

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2020, №4, Том 12 / 2020, No 4, Vol 12 <https://esj.today/issue-4-2020.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/18NZVN420.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Абрамян Г.О., Баранникова И.В., Баранников П.А. Модель оценки возможности проявления мульды сдвижения земной поверхности // Вестник Евразийской науки, 2020 №4, <https://esj.today/PDF/18NZVN420.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Abrahamyan G.O., Barannikova I.V., Barannikov P.A. (2020). A model for evaluating the possibility of showing a mulda of earth's surface movement. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 4(12). Available at: <https://esj.today/PDF/18NZVN420.pdf> (in Russian)

УДК 69.035

ГРНТИ 37.31.31

Абрамян Георгий Оникович

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия
Заведующий кафедрой «Геологии и маркшейдерского дела»
Кандидат технических наук
E-mail: barannikova_nustmisis@list.ru

Баранникова Ирина Владимировна

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия
Преподаватель
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: barannikova_nustmisis@list.ru

Баранников Павел Александрович

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия
Горный инженер
E-mail: barannikova_nustmisis@list.ru

**Модель оценки возможности
проявления мульды сдвижения земной поверхности**

Аннотация. В данной статье рассмотрен важный вопрос влияния природных (внутренних) и техногенных (внешних) факторов на изменение состояния горного массива и земной поверхности. Это необходимо для того, чтобы определить, какие изменения произойдут как в разрабатываемой горногеологической среде, так и в нетронутым породным массиве со временем. Так как рассматриваемая среда обладает большим количеством внутренних сил (факторов) наравне с деятельностью человека (внешние воздействия), были подробно описаны, а также исследованы факторы с выделением в них категорий, оказывающих значительное влияние на сдвижение горного массива, самым распространенным проявлением которого является мульда сдвижения земной поверхности. Приведены некоторые примеры последствия влияния этих факторов на горногеологическую среду. В виду того, что факторов чрезвычайно много, по физической сущности влияния они крайне разнообразны, некоторые из них находятся в стохастическом состоянии, в работе было предложено рассматривать общую возможность проявления мульды сдвижения как сумму возможностей появления категорий сдвижения. На основе теоремы сложения возможностей предложена модель оценки возможности проявления мульды сдвижения земной поверхности в виде информационной структуры, которая полностью отражает взаимодействие всех выявленных категорий, что

позволяет изучить самые разнообразные данные для создания более точного прогноза. Это стало возможным благодаря быстро развивающимся в последние десятилетия инфокоммуникационным технологиям.

Ключевые слова: природные факторы; техногенные факторы; категории проявления сдвижений; направления сдвижений; модель оценки возможности проявления мульды сдвижения земной поверхности

Развитие геологических процессов зависит от инженерно-геологических условий, в которых ведутся горные работы. Эти процессы нельзя рассматривать в отрыве от массивов пород, в которых они протекают, а также без учета механизма их развития. Одним из важнейших показателей протекания определенных геологических процессов принято считать прочностные особенности вещественного состава массива горных пород, причем любое их нарушение, даже незначительное, со временем может вызвать изменения не только участка, но и всей земной поверхности в целом.

Ведение любых горных работ и оказываемое ими влияние на протекание геологических процессов в массиве также вызывает различные изменения земной поверхности. Характер таких изменений зависит: от цели проведения горных работ (геологоразведочные работы или строительство подземных сооружений); от типа вмещающих пород; при добычных работах – от вида добываемого полезного ископаемого, его характеристик и других признаков.

Весьма сложной остается задача установления закономерностей сдвижения горных пород в районе залегания полезных ископаемых при любых способах и технологиях разработки любых месторождений в различных климатических и географических зонах.

Известно, что механика сдвижения и разрушения горных пород ощутимо трансформируется после первостепенной разработки ко времени повторных горных работ, поэтому изучение особенностей сдвижения и деформаций пород и земной поверхности, а также разработка методов прогнозирования области влияния горных выработок остается актуальной.

Любой участок земной поверхности изначально находится в статическом состоянии. Различные внешние воздействия, как то, сейсмические, тектонические, техногенные могут вывести рассматриваемый участок из этого состояния. Наиболее наглядным проявлением этих воздействий в основном являются мульды сдвижения земной поверхности (МСЗП).

Мульдой сдвижения принято называть изменения, возникшие на участке земной поверхности, в результате подземного техногенного воздействия. Эти изменения наблюдаются в геометрии и форме прогиба изучаемого участка, где выделяют зоны опасных и безопасных сдвижений.

Изучение напряженного состояния и особенностей развития деформаций в породном массиве; установление оптимального порядка ведения горных работ; проведение расчетов необходимой прочности закладки и полноты заполнения выработанного пространства; изучение гидрогеологических и гидрогеомеханических условий (поскольку водопонижение, вызываемое подземными выработками, может различно сказываться на устойчивости и деформируемости верхних комплексов пород); определение методов устранения подземных пустот с целью поддержания безопасности производимых горных работ, все эти мероприятия могут быть положены в основу процесса моделирования возможности проявления изменений рельефа и ландшафта земной поверхности.

«Сдвигение горных пород также может происходить и под влиянием тектонических процессов, выщелачивания, водопонижения, изменения механических свойств пород (при увлажнении или же обезвоживании) и других причин» [1]. Таким образом, «изучение вопросов

сдвигения горных пород и земной поверхности» [3] связано с оценкой «их перемещений и деформирований в результате нарушения равновесия» [4] под влиянием различных природных процессов и проводимых горных работ.

На практике чаще всего наблюдается совместное проявление природных и техногенных факторов. Так, например, «проведение взрывными методами выработок в угольных пластах, рудных залежах и других полезных ископаемых при различных системах разработки вызывает нарушение равновесия массива горных пород, в результате чего происходит его деформация и сдвигение. Обычно сдвигение пород достигает земной поверхности, и она также претерпевает деформации» [1].

«С уверенностью можно отметить, что на сдвигение земной поверхности оказывают влияние как природные, так и техногенные факторы, оказывающие взаимное влияние друг на друга» [5].

Факторы, вызывающие сдвигения земной поверхности (см. рис. 1), зависят от выбранного способа ведения горных работ с предварительной оценкой всех природных факторов. Эти факторы в отдельно взятых случаях могут сильно различаться и зависеть от промышленного назначения горного объекта, от его географического расположения и климатических условий в рассматриваемом регионе.

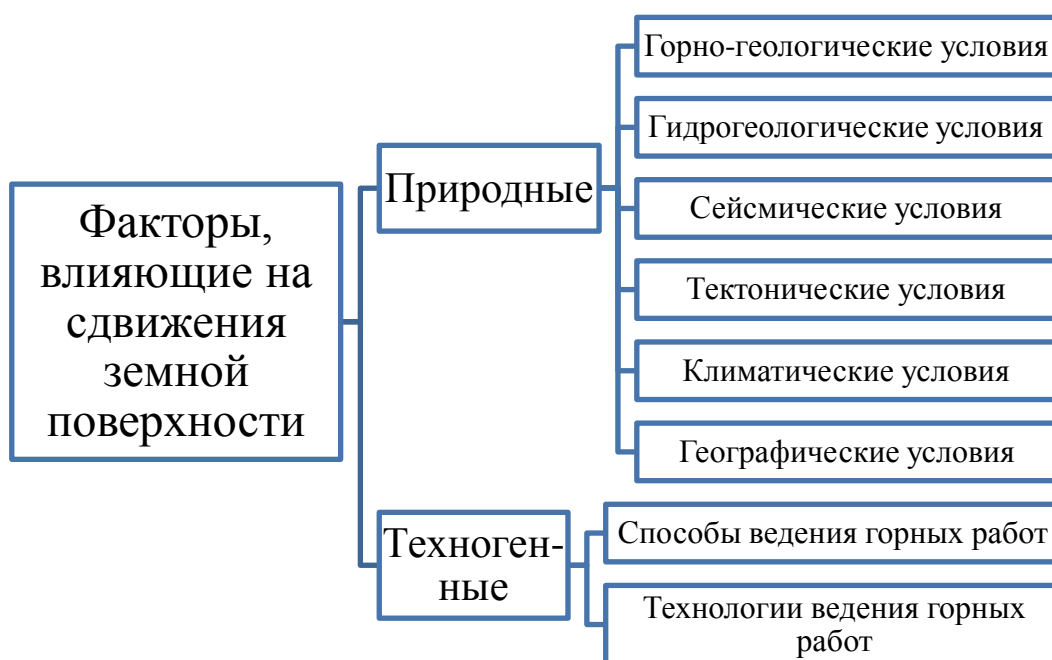


Рисунок 1. Факторы, влияющие на сдвигение земной поверхности (разработано авторами)

К горно-геологическим условиям относятся: «мощность и литологическая характеристика покровных отложений; сложность строения тел полезных ископаемых, их мощность и выдержанность; анизотропия; вещественный состав; текстурные и структурные особенности пород; изменение свойств пород при промерзании и оттаивании; физико-механические свойства полезного ископаемого и вмещающих (вскрышных) пород; пространственное положение участков с ослабленной устойчивостью вмещающих пород, зон выветривания и др.; возможность динамического проявления горного давления (горные удары и др.); газоносность месторождения; способность полезных ископаемых к самовозгоранию;

опасность внезапных выбросов пород; геотермические условия; радиационная характеристика; наличие токсичных (органических и др.) соединений»¹.

Гидрогеологические условия характеризуются: гранулометрическим составом; плотностью породы; пористостью; трещиноватостью; основными водными свойствами (влагоемкость, водоотдача и др.); коэффициентом фильтрации; водопроницаемостью.

Сейсмические условия учитывают: «сейсмичность района; возможность возникновения оползней, селевых потоков и др.»² Так же сейсмическая активность может возникать при техногенном воздействии на горный массив (например, при заполнении водой подземных резервуаров).

Тектонические условия зависят от: зоны тектонической нарушенности и тектонического дробления; возможности карстообразования.

К климатическим условиям относятся: климатические зоны; зоны многолетнемерзлых пород и их пространственное положение, глубина распространения и температурный режим; наличие и параметры таликовых зон; льдистость.

Географические условия учитывают особый набор и черты широтных, долготных (иногда резко различных по увлажнению) и высотных ландшафтных зон, а также рельеф местности.

Среди техногенных факторов следует выделить способы ведения горных работ: открытый, подземный; скважинный и комбинированный.

При открытом способе отработки имеют значение данные о средних и максимальных коэффициентах вскрыши, глубине разработки, углах откоса бортов карьера, характере слоистости, межпластовых прослоях, направлении и углах падения пластов, возможности проявления суффозионных процессов и оползней в бортах карьера.

Подземный способ ведения горных работ на всех этапах разработки влечет за собой сдвигание и изменение поверхности земли в основном сечении мульды по оси простирания. Применяемые системы и технологии проходки оказывают влияние на характер изменения состояния мульды, так как в ней имеются участки, в которых можно наблюдать различные направления сдвигания земной поверхности: как в направлении простирания пластов, так и вкрест их простирания.

Скважинный способ ведения горных работ может осуществляться с помощью системы эксплуатационных буровых скважин и также оказывает существенное воздействие на прилегающий горный массив.

При комбинированном способе все проявления изменений рельефа могут суммироваться или сочетаться в различных комбинациях.

Проявлением воздействия одного из способов ведения горных работ является возникновение и последующее развитие мульды сдвигания земной поверхности. К основным параметрам мульды сдвигания прежде всего относятся: максимальное ее оседание, длина полумульды, площадь МСЗП.

¹ Приказ МПР РФ от 30.04.98 n 123 «О введении в действие «Рекомендаций по содержанию, оформлению и порядку представления на государственную экспертизу материалов подсчета запасов металлических и неметаллических полезных ископаемых» и «Рекомендаций по содержанию, оформлению и порядку представления на государственную экспертизу материалов подсчета эксплуатационных запасов питьевых, технических и лечебных минеральных подземных вод».

² <https://lib.znate.ru/docs/index-240651.html?page=2>.

Натурные наблюдения за отдельными профильными линиями, заложенными в главных сечениях мульды, позволили выявить основные категории проявления мульды сдвижения земной поверхности: изменение рельефа/ландшафта; появление зоны опасных сдвижений; появление зоны безопасных сдвижений; появление углов сдвижения; появление границ мульды; наличие плоского дна; наличие вогнутого дна. Признаками такого проявления зачастую являются: величины скоростей оседания, деформации поверхности, зависящие от относительных величин оседания.

Следует учесть, что возникновение мульды сдвижения прямо пропорционально длине участка земной поверхности, затронутого сдвижением и обратно пропорционально скорости проведения горных выработок. Поэтому очень важно своевременно иметь прогноз о возможности появления такого нарушения на рассматриваемом участке, где ведутся различные горные работы.

Целый ряд способов прогноза сдвижений и деформаций массива земной поверхности основан на положениях механики сплошной или дискретной среды; физических аналогиях; аналитико-эмпирических методах, использующих различные теории и функции, позволяющие строить прогнозную модель.

Несмотря на то, что многие факторы, вызывающие сдвижение земной поверхности, определены, некоторые из них являются стохастическими, поэтому для оценки возможности проявления мульды сдвижения следует применять различные «методы исследований: математическое моделирование и анализ данных инструментальных наблюдений на основе математической статистики, метода аналогий, аналитической и графической обработки исходной информации о процессе сдвижения» [6], например, полученной с наблюдательных станций или в результате обработки космических снимков.

«Ключевое значение для разработки прогнозов сдвижения и деформации имеет вопрос о связи максимального оседания» [7], пример проявления природного фактора МСЗП, с вынутой мощностью пласта, иллюстрирующей категорию «Горно-геологические условия». «Эта связь постулируется прямолинейной, однако, имеются основания ожидать качественных различий зависимости оседания в различных частях диапазона» [8] исследуемого фактора. «На основе исследования системных связей факторов и категорий» [9] можно провести математическое моделирование.

Установлено, что на каждую конкретную категорию проявления МСЗП (TD_j) оказывают влияние природные (NF_i) и техногенные (TF_i) факторы, а для построения математической модели необходимо оценить воздействие каждого из них.

Общая возможность проявления МСЗП, которая состоит из j событий (категорий проявления сдвижения) по теореме сложения возможностей [2, с. 42] определяется как

$$P \oplus TD_j = \max_{TD_j \in TD} TD_j \\ TD_j \in TD$$

где: P – общая возможность проявления МСЗП;

TD_j – категория сдвижения;

J – количество категорий.

В основу математического моделирования, базирующегося на использовании математической аналогии горно-геологических процессов, различных по своей физической сущности, может быть положена модель оценки возможности появления мульды сдвижения земной поверхности в виде следующей информационной структуры

$$TD_j < NF_i, TF_i; A \rightarrow B >$$

где: TD_j – возможность появления мульды сдвижения;

NF_i – множество значений природных факторов;

TF_i – множество значений техногенных факторов;

$A \rightarrow B$ – нечеткая импликация (A, B – нечеткие высказывания);

i – количество категорий факторов, влияющих на сдвижение;

j – количество категорий проявления сдвижения.

Разнообразие горно-геологических условий и, «как следствие, форм проявления процесса сдвижения горных пород, определяют различный подход к прогнозированию сдвижений и деформаций земной поверхности. Успешное решение этого вопроса невозможно без анализа имеющихся достижений науки о сдвижении горных пород с учетом их вещественного состава и обобщения накопленных данных о фактических величинах сдвижений и деформаций земной поверхности» [10]. Поэтому предложенная модель оценки возможности проявления МСЗП позволит не только контролировать изменения в наблюдаемых участках земной поверхности, но и прогнозировать геомеханическое состояние породного массива.

ЛИТЕРАТУРА

1. С.Д. Викторов, С.А. Гончаров, М.А. Иофис, В.М. Закалинский., Механика сдвижения и разрушения горных пород. / Отв. ред. акад. К.Н. Трубецкой; Ин-т проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН. – М.: РАН, 2019. 360 с.
2. Дюбуа Д., Прад А., Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике: Пер. с фр. – М.: Радио и связь, 1990. – 288 с.
3. Назаренко В.А., Интерпретационная модель мульды сдвижения над движущимся очистным забоем, Национальная горная академия Украины, статья в журнале – обзорная статья, № 3/2001, с. 46–49.
4. Щедрина Н.Н., Определение параметров процесса сдвижения для месторождений полезных ископаемых "с неизученными или недостаточно изученными характеристиками процесса сдвижения", № 7/2011, с. 119–123.
5. Баранникова И.В., Баранников П.А., Методы оценки сдвижения земной поверхности, Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «Studnet» № 4/2020, с. 124–128.
6. Посыльный Ю.В., Геометрия мульды сдвижения земной поверхности над горными выработками угольных шахт, диссертация, 2001.
7. Мохов А.В., К вопросу о закономерностях сдвижения земной поверхности на участках подземной разработки твердых пластовых полезных ископаемых, Горный информационно-аналитический бюллетень, № 12, 2000, с. 145–151.
8. Мохов А.В., Трансформация гидродинамических характеристик горного массива на участках освоения каменноугольных залежей подземным способом, Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук, 2015.
9. Мажибрада Ирина, Разработка модели оценки эффективности управления системой технического обслуживания и ремонта одноковшовых карьерных гидравлических экскаваторов, диссертация на соискание степени кандидата технических наук, Москва, 2018.
10. Тяпин В.М., Прогнозирование деформаций земной поверхности при разработке месторождений руд цветных и редких металлов, диссертация, 1995.

Abrahamyan Georgy Onikovich

National university of science and technology «MISIS», Moscow, Russia
E-mail: barannikova_nustmisis@list.ru

Barannikova Irina Vladimirovna

National university of science and technology «MISIS», Moscow, Russia
E-mail: barannikova_nustmisis@list.ru

Barannikov Pavel Alexandrovich

National university of science and technology «MISIS», Moscow, Russia
E-mail: barannikova_nustmisis@list.ru

A model for evaluating the possibility of showing a mulda of earth's surface movement

Abstract. The development of geological processes depends on the engineering and geological conditions in which mining operations are conducted. These processes can not be considered in isolation from the rock masses in which they occur, as well as without taking into account the mechanism of their development. One of the most important indicators of the course of certain geological processes is considered to be the strength features of the material composition of the rock mass, and any violation of them, even minor, over time can cause changes not only in the site, but also the entire earth's surface as a whole. This article discusses the important issue of the influence of natural (internal) and man-made (external) factors on the change in the state of the mountain range and the earth's surface. This is necessary in order to determine what changes will occur both in the mining environment under development and in the intact rock mass over time. Because the environment has a large number of internal forces (factors) along with human activities (external influence), was described and investigated the factors highlighting them in categories, have a significant impact on the displacement of the mountain range, the most common manifestation of which is subsidence trough earth's surface. Some examples of the effects of these factors on the mining environment are given. In view of the fact that there are very many factors, they are extremely diverse in their physical nature, and some of them are in a stochastic state, it was proposed to consider the General possibility of the occurrence of a mulda of displacement as the sum of the possibilities for the appearance of categories of displacement. Based on the possibility addition theorem, a model is proposed for evaluating the possibility of the earth's surface shifting mulda manifestation in the form of an information structure that fully reflects the interaction of all identified categories, which allows us to study a wide variety of data to create a more accurate forecast. This was made possible thanks to the rapidly developing in the last decades of infocommunication technologies.

Keywords: environmental factors; technological factors; the category of manifestations of displacement; direction of displacement; assessment model; the manifestation of the mold movement; the earth's surface