры разных рангов, оказывают воздействие на состояние инженерных сооружений не только в тектонически активных, но и в традиционно считавшихся геодинамически «спокойными» районах. Имеющиеся данные о расположении горящих углепородных отвалов и ориентировке их очагов также указывают на то, что геодинамика района может оказывать влияние на условия самовозгорания отвалов. Для обоснования рекомендаций по выбору мест для расположения углепородных отвалов необходимо продолжать анализ данных расположения горящих отвалов.

Литература

- Агапов А. Е., А. М. Навитний, Т. Л. Терещенко и др.*, Техничко-технологические решения по формированию пожаробезопасных параметров и тушению горящих отвалов (терриконигов): В 2 кн. Справочное пособие, 2008.
- Адушкин В. В.*, Геодинамические проблемы строительства нефтегазопроводов на севере Европейской части России, Международное рабочее совещание. 24-27 июня 1997, 1997, С. 210-218.
- Батугин А. С.*, Возможности и опыт оценки напряженного состояния горного массива в горнопромышленных районах методами тектонофизики // ГИАБ. Специальный выпуск № 1 «Труды международного научного симпозиума «Неделя Горняка – 2016». 2016. С. 180-192.
- Батугин А. С.*, К механизму землетрясений 25.04.1997 и 27.04.1997 на севере Кузбасса, Горный информационно-аналитический бюллетень, № 2, 2006, С. 185-189.
- Батугин А. С.*, Классификация участков земной коры по степени геодинамической опасности, Труды научного симпозиума «Неделя Горняка – 2009», 2009, С. 246-254.
- Батугин А. С.*, Тектонофизическая модель горно-тектонических ударов с подвижками крыльев крупных тектонических нарушений, Горный информационно-аналитический бюллетень, «Труды научного симпозиума «Неделя Горняка – 2010», 2010, С. 252-264.
- Батугин А. С., А. С. Алферова*, Геодинамическая опасность как разновидность экологической опасности, Горный информационно-аналитический бюллетень, № 8, 2011, С. 297-304.
- Батугин А. С., А. С. Кужелева, И. М. Батугина*, Роль метода геодинамического районирования при геоэкологическом обосновании безопасного размещения инженерных объектов на примере экогорода Новое Ступино, Горный информационно-аналитический бюллетень, № 8, 2011, С. 305-308.
- Батугин А. С., В. Г. Климанова*, Затопление шахт как возможная причина землетрясений в горнопромышленных районах. Горный информационно-аналитический бюллетень, № 2, 2002, С. 181-184.
- Батугин А. С., В. Р. Мусина*, Анализ геодинамических условий района расположения горящих углепородных отвалов, Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках: Материалы XXVI Международной научной школы, 2016, С. 46-50.
- Батугин А. С., И. В. Головкин, В. А. Семенов, В. Р. Мусина, Ш. Р. Мухитдинов*, Оценка ширины зон влияния границ блоков по данным проявления техногенной сейсмичности в горнопромышленном районе Кузбасса// Горный информационно-аналитический

бюллетень, № 7, 2015, С. 211-214.

Батугин А. С., И. М. Батугина, Р. А. Болотный, К оценке геодинамического риска в мегаполисах, Горный информационно-аналитический бюллетень, № 6, 2008, С. 141-143.

Батугин А. С., И. М. Батугина, Горно-тектонический удар на шахте Кургазакская на Южном Урале как результат взаимодействия природной и технической систем, Горный информационно-аналитический бюллетень, отдельный выпуск «Труды научного симпозиума «Неделя Горняка 2011», 2011, С. 338-346.

Батугин А. С., Р. А. Болотный, Оценка геодинамического риска для территории мегаполисов (на примере г. Реутова Московской области), Горный информационно-аналитический бюллетень, № 4, 2009, С. 132-134.

Батугин А. С., Р. А. Болотный, Управление геодинамическим риском как путь к повышению экологической безопасности, Горный информационно-аналитический бюллетень, № 7, 2009, С. 86-89.

Веселовский В. С., Л. П. Виноградова, Г. Л. Орлеанская, Е. А. Терпюгосова, Методическое руководство по прогнозу и профилактике самовозгорания угля, 1971.

Каплунов Ю. В., А. В. Лиманский, Н. М. Булаева, Разработка методической основы формирования актуальной базы данных экологического мониторинга окружающей среды при ликвидации шахт и разрезов, Мониторинг. Наука и технологии, №4, 2010, С. 6-18.

Кузьмин Ю. О., Современная геодинамика и оценка геодинамического риска при недропользовании, 1999.

Тяньвэй Л., Ч. Хунвэй, И. М. Батугина и др., Изучение геодинамических условий проявления горных ударов на угольных шахтах месторождения Цзинси в Китае, Горный информационно-аналитический бюллетень, 2014, №7, С. 247-257.

Маневич А. И., В. А. Макаров, П. Н. Пащенко, Перспективы математического моделирования как составной части геомеханического мониторинга на шахтах с целью повышения эффективности управления газовой выделением, Горный информационно-аналитический бюллетень, №6, 2017, С. 91 – 100.

Морозов В. Н., А. И. Маневич, Моделирование напряженно-деформированного состояния эпицентрального района землетрясения 26.01.2001 г., М=6.9 (Индия), Геофизические исследования, 2016, Т. 17, № 4, С. 23-36. DOI: 10.21455/gr2016.4-2.

Морозов В. Н., М. В. Родкин, В. Н. Татаринов, К проблеме геодинамической безопасности объектов ядерно-топливного цикла, Геоэкология, № 3, 2001, С. 227-238.

Никонов А. А., Человек воздействует на земную кору, 1980, С. 48.

Ниметулаева Г. Ш., Обеспечение экологической безопасности территории Бахчисарайского района Крыма при оползневых явлениях на основе геодинамического районирования недр, 2004, С. 23.

Петухов И. М., И. М. Батугина, Геодинамика недр. М.: Недра коммюникейшенс, 1999, С. 218.

Пономарёв В. С., Разработка предложений по технологической платформе мониторинга комплексной диагностики безопасности угольных районов, Мониторинг. Наука и технологии, №1, 2013, С. 42-47.

Рахимов В. Р., А. Н. Казаков, Ш. Р. Мухитдинов, Геодинамическое районирование как основа для выявления блочной структуры золотоносных месторождений Узбекистана, Горный вестник Узбекистана, № 32, 2008, С. 44-49.

Рябоштан Ю. С., Микрогеодинамика горной среды, Геодинамика месторождений, 1990, С. 56-61.

Татаринов В. Н., В. Н. Морозов, И. Ю. Колесников, А. И. Каган, Кинематический метод геодинамического районирования при проектировании отработки месторождений подземным способом, Безопасность жизнедеятельности, № 7, 2014, С. 8-11.

Татаринов В. Н., Т. А. Татаринова, Учет масштабного эффекта при наблюдениях за деформациями земной поверхности спутниковыми навигационными системами, № 5, 2012, С. 15-19.

- Тряпцын В. М., А. Н. Шабаров, Современная тектоника и геодинамика Хибин, 2007, С. 146.
- Хотченков Е. В., А. С. Батугин, И. М. Батугина, Результаты геодинамического районирования как основа совершенствования горно-экологического мониторинга карстовых процессов, Мониторинг. Наука и технологии, 2013, № 2, С. 14-23.
- Цяо Ц., А. С. Батугин, И. М. Батугина, Л. Юй, Ц. Чжао, Условия проявления геодинамических явлений на шахте Хуафэн в Китае, 2016, С. 144.
- Шабаров А. Н., Н. В. Гусева и др. Выделение геодинамически опасных зон по трассе проектируемого газопровода Ямал-Белосток, 1997, С. 199-209.
- Яковлев Д. В., Т. И. Лазаревич, С. В. Цирель, Генезис и развитие природно-техногенной сейсмичности Кузбасса, Уголь, № 10, 2013, С. 53-59.
- Batugin A. S., V. R. Musina, Justification of the choice of location for the coal rock dumps on the basis of data geodynamic zoning, Book of Abstracts of the International Conference «Data Intensive System Analysis for Geohazard Studies», 2016, P.42. DOI: 10.2205/2016BS08Sochi.
- Morozov V. N., V. N. Tatarinov, Tectonic processes development with time in the areas of HLW disposal from expert assessment to prognosis, International Nuclear Energy science and Technology, Vol. 2. No, 1/2, 2006. PP. 65-74. DOI: 10.1504/IJNEST.2006.010648.

Приложение:

Патент РФ № 2022377. Способ захоронения радиоактивных и других вредных отходов.

Патент РФ №2600948. Способ выбора мест расположения горящих углепородных отвалов.

К ВОПРОСУ АНАЛИЗА ДАННЫХ ОБ ИЗМЕНЕНИИ ГОРНЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО РЕЖИМА НЕДР

Д. В. Букача

Горный институт НИТУ «МИСиС»

Аннотация

Многочисленные факты показывают, что существует взаимосвязь геодинамических и геоэкологических процессов в горнопромышленных районах. Несмотря на то, что причины этой взаимосвязи не полностью изучены, стоит вопрос об анализе имеющихся данных для разработки подхода и методов расчета экологических платежей для горных предприятий за изменение геодинамического режима недр

Ключевые слова: геодинамические процессы, геодинамический режим, сейсмическая активность, горно-геологические явления, движения земной коры.

Введение

Ранее учеными неоднократно высказывалась мысль, что функционирование производственных систем и технологий должно согласоваться с ходом природных процессов, однако в основном речь шла об экзогенных процессах [Бабков-Эстеркин и др., 1997; Бабков-Эстеркин и др., 1999; Красавин, 1991]. В настоящее время имеются многочисленные данные, показывающие, что существует взаимосвязь эндогенных геодинамических и геоэкологических процессов в горнопромышленных районах, что человеческая деятельность изменяет и геодинамический режим территорий. Техногенная сейсмичность, сильные горные удары на шахтах, техногенные землетрясения на карьерах, аномальные процессы сдвижения, активизация оползней являются важной и актуальной геоэкологической, социальной, технической проблемой в ряде горнопромышленных районов в России и других странах мира [Адушкин и Турунтаев, 2015; Айтматов и др., 2004; Батугин, 2009; Батугин и Алферова, 2011; Козырев и др., 2002; Лань и др., 2014; Никонов, 1980; Пучков, 2002; Слостунов, 2013; Яковлев, 2013; Durrheim, 2010; Morozov and Tatarinov, 2006;], что ставит вопрос об анализе имеющихся данных для разработки подхода и методов расчета экологических платежей для горных предприятий за изменение геодинамического режима недр

1. Геоэкологические последствия геодинамических процессов в районах горных разработок. Горные удары на шахтах известны более 150 лет, но во второй половине 20-го века произошло качественное изменение форм проявлений геодинамической опасности, которая приобрела выраженную экологическую составляющую. При разработке месторождений Урала, Кузбасса и Горной Шории, Кольского полуострова в России, а также на зарубежных месторождениях происходят горно-тектонические удары, вызывающие разрушения на поверхности, образование провалов, появление трещин, исчезновение водотоков и др. Отмечается техногенная сейсмичность при разработке нефтяных и газовых месторождений, строительстве сверхвысоких зданий в городах, происходят землетрясения в районах ликвидации шахт. В России и других странах мира имеются горнопромышленные районы, в которых техногенная сейсмичность стала социальным фактором, привела к повышению опасности эксплуатации других промышленных производств, снижению цен на недвижимость, стала оказывать непосредственное влияние на биологический оптимум для человека. В таблице 1 представлены данные об экологических последствиях изменения горнодобывающими предприятиями геодинамического режима недр.

Таблица 1.

Геоэкологические последствия геодинамических процессов в районах горных разработок

Экологические последствия	Примеры	Литература
Сотрясения поверхности и населенных пунктов при горных ударах на шахтах и рудниках	Месторождения Китая, Индии, Западной и Восточной Европы, России, ЮАР и других стран мира	1, 7, 13, 16, 19, 24, 37, 38, 40 и др.
Сейсмическое воздействие на территорию, активизация оползней при горных ударах на карьерах	Центральный (Апатиты), Кумкор (Киргизия), Бачатский (Кузбасс)	2, 5, 15, 16, 19, 33, 34
Землетрясения при затоплении шахт	Кузбасс, Индия, Чехия, ЮАР и др.	6, 8, 9, 34
Максимально возможные по карте сейсмического районирования сотрясения в районе горных разработок	Херинген (Германия), Расвумчоррское (Россия), Таштагол (Россия), Бачатское (Россия), Стилфонтейн (ЮАР) и др.	7, 16, 19, 28, 35, 37
Разрушение инженерных объектов на	Рудник Таштагол 1986; Шахта	12, 28, 37

поверхности, закрытие или остановка на длительное время шахт после горно-тектонических ударов	Кургазакская (ЮУБР), 1990; рудник Стилфонтейн в ЮАР, 2005 и др.	
Проседание поверхности при горных ударах, разрушение зданий, раскрытие трещин, воздействие выброшенных газов в атмосферу на население	Шахта Аграпп, 1879 (Бельгия); Си Шань, 1959 и Бейпяо, 1984 в Китае, ЮУБР, 1990 (Россия), Второй Соликамский рудник, 1995, Хуафэн 2012, Бачаты 2013 и др.	3, 7, 16, 17, 28, 34, 38
Аномальные сдвигения земной поверхности	ш. Красногорская (Кузбасс); рудник Таштагол; шахта Хуафэн (Китай) и др.	17, 18, 35
Самовозгорание терриконов и бортов карьеров в геодинамически активных зонах	Восточный Донбасс, карьер Хайджоу в Китае	10, 11

2. Обсуждение материалов.

Согласно действующему экологическому законодательству, предприятия обязаны вносить плату за негативное воздействие на окружающую среду. Приведенные в таблице примеры показывают, что связь геодинамических и геоэкологических процессов в районах горных разработок является несомненной, однако экологических нормативов воздействия инженерной деятельности на эндогенные геодинамические процессы не разработано.

Также по требованиям экологического законодательства проектная документация должна соответствовать современному уровню развитию науки и техники. В этой связи можно отметить, что к важнейшим результатам исследований по изучению эндогенных геодинамических процессов, полученным в последние десятилетия, ученые относят, среди прочего, экспериментальное установление тектонических полей напряжений; признание существования иерархически упорядоченной геодинамически активной блочной структуры в районах освоения недр и земной поверхности и ее влияния на инженерные сооружения и условия их эксплуатации; обнаружение тесной взаимосвязи между глобальными геодинамическими и локальными геомеханическими процессами [Петухов и Батугина, 1999; Коликов и др., 2016; Хачай и Хачай, 2016]. На практике эти результаты

используются не только для рекомендаций по безопасности, но и при обосновании крупных проектов по освоению недр, размещению отходов. Ученые пытаются предвидеть и учесть влияние геодинамических процессов на экологическое состояние окружающей среды [Морозов и др., 2001; Морозов и Маневич, 2016; Татаринов и Татаринова, 2012; Татаринов и др., 2014 ; Патент РФ №2022377, 1994; Петухов и Батугина, 1999; Морозов и Татаринов, 2006].

Можно видеть, что актуальность вопроса, научные достижения последних десятилетий и имеющийся опыт экологического обоснования крупных проектов выводят на повестку дня вопрос о всестороннем анализе данных об изменении геодинамического режима в районах горных разработок для обоснования подхода и расширения методов расчета экологических платежей для горных предприятий за воздействие на окружающую среду.

Выводы.

Имеются многочисленные данные, указывающие на взаимосвязь геодинамических и геоэкологических процессов при разработке месторождений. В изучении геодинамических процессов, происходящих при разработке месторождений, достигнуты большие успехи. Имеются установленные научные факты и обнаружен ряд закономерностей. Есть опыт учета в крупных проектах изменения геодинамического состояния массива во времени. Таким образом, созданы предпосылки для анализа данных для разработки подхода и методов расчета экологических платежей для горных предприятий за изменение геодинамического режима недр.

Литература

- Адушкин В. В., С. Б. Турунтаев, Техногенная сейсмичность - индуцированная и триггерная, 2015, С. 364.*
- Айтматов И. Т., К. Ч. Кожогулов, О. В. Никольская, Геомеханические проблемы разработки нагорных месторождений открытым способом в горноскладчатых областях, Научно-техническое обеспечение горного производства, Т. 68., Ч.1, 2004.*
- Бабков-Эстеркин В. И., А. С. Батугин, А. Е. Воробьев, В. В. Качак, К. С. Коликов, В. Н. Королева, Е. Ю. Куликова, С. В. Сластунов, В. В. Соболев, А. А. Шилов, Горное дело и окружающая среда, Ч. 3, 1999.*

Бабков-Эстеркин В. И., А. С. Батугин, А. Е. Воробьёв, В. В. Качак, К. С. Коликов, В. Н. Королева, Е. Ю. Куликова, С. В. Сластунов, В. В. Соболев, А. А. Шилов, Горное дело и окружающая среда, Ч. 1, 1997.

Батугин А. С., И. М. Батугина, Горно-тектонический удар на шахте Кургазакская на Южном Урале как результат взаимодействия природной и технической систем, Труды научного симпозиума «Неделя Горняка – 2011», 2011, С. 338-346.

Батугин А. С., А. С. Алферова, Геодинамическая опасность как разновидность экологической опасности, Горный информационно-аналитический бюллетень, 2011, № 8, С. 297-304.

Батугин А. С., В. Г. Климанова, Затопление шахт как возможная причина землетрясений в горнопромышленных районах, Горный информационно-аналитический бюллетень, 2002. № 2. С. 181-184.

Батугин А. С., В. Р. Мусина, Анализ геодинамических условий района расположения горящих углепородных отвалов, Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках, Материалы XXVI Международной научной школы, 2016, С. 46-50.

Батугин А. С., Возможности и опыт оценки напряженного состояния горного массива в горнопромышленных районах методами тектонофизики, Труды международного научного симпозиума «Неделя Горняка – 2016», Специальный выпуск № 1, 2016, С. 180-192.

Батугин А. С., И. В. Головкин, Оценка геодинамического риска при затоплении шахт (на примере ш. Анжерская), Горный информационно-аналитический бюллетень, № 10, 2010, С. 78-81.

Батугин А. С., К механизму землетрясений 25.04.1997 и 27.04.1997 на севере Кузбасса, Горный информационно-аналитический бюллетень, № 2, 2006, С. 185—189.

Батугин А. С., Классификация участков земной коры по степени геодинамической опасности, Труды научного симпозиума «Неделя Горняка – 2009». 2009. С. 246-254.

Батугин А. С., Тектонофизическая модель горно-тектонических ударов с подвижками крыльев крупных тектонических нарушений, «Труды научного симпозиума «Неделя Горняка – 2010», 2010, С. 252-264.

Батугина И. М., А. С. Батугин, В. Ю. Каплунов и др., Вопросы геодинамической и геоэкологической безопасности при ликвидации горных предприятий, Мониторинг.Наука и технологии, №2, 2012, С. 6.

Еманов А. Ф., А. А. Еманов, А. В. Фатеев, Е. В. Лескова, Техногенная сейсмичность Кузбасса, Современная тектонофизика. Методы и результаты. Материалы четвертой тектонофизической школы-семинара, Т.1, 2015, С.108-111.

Жиров Д. В., В. А. Сохарев, В. В. Рыбин, С. А. Климов, Г. С. Мелихова, Основные принципы и методические подходы к инженерно-геологическому и геомеханическому районированию в целях оптимизации работ по закреплению/стабилизации уступов карьера на примере массива пород рудника «Железный» ОАО «Ковдорский ГОК», Горный информационно-аналитический бюллетень, № 8, 2014, С. 45-57.

Казанин О. И., М. Г. Мустафин, А. А. Мешков, Анализ причин провалов земной поверхности при отработке угольного пласта Байкаимский на шахте «Красноярская» ОАО «СУЭК-Кузбасс», Горный информационно-аналитический бюллетень, № 4, 2013, С. 257-261.

Квочин В. А., Б. В. Шрепп, В. И. Бояркин и др., Исследование взаимосвязи процессов сдвижения горных пород с возникновением горных ударов на Таштагольском руднике, Горный журнал, 1981, № 12, С. 45-48.

Козырев А. А., В. И. Панин, С. Н. Савченко и др., Сейсмичность при горных работах, 2002.

Коликов К. С., Никитин С. Г., Маневич А. И., Аналитическая оценка прогноза метанообильности, рекомендуемого нормативными документами, Безопасность труда в промышленности, 2016, № 8, С. 34-39.

Красавин А. П., Защита окружающей среды в угольной промышленности, 1991.

Ловчиков А. В., Сильнейшие горно-тектонические удары и техногенные землетрясения на рудниках России, Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 2013, № 4, С. 68-72.

Маневич А. И., В. А. Макаров, П. Н. Пащенко, Перспективы математического моделирования как составной части геомеханического мониторинга на шахтах с целью повышения эффективности управления газовыделением, Горный информационно-аналитический бюллетень, 2017, № 6, С. 91 – 100.

Морозов В. Н., А. И. Маневич, Моделирование напряженно-деформированного состояния эпицентрального района землетрясения 26.01.2001 г., М=6.9 (Индия), Геофизические исследования, 2016, Т. 17, № 4, С. 23-36. DOI: 10.21455/gr2016.4-2.

Морозов В. Н., М. В. Родкин, В. Н. Татарinov, К проблеме геодинамической безопасности объектов ядерно-топливного цикла, Геоэкология, 2001, № 3, С. 227-238.

Никонов А. А., Человек воздействует на земную кору, 1980, С. 48.

- Петухов И. М., И. М. Батугина*, Геодинамика недр. М.: Недра коммунікейшенс. 1999.
- Пучков Л. А., С. В. Сластунов, К. С. Коликов*, Извлечение метана из угольных пластов, 2002, С. 383.
- Сластунов С. В., Г. Г. Каркашадзе, К. С. Коликов, Г. П. Ермак*, Аналитическая методика расчета допустимой нагрузки на очистной забой по газовому фактору, Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 2013, № 6.
- Татаринов В. Н., В. Н. Морозов, И. Ю. Колесников, А. И. Каган*, Кинематический метод геодинамического районирования при проектировании отработки месторождений подземным способом, Безопасность жизнедеятельности, 2014, № 7, С. 8-11.
- Татаринов В. Н., Т. А. Татаринова*, Учет масштабного эффекта при наблюдениях за деформациями земной поверхности спутниковыми навигационными системами, Маркшейдерский вестник, 2012, № 5, С.15-19.
- Тяньвэй Л., Ч. Хунвэй, И. М. Батугина и др.*, Изучение геодинамических условий проявления горных ударов на угольных шахтах месторождения Цзинси в Китае, 2014, № 7, С. 247-257.
- Хачай О. А., А. Ю. Хачай*, Моделирование распространения 2d сейсмического поля в слоисто блоковой среде с аномально напряженным иерархическим включением / Прогноз и предупреждение тектонических горных ударов и землетрясений: измерение деформаций, остаточных и действующих напряжений в горных породах: Материалы Первого Международного симпозиума, г. Бишкек, 21-23 сентября 2016 г. Бишкек: НАН КР, 2016. С. 11-15.
- Холуб К. О.*, Реакции массива на сокращение добычи угля, Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 2006, №1, С. 18-30.
- Цяо Ц., А. С. Батугин, И. М. Батугина, Л. Юй, Ц. Чжао*, Условия проявления геодинамических явлений на шахте Хуафэн в Китае, 2016, С. 144.
- Яковлев Д. В., Т. И. Лазаревич, С. В. Цирель*. Генезис и развитие природно-техногенной сейсмичности Кузбасса, Уголь, 2013, № 10, С. 53-59.
- Durrheim R.J.*, Mitigating the risk of rockbursts in the deep hard rock mines of South Africa: 100 years of research/Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., 2010.
- Patynska R.*, The consequences of rock burst hazard for Silesian companies in Poland, Acta Geodynamica Et Geomaterialia, 2013, №10(2), pp. 227–235.

Morozov V.N., V.N. Tatarinov, Tectonic processes development with time in the areas of HLW disposal from expert assessment to prognosis, International Nuclear Energy science and Technology, 2006, Vol. 2, №1/2, pp. 65-74. DOI: 10.1504/IJNEST.2006.010648.

Tarasov B.G., Shear ruptures of extreme dynamics in laboratory and natural conditions/ Deep Mining 2017: Eighth International Conference on Deep and High Stress Mining – J Wesseloo, 2017, p.48.

Приложение:

Патент РФ № 2022377. Способ захоронения радиоактивных и других вредных отходов, 1994.

ОЦЕНКА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕРРИТОРИИ П. ПРИГОРОДНОЕ
(САХАЛИНСКАЯ ОБЛАСТЬ) ПО ИНТЕНСИВНОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ
ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В. В. Антошин¹, А. А. Стельмахов²

¹ Sakhalin Energy Investment Company Ltd

² Горный институт НИТУ «МИСиС»

antoshin089@gmail.com

Аннотация

В статье проведен анализ инженерно-геологических условий территории п. Пригородное, Корсаковского района, Сахалинской области, классификация и качественная оценка интенсивности проявления геодинамических процессов наиболее характерных для этой области.

Ключевые слова: геодинамические процессы, Сахалин, добыча нефти и газа, эндогенные процессы, экзогенные процессы

На территории п. Пригородное, Корсаковского района, Сахалинской области предполагается строительство нового причала отгрузки сжиженного природного газа (СПГ) шельфовых месторождений нефти и газа проекта «Сахалин – 2». Новый причал входит в производственный комплекс «Пригородное», состоящего из завода по производству СПГ и терминала отгрузки нефти (ТОН). Комплекс расположен на юге острова, на побережье залива Анива, в 15 км к востоку от г. Корсакова, общая площадь комплекса составляет почти 4,2 км². Залив Анива зимой не замерзает, поэтому он именно он был выбран для отгрузок нефти и СПГ в рамках проекта.

Исходя из того, что проектируемый объект рассчитан на 35 – 50 лет эксплуатации, необходима комплексная оценка интенсивности опасных геодинамических процессов на территории причала производственного комплекса «Пригородное» для последующего грамотного инженерно-геологического прогноза состояния исследуемой природно-технической системы (ПТС) и оценки риска аварий и аварийных ситуаций [Коликов и др., 2015].

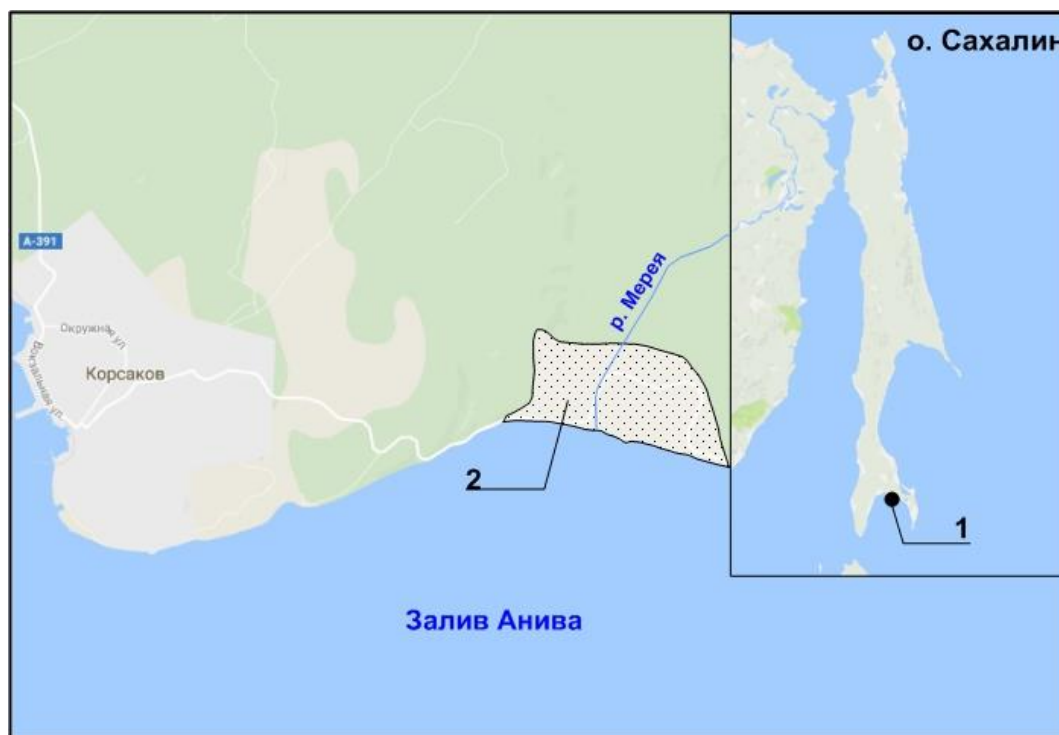


Рис. 1. Географическое положение производственного комплекса «Пригородное», 1 – положение производственного комплекса относительно о. Сахалин; 2 – локальное положение и размеры проектируемой площадки завода СПГ и ТОН.

В пределах района п. Пригородное распространены нерасчлененные верхнемеловые-палеогеновые образования, представленные однородными алевролитами и аргиллитами с редкими прослоями (0,2 – 1,5 м) серых мелко-среднезернистых песчаников. С дневной поверхности на прибрежной террасе они перекрываются небольшим по мощности слоем элювиально-делювиальных образований верхнего неоплейстоцена-голоцена, представлены суглинками, супесями, дресвой, щебнем. Мощность отложений составляет 4,5 – 6,5 м. В границах акватории на поверхности морского дна отложения перекрываются современными песчано-галечниковыми отложениями с максимальной мощностью до 0,5 м.

В пойме реки Меря (рис. 1) развиты верхняя часть аллювиальных отложений голоцена, представленные галечниками, песками, супесями, суглинками, реже глинами и илами. Мощность не превышает 8 – 10 м, чаще 6 м.

Вдоль побережья развиты морские отложения верхнего неоплейстоцена, слагающие аккумулятивный чехол третьей террасы высотой до 20 м. В составе преобладают серые и желтые пески с прослоями песчанистых глин и суглинков, редко галечников. Мощность не превышает 10 м.

Комплексом геофизических и инженерно-геологических работ был установлен монотонный разрез аргиллитов. Для них характерна низкая прочность, высокая

трещиноватость и выветрелость. Многие из трещин имеют заполнение кальцитом в виде тонкой пленки на стенках трещин, часто кальцит присутствует с признаками выветривания до размягченного мелкого порошка. В результате порода легко разламывается по ранее существовавшим трещинам.

Мощность слоя четвертичных отложений непосредственно в зоне проектируемого термина не превышает первых десятков сантиметров и непрерывным сейсмоакустическим профилированием не фиксируется. Максимально зафиксированная мощность ~ 70 см. За пределами зоны терминала установлено несколько небольших по площади участков, где мощность достигает 1 – 1,5 м. Литологический состав четвертичных отложений разнообразный – пески от пылеватых до средней крупности, глины, суглинки твердой консистенции, дресвяный, гравийный, галечниковый грунты.



Рис. 2. Положение самых сильных землетрясений о. Сахалин: 1 - Нефтегорское, М 7.5, 1995 г.; 2 - Монеронское М 7.5, 1971 г.; 3 - Углегорское, М 7.1, 2000 г.

Землетрясения: территория Сахалинской области расположена в пределах Тихоокеанского сейсмического пояса и представляет собой северное положение Сахалино-Японской островной дуги и трассирует границу Охотоморской и Евразийской плит [Трофимов и др., 2013]. Самые катастрофические землетрясения [Трофимов и др., 2013] – Нефтегорское, М 7.5, 1995 г., после которого произошла активизация сейсмического процесса на о. Сахалин; Монеронское М 7.5, 1971 г., произошедшее на шельфе в 40 км юго-западнее о. Сахалин (на побережье ощущалась интенсивность до 7 баллов; Углегорское, М 7.1, 2000 г., которое возникло в южной части острова, вдалеке от населенных пунктов и практически не принесло ущерба.

Территория п. Пригородное, Корсаковского района, согласно СП 14.13330.2014 [СП 14.13330.2014. Строительство в сейсмических районах] относится:

- к восьми балльной зоне интенсивности сейсмических воздействий для средних грунтовых условий (2 категория грунтов по сейсмическим свойствам), для объектов нормальной (массовое строительство) и пониженной ответственности (карта А) , с повторяемостью 1 раз в 500 лет и для объектов повышенной ответственности карты В ,с повторяемостью 1 раз в 1000 лет;
- к девятибалльной зоне интенсивности сейсмических воздействий для средних грунтов условий «2 категория грунтов по сейсмическим свойствам), для особо ответственных объектов карты С ,с повторяемостью 1 раз в 5000 лет.

В 2016 г. проведено уточнение сейсморайонирования территории завода СПГ, сделано заключение, что итоговая сейсмичностью для выделенных зон на площадке изысканий по методу сейсмических жесткостей при округлении до целого для периода повторяемости прогнозируемых сейсмических воздействий 1000 лет меняется от 8 до 9 баллов.

Повышенная сейсмическая опасность рассматриваемого региона предполагает возможность возникновения и угрозы цунами [СП 115.13330.2011. Геофизика опасных природных воздействий].

Выветренность: в относительно недавнем геологическом прошлом аргиллиты подвергались выветриванию, которое включало комбинацию механического и химического выветривания. Породы со значительной степенью выветривания в целом ассоциируются с интенсивной трещиноватостью, что позволяет предположить, что в основном интенсивность выветривания обусловлена трещиноватостью, которая в свою очередь обусловлена близким расположением зон тектонических нарушений.

Гидрогенные и гидрогеогенные процессы:

- Абразия морского берега залива Анива в районе г. Корсаков характеризуется периодическими разрушениями побережья, охватывающими до половины берегов и приводящими к деформациям отдельных объектов экономики. Значения скорости морских течений вблизи комплекса «Пригородное» в основном не выходят за рамки диапазона от 0,1 до 0,2 м/с;
- Эрозионные процессы присутствуют, их интенсивность можно характеризовать как умеренную. Присутствует эрозия почв берегового склона в следствии снеготаяния и осадков. Однако она не переходит в овражную т.к. отсутствует размыв горных пород и малые эрозионные формы рельефа (борозды, промоины и т.д.). Речная эрозия присутствует по профилю русла р. Меря;
- Сели, карст, пльвуны и суффозионные процессы – отсутствуют.

Геоэкологическое состояние территории п. Пригородное по интенсивности геодинамических процессов можно оценить как относительно неблагоприятное. Совершенно очевидно наличие сейсмической активности, что влияет на условия ведения строительных и добычных работ, а так же обязует реализовывать мониторинг сейсмической активности района и шельфа. Наблюдается определенное наличие абразийных и эрозионных процессов не высокой интенсивности, однако в перспективе эксплуатации объекта и учитывая их долгосрочное воздействие на компоненты производственного комплекса, необходимо предусмотреть ряд мероприятий для предотвращения аварий и аварийных ситуаций [СП 116.13330.2012. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов; *Бондарик и др.*, 2007].

Литература

- Бондарик Г. К., В. В. Пендин, Л. А. Ярг*, Инженерная геодинамика, 2007, С. 440.
- Коликов К. С., В. В. Ческидов, А. И. Маневич*, Мониторинг состояния откосных сооружений и оснований на горнодобывающих предприятиях, Горный информационно-аналитический бюллетень, № 12 (9601) 2015, С. 124-137.
- Трофимов В. Т., Э. В. Калинин, Ю. К. Васильчук и др.*, Инженерная геология России, Т. 2, Инженерная геодинамика территории России, 2013, С. 816.

Приложение

СП 14.13330.2014. Строительство в сейсмических районах.

СП 115.13330.2011. Геофизика опасных природных воздействий.

СП 116.13330.2012. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов.

ТИПИЗАЦИЯ СУЛЬФИДНЫХ ОКЕАНИЧЕСКИХ РУД С ПРИМЕНЕНИЕМ
ФАКТОРНОГО И КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА

Ю. В. Кириченко, И. В. Лосев

Горный институт НИТУ «МИСиС»

locik@mail.ru

Аннотация

В статье приведена методология типизации сульфидных океанических руд на взаимосвязи минералогенетических признаков проб и статистического анализа содержаний в них химических элементов. Статистический анализ представляет собой вычленение ассоциаций химических элементов в пробоотборах на основе факторного и корреляционного анализа. Таким образом, определены основные рудно-геохимические типы пробоотбора на рудном поле гидротермальных полиметаллических сульфидных руд.

Ключевые слова: океанические руды, сульфидные руды, гидротермальные полиметаллические сульфиды, ГПС, факторный анализ, корреляционный анализ.

Типизация сульфидных океанических руд ГПС основывается на особенностях состава, текстурных и структурных признаках, физических и физико-химических свойствах различных рудно-геохимических типов руд, с учетом взаимосвязи с процессами минералообразования [Андреев, 2007]. Типизация отражает физико-химические условия образования и генезис сульфидных руд, критериями которых являются минералого-геохимические и минералого-генетические факторы (см. раздел 3.1). В основе выделения геохимических и минеральных типов лежат минералого-геохимические факторы, определяющие качественный и количественный химический и минеральный состав руд, соотношение рудообразующих элементов и минералов, состав минералов.

Деление колчеданных месторождений суши на группы по химико-минералогическому составу (серно-колчеданные, медно-колчеданные, медно-полиметаллические), давно принятое в промышленности и в научных разработках, основано, как правило, на минимально промышленных содержаниях, либо на преобладании тех или иных минералов без количественных характеристик, либо на соотношении рудообразующих металлов [Андреев, 1993].

Рудно-геохимическая классификация была предназначена только для сульфидных руд, но следует учесть, что рудные тела ГПС представлены не только сульфидными

минералами, но и минеральными образованиями зоны окисления – атакамитом, оксигидрооксидами железа, железосодержащими кремнисто-глинистыми соединениями [Неизвестнов и др., 2004].

Определение рудно-геохимических типов производилось на основе стандартной классификации колчедановых месторождений (табл. 1), минералогении проб, типоморфизма ГПС.

Таблица 1

Рудно-геохимическая классификация

Индекс	Тип элементов	Содержание элементов
Fe-S	$Cu < 1,0\%$; $Zn < 2\%$	Колчеданный
Cu-Fe	$Cu \geq 1,0\%$; $Zn < 2\%$	Медно-колчеданный
Zn-Fe	$Zn \geq 2\%$; $Cu < 1,0\%$	Цинково-колчеданный
Cu-Zn	$Zn \geq 2\%$; $Cu \geq 1\%$; $Cu/2,6(\%) > Zn/7,8(\%)$	Медно-цинково-колчеданный
Zn-Cu	$Zn \geq 2\%$; $Cu \geq 1\%$; $Cu/2,6(\%) < Zn/7,8(\%)$	Цинково-медно-колчеданный

Выделение рудно-геохимических групп происходит на взаимосвязи минералогенетических признаков проб и статистического анализа содержаний в них химических элементов. Статистический анализ представляет собой вычленение ассоциаций химических элементов в пробоотборах на основе факторного и корреляционного анализа. Все расчеты выполнены в программах Statistica 6, Microsoft Excel

Таблица 2

Среднее содержание элементов

Fe, %	Cu, %	Zn, %	Co, г/т	Ni, г/т
33,298462	0,2774615	0,2500923	80,12308	554,6615
Cd, г/т	Sb, г/т	Te, г/т	Ba, г/т	W, г/т
4,2	1,953077	0,154615	167,4769	0,827692
Ga, г/т	As, г/т	Sr, г/т	Mo, г/т	Ag, г/т
6,698462	28,33846	152,1538	65,85385	1,547692
Pb, г/т	Bi, г/т	Th, г/т	U, г/т	
14,651538	0,088538	0,251538	2,076923	

Факторный анализ это многомерный метод, применяемый для изучения взаимосвязей между значениями переменных. Предполагается, что известные переменные зависят от меньшего количества неизвестных переменных и случайной ошибки. И соответственно факторный анализ указывает наиболее значимые факторы, от которых может зависеть множество переменных.

В качестве исходных данных для факторного анализа используется таблица содержания химических элементов в пробах (табл. 2). Однако исходя из определения “известные переменные зависят от меньшего количества неизвестных переменных” исследуемых химических элементов не может быть больше количества проб. В противном случае элементы разбиваются на две группы, что усложняет интерпретацию данных, но увеличивает точность анализа.

Для интерпретации данных, полученных в ходе факторного анализа выводятся либо таблицы с значениями факторов, либо строятся факторные диаграммы (по осям откладывается по фактору) по расположению кластеров элементов на которых и определяются группы.

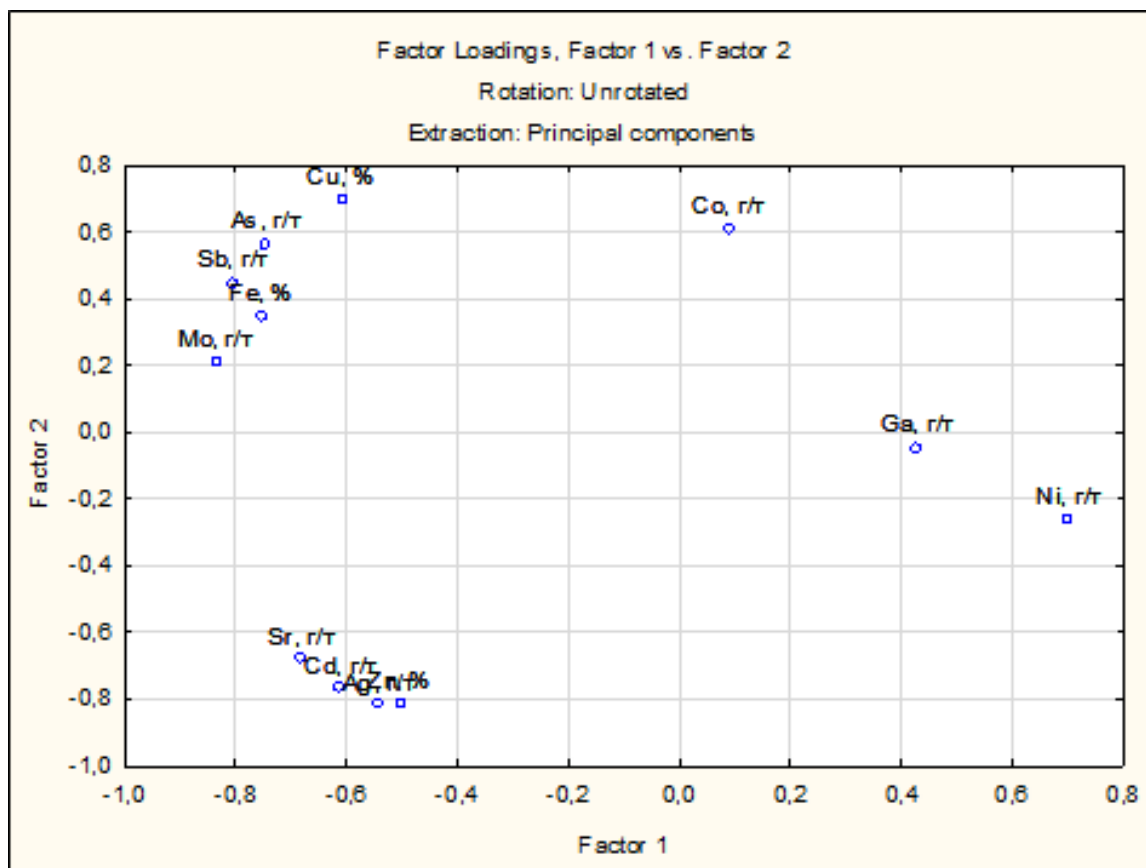


Рис. 1. Группа элементов 1. (Fe, Cu, Zn, Co, Ni, Ga, As, Sr, Mo, Ag, Cd, Sb).

Диаграмма фактора 1 и фактора 2.

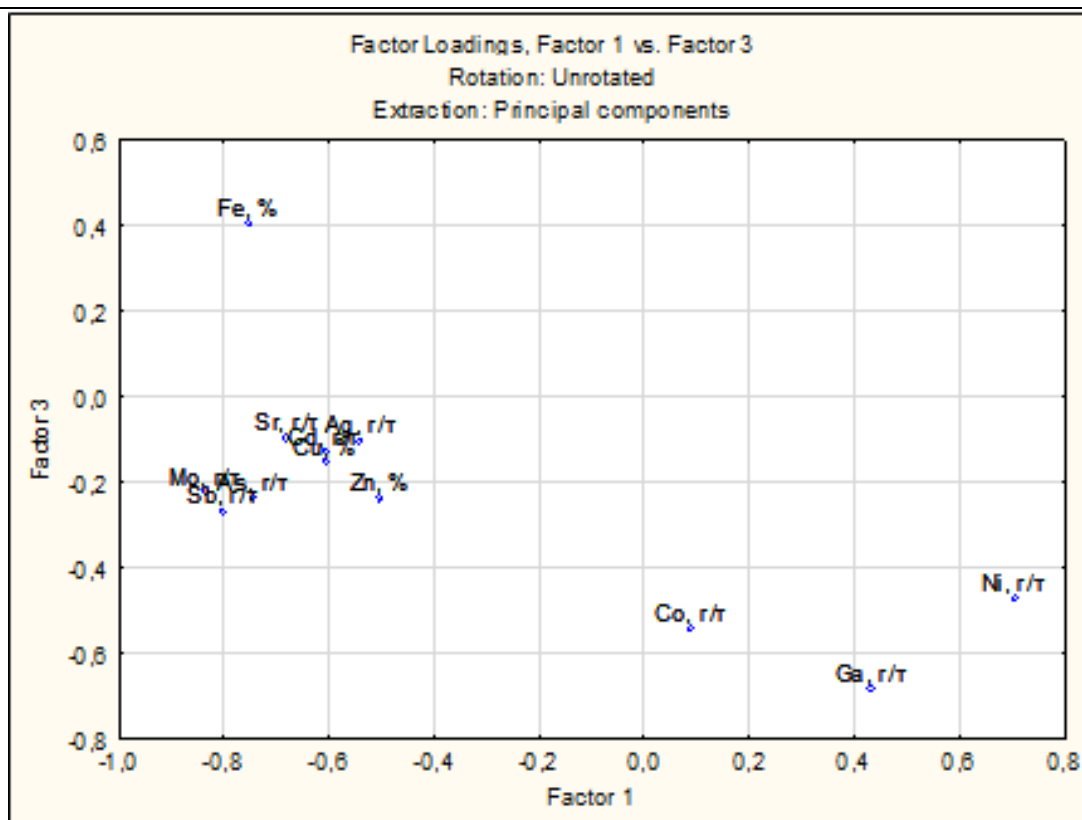


Рис. 2. Группа элементов 1. (Fe, Cu, Zn, Co, Ni, Ga, As, Sr, Mo, Ag, Cd, Sb).

Диаграмма фактора 1 и фактора 3.

Таблица 3

Значения факторов химических элементов проб. Группа элементов 1. (Fe, Cu, Zn, Co, Ni, Ga, As, Sr, Mo, Ag, Cd, Sb)

	ФАКТОР 1	ФАКТОР 2	ФАКТОР 3
Fe, %	-0,752056	0,345394	0,408336
Cu, %	-0,607489	0,697593	-0,152875
Zn, %	-0,502703	-0,813873	-0,235033
Co, г/т	0,090506	0,609007	-0,541454
Ni, г/т	0,703152	-0,259248	-0,473280
Ga, г/т	0,430950	-0,046400	-0,683797
As, г/т	-0,743368	0,562627	-0,236671
Sr, г/т	-0,679203	-0,682237	-0,096976
Mo, г/т	-0,834503	0,211298	-0,222235
Ag, г/т	-0,540313	-0,818816	-0,102788
Cd, г/т	-0,608292	-0,770910	-0,127107
Sb, г/т	-0,801606	0,447351	-0,265009

Корреляционный анализ в рамках данной работы представляет собой составление специально таблицы – корреляционной матрицы. В которой рассчитаны значений коэффициентов корреляции каждого химического элемента пробы со всеми остальными элементами. Далее на основе составленной матрицы и данных и силе связи, аналитически, выделяются цепочки химических элементов.

Критическое значение коэффициента корреляции $r = 0,545798428$

Интервалы:

Слабая связь	Средняя связь	Сильная связь
$>0,545798428$	$>0,697198952$	$>0,848599476$

По корреляционным взаимоотношениям рудообразующие химические элементы (Fe, Cu, Zn) образуют две ассоциации:

1) Cu, As, Sb, Bi, Fe, W, Mo, U, Te, Co

Медь имеют сильную корреляционную связь между мышьяком и сурьмой, которая так же распространяется на Fe, W, Bi (средние и слабые связи) - эти элементы образуют группу внутри которой все элементы коррелируют с большей частью остальных (4-5 связей), связи средние и слабые.

Три элемента выбиваются из базовой группы, посредством малого количества связей между элементами (1-2):

- Молибден имеет сильную корреляционную связь с сурьмой и слабую с медью;
- Теллур имеет среднюю корреляционную связь с висмутом и слабую с медью;
- Кобальт имеет слабую корреляционную связь с вольфрамом.

Корреляционная матрица

	Fe, %	Cu, %	Zn, %	Co, г/т	Ni, г/т	Ga, г/т	As, г/т	Sr, г/т	Mo, г/т	Ag, г/т	Cd, г/т	Sb, г/т	Te, г/т	Ba, г/т	W, г/т	Pb, г/т	Bi, г/т	Th, г/т	U, г/т
Fe, %	1,00																		
Cu, %	0,61	1,00																	
Zn, %	0,04	- 0,21	1,00																
Co, г/т	0,02	0,39	- 0,42	1,00															
Ni, г/т	-0,97	- 0,47	- 0,05	0,05	1,00														
Ga, г/т	-0,45	- 0,22	0,03	0,33	0,42	1,00													
As, г/т	0,64	0,94	- 0,01	0,31	- 0,50	- 0,18	1,00												
Sr, г/т	0,21	- 0,04	0,89	- 0,37	- 0,25	- 0,24	0,13	1,00											
Mo, г/т	0,49	0,62	0,26	0,07	- 0,47	- 0,30	0,76	0,43	1,00										
Ag, г/т	0,12	- 0,23	0,98	- 0,44	- 0,14	- 0,12	- 0,04	0,93	0,25	1,00									
Cd, г/т	0,16	- 0,14	0,96	- 0,40	- 0,19	- 0,14	0,04	0,96	0,35	0,98	1,00								
Sb, г/т	0,59	0,80	0,09	0,29	- 0,49	- 0,25	0,90	0,25	0,90	0,09	0,14	1,00							
Te, г/т	-0,06	0,55	- 0,41	0,50	0,19	0,19	0,47	- 0,35	0,28	- 0,42	- 0,41	0,43	1,00						
Ba, г/т	-0,13	0,06	- 0,27	0,49	0,01	0,48	- 0,08	- 0,17	- 0,07	- 0,29	- 0,25	- 0,05	0,22	1,00					

КИРИЧЕНКО И ЛОСЕВ: ТИПИЗАЦИЯ СУЛЬФИДНЫХ ОКЕАНИЧЕСКИХ РУД ...

W, г/т	0,59	0,76	- 0,16	0,69	- 0,51	0,00	0,78	0,02	0,53	- 0,15	- 0,06	0,67	0,31	0,20	1,00				
Pb, г/т	0,03	- 0,08	- 0,53	- 0,55	- 0,09	- 0,40	- 0,10	0,62	0,17	0,55	0,60	- 0,07	- 0,31	- 0,18	- 0,30	1,00			
Bi, г/т	0,56	0,80	- 0,37	0,38	- 0,46	- 0,19	0,72	- 0,18	0,54	- 0,31	- 0,27	0,71	0,77	0,14	0,54	- 0,23	1,00		
Th, г/т	-0,44	- 0,23	- 0,14	- 0,06	0,39	- 0,07	- 0,16	- 0,04	0,03	- 0,13	- 0,10	- 0,13	- 0,06	0,05	- 0,11	- 0,26	- 0,29	1,00	
U, г/т	0,36	0,49	0,58	- 0,11	- 0,32	- 0,12	0,63	0,62	0,78	0,53	0,61	0,63	0,08	- 0,09	0,39	0,51	0,22	-0,15	1,00

Выделенные группы на основе корреляционного анализа:

Группа 1: Cu, As, Sb, Bi, Fe, W, Mo, Te, Co

Группа 2: Zn, Ag, Cd, Sr, Pb, U, Th

Группа 3: Ni, Ga, Ba, C

2) Zn, Ag, Cd, Sr, Pb

Цинк имеет сильную корреляционную связь с элементами Ag, Sr, Cd и Pb (слабая связь) – эти элементы образуют группу, внутри которой все элементы имеют корреляционные связи между собой. (между Zn, Ag, Cd, Sr – все связи сильные, Pb же имеет все слабые связи)

3) Ba, Ni, Th, Ga

третья группа достаточно условна, т.к. элементы находящиеся в ней связаны друг с другом последовательно: Th → Ni → Ga → Ba (все связи средние) и в конечном итоге имеют связь с первой группой через Ba → Co (связь).

Следует отметить что и ассоциации №1 и №2 имели связь с ураном (ассоциация №1 имела одну среднюю связь через Mo и две слабые через As и Sb; группа 2 имела три слабые связи через Zn, Sr, Cd). Однако исходя из трендового анализа уран был отнесен к ассоциации №1. Элементы вне связей с указанными группами присутствуют - Ba, Ni, Th, Ga, однако они не составляют свою собственную ассоциацию, и более не имеют корреляционных связей вообще. Количество проб: 13. Элементы в I факторном анализе: Fe, Cu, Zn, Co, Ni, Ga, As, Sr, Mo, Ag, Cd, Sb. Элементы во II факторном анализе: Fe, Cu, Zn, Co, Ni, Te, Ba, W, Pb, Bi, Th, U

Таблица 5

Геохимические ассоциации исследуемого рудного поля

Геохимический тип руд	Геохимические ассоциации (корреляц.анализ)	Геохимические ассоциации (факторный анализ)	Вес Факторов, в %
1	2	3	4
Fe-S	Ассоциация №1 Zn≡Ag≡Cd≡Sr≡Zn Pb Ассоциация №2 Cu-Fe-Bi=Te-Cu Co-W=Cu Sb≡As≡Cu-Co≡Sb Отдельные элементы: Ni, Ga, Ba, Th	Ассоциация №1 Zn, Ag, Cd, Sr, Pb, U Ассоциация №2 Cu, As, Sb, Mo, Fe, W, Bi, Te Ассоциация №3 Ga, Co, Ni, Ba Отдельные элементы: Th	
Ассоциации в факторном анализе №1 Элементы: Fe, Cu, Zn, Co, Ni, Ga, As, Sr, Mo, Ag, Cd, Sb			
Fe-S		Ассоциация №1 Zn, Ag, Cd, Sr Ассоциация №2 Cu, As, Sb, Mo, Fe Ассоциация №3	F1 = 41 F2 = 33 F3 = 12

		Ga, Co, Ni	
F ₁ =	Co _{0,09} Ni _{0,70} Ga _{0,43} /Fe _{-0,75} Cu _{-0,61} Zn _{-0,50} As _{-0,74} Sr _{-0,68} Mo _{-0,83} Ag _{-0,54} Cd _{-0,61} Sb _{-0,80}		
F ₂ =	Fe _{0,35} Cu _{0,70} Co _{0,61} As _{0,56} Mo _{0,21} Sb _{0,45} /Zn _{-0,81} Ni _{-0,26} Ga _{-0,05} Sr _{-0,68} Ag _{-0,82} Cd _{-0,77}		
F ₃ =	Fe _{0,41} /Cu _{-0,15} Zn _{-0,24} Co _{-0,54} Ni _{-0,47} Ga _{-0,68} As _{-0,24} Sr _{-0,10} Mo _{-0,22} Ag _{-0,10} Cd _{-0,13} Sb _{-0,27}		

Таким образом, в приведенной таблице указаны основные рудно-геохимические типы пробоотбора на рудном поле гидротермальных полиметаллических сульфидных руд. Проведенные работы – часть второй стадии геологоразведочных работ, а именно они относятся к поисково-оценочным работам. Однако количество и специфика материала, не дает возможности судить о промышленном значении и перспективах освоения выявленного месторождения. И этому есть несколько причин:

1. Принципиальное отсутствие промышленной классификации запасов твердых полезных ископаемых мирового океана;
2. Технологическая сложность пробоотбора, определения координат места взятия пробы, географического выделения рудного поля;
3. Малый опыт геологоразведочных работ месторождений гидротермальных полиметаллических сульфидов, и тем более их промышленная добыча;
4. Сложнопрогнозируемые экологические последствия разработки месторождений сульфидных месторождений мирового океана.

Приведенные выше проблемы – наиболее актуальны для данной области исследований, и именно их скорое и качественное решение определит судьбу гидротермальных сульфидных месторождений мирового океана.

Литература

- Андреев С. И. Геохимия железомарганцевых образований Мирового океана, Кобальтоносные железомарганцевые корки Тихого океана, 1993.
- Андреев С. И. Минеральные ресурсы Мирового океана: концепция изучения и освоения (на период до 2020 г.), 2007, С. 97.
- Неизвестнов Я. В., А. В. Кондратенко, С. А. Козлов и др. Инженерная геология рудной провинции Кларион-Клиппертон в Тихом океане, 2004, С. 281.

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА КОМПОНЕНТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

А. Г. Урузбиева

Горный институт НИТУ «МИСиС»

arina99991@mail.ru

Аннотация

Одной из тенденций развития геоэкологического мониторинга состояния природно-технических систем (ПТС), на данный момент является повышение качества сбора, хранения (классификации) и анализа информации, с целью более эффективного контроля состояния горнодобывающего объекта, на предмет промышленной и экологической безопасности. Совершенствование методики комплексной оценки воздействия горнопромышленных районов на окружающую среду является весьма актуальной научно-исследовательской задачей и представляет собой практический интерес для горнопромышленных регионов России.

Работа горно-обогатительного сектора неразрывно связана с антропогенным воздействием человека на окружающую среду. Непрерывное взаимодействие человека, техники и окружающей среды при росте потребления природных ресурсов формирует антропогенное воздействие на окружающую среду: количественными выбросами, сбросами, захоронениями; внедрением новых (техногенных) или воздействием на старые (природные) элементы природно-технических систем (ПТС), что приводит к новой иерархии отношений внутри биогеоценозов ПТС.

Ущерб, наносимый компонентам окружающей среды, приводит к ощутимым экологическим последствиям, особенно в горнопромышленных районах. Данный ущерб в современной научно-технической литературе, нормативной документации и СМИ сформировался в практически меметичное выражение "современная экологическая ситуация" [Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ].

В результате строительства, эксплуатации и ликвидации горнопромышленных объектов образуются и быстро увеличиваются пространства, нарушенные горными выработками, отвалами пород и отходов переработки, сбрасываются загрязненные воды, гидросети горнопромышленных районов подвергаются резкой деградации, атмосфера претерпевает многочисленные промышленные выбросы загрязняющих веществ и пыли.

Основой для контроля состояния окружающей среды, подверженной воздействию горнопромышленных объектов является – система экологического мониторинга [Израэль, 1979]. Общая цель экологического мониторинга может быть определена как обеспечение соблюдения действующих природоохранных и ресурсосберегающих правил, требований и норм на всех этапах производства, строительства или иной деятельности человека, связанной с активным или косвенным изменением состояния окружающей среды (или ее компонентов, включая самого человека). Мониторинг охватывает весь широкий спектр анализа наблюдений за меняющейся абиотической составляющей биосферы и ответной реакцией экосистем на эти изменения, включая как геофизические, так и биологические аспекты, что определяет широкий спектр методов и приемов исследований, используемых при его осуществлении [Шитиков и др., 2003].

Общая структура экологического мониторинга представлена на блок-схеме (рис. 1). Она включает в себя два основных блока, использующие разные методы и подходы: блок оценки состояния окружающей среды и блок управления (регулирования) состоянием окружающей среды. В блоки входят основные разделы: инструментальные изыскания и лабораторные исследования, оценка состояния окружающей среды (качественная или количественная оценка), прогнозы (как в пространственном, так и во временном отношении) состояния окружающей среды, управление состоянием окружающей среды (разработка и внедрение наилучших и доступных технологий, планирование развития горных работ, экологический менеджмент).

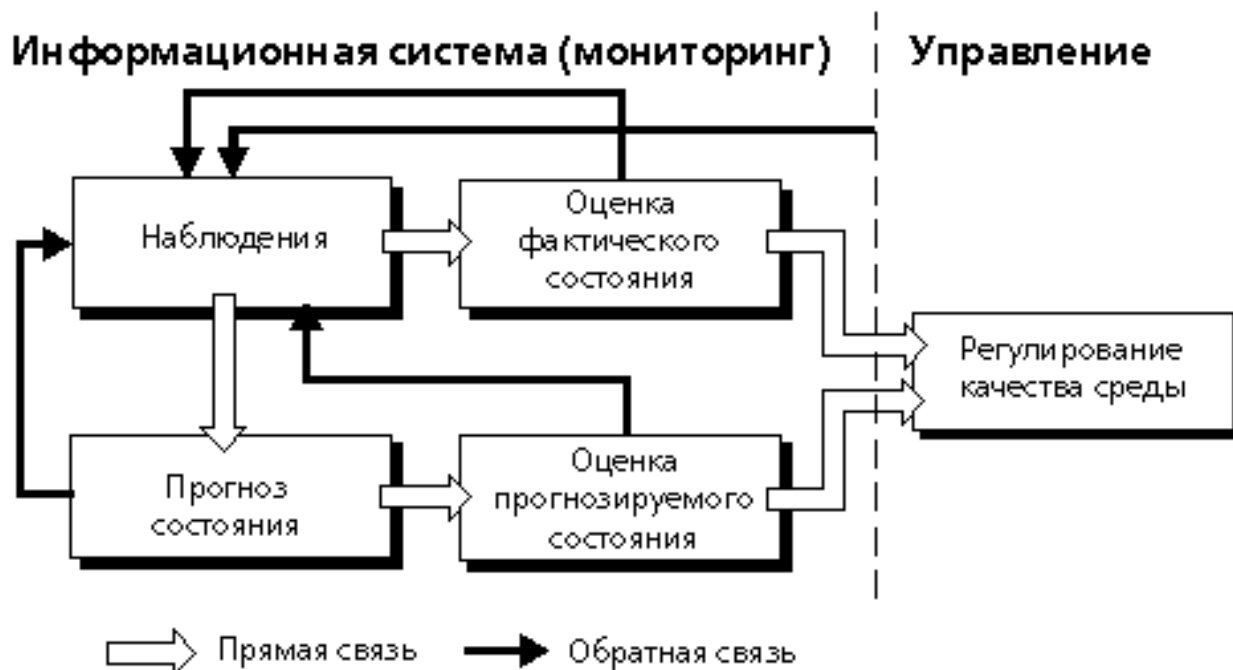


Рис. 1. Блок-схема системы мониторинга [2].

Основными законами, регулирующим отношения в области мониторинга состояния окружающей среды горнопромышленных районов, определенно являются:

- Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»;
- Приказ МПР РФ от 21.05.2001 № 433 «Об утверждении Положения о порядке осуществления государственного мониторинга состояния недр Российской Федерации»;
- Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»;
- Федеральный закон от 23.11.1995 № 174-ФЗ «Об экологической экспертизе».

Необходимо отметить нарастающее значение понятия экологической безопасности, регулируемой ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», где наравне указывается, что при страховании опасного производственного объекта (ОПО) (необходимо для получения лицензии на его эксплуатацию), необходимо наравне с рисками промышленной безопасности учитывать и экологические риски.

Делая выводы, можно сказать, что существующие на данный момент методы оценки воздействия горной промышленности на окружающую среду, имеющие различные показатели, показывающие изменение состояния окружающей среды, не имеют единой методологии, зачастую стремятся усреднять и интегрировать [Цейтлин, 2013].

Ведущая работа крупнейших производств, а также фабрик горно-обогатительного сектора тесно связана с оказанием воздействия на сферу при разработке и добыче необходимого сырья и ресурсов для разных сфер современной деятельности. Постоянное возрастание потребления необходимых ресурсов природы сопровождается глобальным ростом оказываемого воздействия антропогенного характера, возникновением новых ранее незначительных факторов, негативное влияние которых постепенно превращается в доминирующее [Соболев, 2008].

Наносимый различным компонентам природы ущерб в итоге приводит к серьезным последствиям и начинает отражать обратно вредное воздействие (причем негативно для человечества).

В итоге функционирования многих промышленных предприятий сферы обогащения появляются и растут пространства, которые нарушены выработками, размещенными отвалами добычи, накопленными отходами переработки [Ческидов, 2015; Коликов и др., 2015]. Эти обширные поверхности распространяют вредное влияние на находящиеся вблизи территории.

Из-за осушения ранее действующих месторождений, выполняемым с помощью сброса грязных вод со стоков и дренажей (отходов мест разработки) в озера и остальные водоёмы происходит серьезное резкое изменение гидрогеологических, а также гидрологических важнейших условий в разработанных месторождениях, а качество чистой воды при этом существенно ухудшается. Атмосферный слой становится загрязненным пылью и вредным газом, происходящими выделениями из негативных источников, включая выработки и крупные отвалы, занимающиеся переработкой ископаемых цеха и большие фабрики. Поэтому в результате оказываемого воздействия на такие биосферные элементы наступает ухудшение условий для роста растений, мест обитания многих животных, а также человеческой жизни. Подземные недра, являющиеся объектом развивающейся горной промышленности, попадают под самое большое воздействие. Они являются элементами биосферы, которые не смогут самостоятельно возобновиться в будущем, поэтому охрана их обязательно должна предусматривать необходимое обеспечение оправданной с точки зрения экономики полноты, а также комплексности применения.

Сегодня нет возможности для выполнения оценки сравнительного типа оказываемого влияния действующих производств и остальных видов человеческой деятельности на среду из-за отсутствия научных и методические видов основ для проведения такого типа сравнения. Использование же частных разработанных критериев не способствует получению однозначного грамотного ответа на такой важнейший вопрос.

В условиях непрерывного, автоматизированного сбора информации, на крупных объектах горнодобывающих комплексов все чаще возникает проблема анализа большого количества разноплановых геоэкологических данных о состоянии природно-технической системы (ПТС) [Ческидов и Маневич, 2016]. Одним из способов решения представленной проблемы могут быть методы системной идентификации и интегрирования данных, включающее в себя объединение данных различных элементов природно-технической системы и представление их в унифицированном виде. Опыт исследователей показал действительно широкую перспективу применения интеграции данных, в следующих аспектах анализа состояния природно-технических систем [Шпаков и др., 2016; Гальперин и др., 2011]:

1. Консолидация геоэкологических данных горнодобывающего предприятия (больше относится к атмосферному и гидросферному контролю).
2. Учет эффектов взаимовлияния и эффекта суммации показателей состояния природно-технической системы.

3. Управление стратегией экологической и промышленной безопасности рассматриваемой природно-технической системы на основе оптимизации интегральных оценок как показателя техногенной нагрузки на окружающую среду.

Таким образом, мы приходим к выводу, что актуальнее разработать не новый математический аппарат (который так или иначе будет основан на методе весовых коэффициентов) а алгоритм систематизации и идентификации инженерно-экологической информации о состоянии окружающей среды горнопромышленного объекта:

- Постановка целей и задач комплексной геоэкологической оценки;
- Декомпозиция ПТС (Цели и задачи эксплуатации природно-технической системы, выделение элементов ПТС по набору признаков и их классификация, определение стадий жизненного цикла ПТС, определение хозяйственной или иной деятельности реализуемой в элементах ПТС, определение экологических районов в рамках ПТС);
- Определение компонентов ПТС подвергающихся техногенному воздействию;
- Идентификация и классификация факторов воздействующих на компоненты ПТС;
- Расчет интегральных показателей состояния окружающей среды ПТС;
- Моделирование геоэкологических сценариев, определение управленческих решений.

Перед расчетом интегральных показателей, необходимо провести определенные манипуляции с имеющимися данными, для увеличения достоверности оценки состояния окружающей среды.

Влияние на окружающую среду, природно-технической системой – оценивается совокупностью показателей, каждый из которых так или иначе взаимодействует с другими показателями, естественной и техногенной средой. Для выявления показателей техногенной нагрузки определяются процессы негативного воздействия на окружающую среду, характерные для рассматриваемого объекта.

Интегральная оценка в научно-технической литературе, определяется как сумма произведений весовых коэффициентов показателей техногенной нагрузки модели, рассматриваемой ПТС:

$$I_e = \sum_{i=1}^n K_n \quad (1)$$

Разработка интегральной оценки имеет следующую архитектуру:

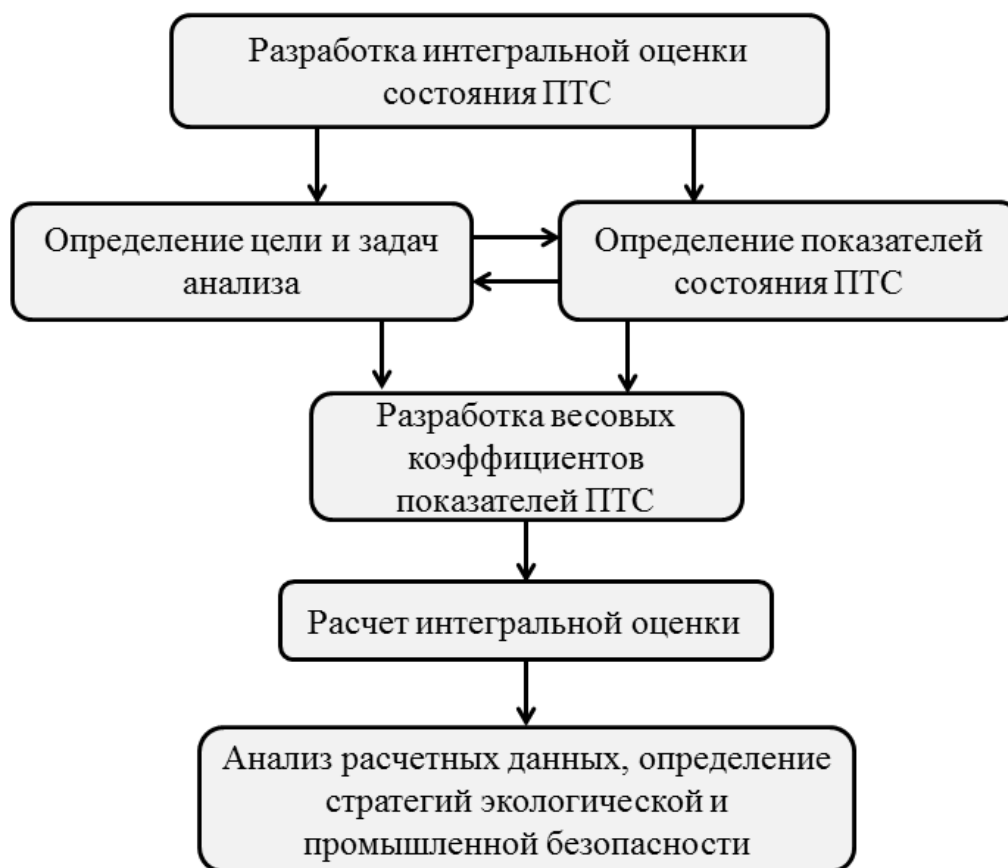


Рис. 2. Структура разработки интегральной оценки геоэкологического состояния природно-технической системы.

Природно-техническая система (ПТС) представляет собой целостную, упорядоченную в пространственно-временном отношении совокупность природных и техногенных элементов, функционирующих как единая система. Она включает в себя орудия, продукты и средства труда, естественные и искусственно измененные природные тела, а также естественные и искусственные поля. И как следует из определения, невозможно дать универсальную «формулу» для расчета комплексного показателя состояния окружающей среды горнопромышленного района. Такой показатель является собирательным и многофакторным, учитывая цели эксплуатации ПТС, количество антропогенных факторов и их взаимовлияние и т.д. Такого рода неопределенность нашла отражение даже в законодательстве, а именно в ФЗ «Об охране окружающей среды» Глава VI «Оценка воздействия на окружающую среду и экологическая экспертиза» - где четко регулируется обязательная оценка воздействия на окружающую среду в отношении планируемой хозяйственной и иной деятельности, которая может оказать прямое или косвенное воздействие на окружающую среду (ОВОС), но никак не регулируется состав и стадии такой оценки.

Литература

- Гальперин А. М., Ю. В. Кириченко, Ю. И. Кутепов*, Комплексный подход к экологически безопасному освоению техногенных массивов, Горная промышленность, № 5 (99), 2011, С. 22-23.
- Израэль Ю. А.*, Экология и контроль состояния природной среды, Гидрометеиздат, 1979, С. 375.
- Коликов К. С., В. В. Ческидов, А. И. Маневич*, Мониторинг состояния откосных сооружений и оснований на горнодобывающих предприятиях, Горный информационно-аналитический бюллетень, № 12 (9601), 2015, С. 124-137.
- Соболев Г. А., В. Н. Морозов, А. В. Пономарев, В. Н. Татаринов, Л. М. Лабунцова*, Разработка технологии прогноза загрязнения геологической среды токсичными элементами, Геоэкологические проблемы урбанизированных территорий, 2008, С. 72-85.
- Цейтлин Е. М.*, Исследование, оценка и оптимизация уровня экологической безопасности окружающей среды в условиях горного производства: Автореферат диссертации на соискание ученой степени геол.-мин. наук., 2013, С. 194.
- Ческидов В. В.*, Инженерно-геологическое обеспечение управления состоянием массивов горных пород на оползнеопасных территориях, Горная промышленность, № 1 (119), 2015, С. 84.
- Ческидов В. В., А. И. Маневич*, Инженерно-геологическое обеспечение мониторинга устойчивости оползневых склонов в условиях транспортного строительства, Горные науки и технологии, №1, 2016, С. 51-57. DOI: 10.17073/2500-0632-2016-1-51-57
- Шитиков В. К., Г. С. Розенберг, Т. Г. Зинченко*, Количественная гидроэкология: методы системной идентификации, 2003, С. 463.
- Шпаков П. С., А. Г. Урузбиева, А. И. Маневич*, Инженерно-геологический и геоэкологический мониторинг состояния сложных объектов горнодобывающего комплекса, Горный информационно-аналитический бюллетень, №8, 2016, С.406-413.

Приложение:

Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»