

УДК 504.55.054:622(470.6)

**К МОНИТОРИНГУ СОСТОЯНИЯ МАССИВА ПОРОД ПРИ ОСВОЕНИИ НЕДР В ТЕЧЕНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННО ДОЛГОГО ПЕРИОДА ВРЕМЕНИ**

Голик В.И. – доктор технических наук, профессор, Северо-Кавказский государственный технологический университет, главный научный сотрудник Геофизического института Владикавказского научного центра РАН, [v.i.golik@mail.ru](mailto:v.i.golik@mail.ru)

Келехсаев В.Б. – испытательный центр «ИРИСТОН», Северо-Кавказский государственный технологический университет

Савелков В.И. – аспирант кафедры горное дело, Северо-Кавказский государственный технологический университет

Гашимова З.А. – старший преподаватель кафедры информатики, Северо-Кавказский государственный технологический университет

**Аннотация:** статья посвящена выбору технологий подземной разработки рудных месторождений, при которых обеспечивается устойчивое состояние массива и участка земной поверхности над ним в течение не только отработки месторождения, но и в течение неопределенно долгого времени. Цель исследования – разработка механизма мониторинга состояния с сохранением массива и земной поверхности в районе освоения недр в течение неопределенно долгого периода времени достигается решением задач, объединяемых учетом влияния напряжений на поведение массива в результате природного и техногенного воздействия. В основу методики исследования положена гипотеза о том, что технологическое воздействие на горные объекты активизирует влияние тектонических нарушений вплоть до провоцирования природных явлений. Даны результаты исследований природных и наведенных деформаций с целью оценки роли дискретности в развитии процесса сдвижения на сложно-структурных месторождениях Садона. Сформулирована гипотеза о приуроченности катастроф к участку земной коры, вмещающему крупную Садонскую рудную провинцию с интенсивной разработкой месторождений взрывным способом. Предложена интегральная модель оценки результатов природно-техногенного катастрофического поражения окружающей среды для технико-экономического сравнения вариантов технологий. Показано, что механизм взаимодействия природных и техногенных напряжений в массиве носит адекватный характер и может быть использован для оптимизации горных технологий в районе освоения недр. Доказана необходимость системного мониторинга состояния массива и земной поверхности для разработки мероприятий по защите экосистем окружающей среды при освоении недр в течение неопределенно долгого периода времени.

**Ключевые слова:** подземная разработка, рудное месторождение, устойчивость массива, мониторинг, природно-техногенное воздействие, дискретность пород, напряжения.

**Введение.** Важным условием высокоэффективной и безопасной эксплуатации горных объектов является выбор технологии, при которых обеспечивается устойчивое состояние массива и участка земной поверхности над ним в течение не только отработки месторождения, но и в течение неопределенно долгого времени [1...3].

Комплексный метод исследования природных и техногенных процессов при эксплуатации месторождений подземным способом включает системный анализ, лабораторный и натурный эксперимент,

математическое и физическое моделирование. На основе результатов исследований рекомендуются технологические решения для практической реализации природоохранной управленческой модели и показываются технико-экономические преимущества рекомендованных технологий эксплуатации горнодобывающих объектов перед базовыми технологиями.

Техногенное воздействие на рудовмещающие массивы в процессе добычи руд зависит от силы и направления силовых полей, определяемых интенсивностью тектонической нарушенности и уровнем технологических и природных напряжений [4...6].

**Цели и задачи.** Целью исследования является разработка механизма мониторинга состояния с сохранением массива и земной поверхности в районе освоения недр в течение неопределенно долгого периода времени.

Цель достигается решением ряда задач, объединяемых учетом влияния напряжений на поведение массива в результате комбинированного природного и техногенного вмешательства.

**Методы.** Методика исследования включает в себя систематизацию и критический анализ опыта и теории, экспериментальное доказательство и моделирование с анализом полученных результатов и научным прогнозированием перспектив на уровне инженерной экспертизы. Оценка состояния литосферы осуществляется на основе анализа современных представлений.

В основе методики лежит положение о том, что интенсивное технологическое воздействие на горные объекты активизирует влияние тектонических нарушений, которое генерирует техногенные землетрясения, провоцирующие природные явления.

**Результаты.** При проектировании технологий разработки месторождений используют расчетные схемы, с некоторой идеализацией, учитывающие силу внешних воздействий.

Оптимальна схема, при которой массив разделен на такие участки, где прочность определяется напряжениями в нижнем слое пород (рис. 1) [7...9].

Массивом управляют инженерными способами: установкой крепи, закладкой пустот, инъецированием растворов, созданием подпора стенок.

Инструментом регулирования напряжений с переводом динамических явлений в статические явления за счет искусственного ослабления является разгрузка массивов проходкой выработок и бурением скважин.

Природные условия существования скальных массивов осложняются по мере техногенного воздействия в процессе добычи руд в зависимости от интенсивности тектонической нарушенности и уровня напряжений.

Методы управления напряжениями пород месторождений многообразны.

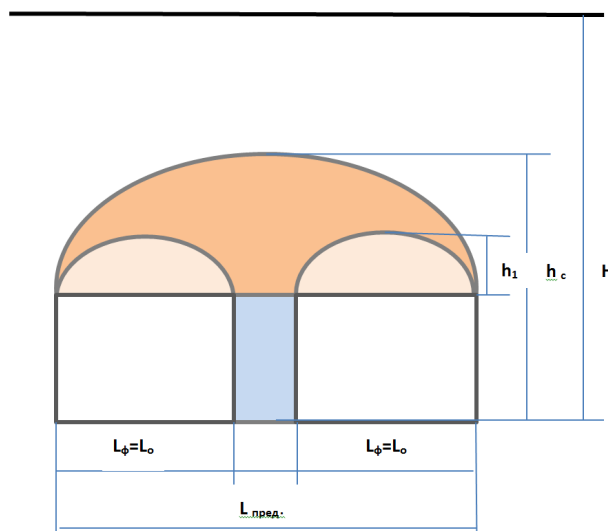


Рис. 1. Схема к разделению массива на геомеханически безопасные участки:

$L_{пред}$ ,  $L_φ$ ,  $L_0$  — соответственно, пролеты: предельный по условию образования свода естественного равновесия  $t$ , фактический и плоской кровли;  $H$  — глубина работ;  $h_c$  — высота свода естественного равновесия;  $h_1$  — высота нового свода

В неустойчивых массивах используют деревянную распорную крепь Давенда, Шахтома, Дарасун, деревянную срубную — Хрустальный и анкерную — Ниттис-Кумужье, Соншайн (США), Пайонир (Канада), Уайт-Хоун (Австралия).

Замагазинированную руду используют при отработке устойчивых руд в недостаточно устойчивых массивах. За счет горизонтального распора она создает достаточные для стабилизации массива напряжения. Средством управления устойчивостью массива является интенсификация работ, что сокращает время воздействия на массив и реализует релаксационные возможности пород.

Технологии управления напряжениями в массиве закладкой пустот применяется на подавляющем большинстве горных предприятий [10...13]. Закладку осуществляют или одновременно с выемкой руды или с отставанием по времени.

Регулирование напряжений в массивах обеспечивает:

- сохранность массивов и земной поверхности над ними от обрушений;
- регулирование характеристики действующих напряжений.

Искусственный массив при необходимости упрочняют с использованием взрыва или сжатого воздуха, повышают его влажность,

оптимизируют крупность, пропитывают песчано-цементным раствором и т.п.

Комбинирование способов управления массивом невозможно без учета механизма проявления напряжений. Искусственные массивы формируются из конструкций разной прочности.

Создание условий объемного напряженного состояния массивов адекватно улучшает их прочностные характеристики. Колебания прочности закладки в массиве достигают 25...30 %.

Опыт управления состоянием массивов позволяет сделать выводы:

- эффективность управления массивами определяется напряжениями в них;
- материалы с усадкой не обеспечивают необходимого уровня напряжений;
- сочетание несущих возможностей природных и искусственных массивов повышает показатели технологий разработки.

Инструментом воздействия на массив является разделение его на участки, где прочность определяется напряжениями пород не в массиве до поверхности, а лишь в нижнем его слое, высота которого зависит от ширины плоского пролета подработки массива.

Параметры разрушения массива и земной поверхности над ним зависят от площади подработки и времени существования технологических пустот. Результирующим показателем технологического воздействия на массив является уровень напряжений, величина которых корректируется технологическими приемами.

Разгрузка напряжений до величины менее критической предотвращает развитие критических деформаций и стабилизирует состояние участка.

Для оценки динамики нарастания напряжений и разрушения массива оборудуют наблюдательные станции с глубинными и контурными реперами. Их показания использованы для анализа геодинамики массива.

Анализ результатов разгрузки массива от высоких напряжений позволяет судить об ее эффективности.

Моделирование напряженности массивов осуществляют с целью оценки состояния напряженно-деформированного массива вмещающих пород и прогнозирования его поведения в течение многих лет по завершению добычных работ.

На месторождениях цветных, благородных и редких металлов оруденение чаще всего закономерно увязано с геолого-структурными позициями. Как правило, рудные тела увязаны с местами сочленения разрывных структур с неоднородностями земной коры, тектоническими узлами или усложнениях главных разрывных нарушений.

Массивы ранжируют по признаку нарушенности тектоническими структурами:

- мало-нарушенные – в породах со сравнительно простыми геологическими условиями;
- средне-нарушенные с умеренным развитием нарушений.

– весьма нарушенные на участках сочленения крупных рудных залежей друг с другом и примыкания крутопадающих и пологопадающих рудных тел друг к другу.

Нарушения придают массивам дискретный характер, что обуславливает различие механических свойств пород.

Отличительной чертой скальных месторождений, определяющих их особую геомеханическую позицию, является то, что они представляют собой совокупность крупных рудных тел, влияющих друг на друга в большей степени, чем это происходит при отработке небольших месторождений. В максимальной степени это происходит на участках сочленения крупных рудных тел друг с другом.

Отличительная черта таких массивов – в том, что ослабление их элементов не разрушает массива в целом из-за большого различия в масштабах совокупности рудных тел и их составных элементов. Даже близкие по величине к критическим напряжения не разрушают массивов, если не превышает величина заданных деформаций.

Скальные рудные месторождения отличаются от месторождений других типов повышенными значениями геодинамических параметров: хрупкостью, коэффициентом удароопасности и тектонической нарушенностью.

Исследуемой проблеме посвящено много публикаций.

Кучин А.С., оценивая вероятность повреждения поверхностных объектов в зоне тектонической деятельности, пришел к выводу, что при определении деформаций различными методами разница достигает 30 % в рамках исследуемого участка земной коры.

Батугин А.С. выделяет блочную структуру нескольких уровней, оценивает активность блоковых границ, взаимодействие и напряженное состояние пород посредством геодинамического районирования на основе выявления напряженных и разгруженных зон. Данные геодинамического районирования дают информацию о расположении и характеристике опасных зон.

Активность тектонических нарушений массива повышается со временем за счет изменения сжатия их крыльев. При этом одно из крыльев получает возможность внезапного смещения. Поскольку современные геодинамические процессы, изменяясь под воздействием техногенеза, оказывают комплексное воздействие на окружающую среду, необходимы мероприятия по защите гидросферы и атмосферы. Систематизация инженерных мер защиты окружающей среды с учетом геодинамического состояния недр показывает, что эти меры занимают определенное место в системе мер обеспечения экологической безопасности.

Шек В.М. при проведении экологического аудита горных объектов, а также для нужд системы экологического контроля на горном предприятии разрабатывают методы оценки взаимодействия предприятия с окружающей средой по направлениям:

- моделирование данных по окружающей среде;
- разработка концепции создания проектов эко-ГИС;
- адаптация существующих ГИС-технологий для экологических территориальных задач;
- моделирование чрезвычайных ситуаций с мониторингом окружающей среды и оборудования в реальном времени.

Анализом геодинамических процессов в регионе устанавливаются геомеханические закономерности:

- опасные явления в массивах являются следствием некорректности принятых технологических решений;
- интерполяция результатов опасных последствий позволяет прогнозировать и предупреждать катастрофические последствия.

Так, на территории региона РСО-Алания природные явления обнаруживают тенден-

цию к интенсификации [14].

Продолжается развитие обвально-оползневых процессов в уступах правобережных террас рек Терек и Курп в районе с. Сухотское, где зафиксировано появление трещин бортового отпора и смещение кромки эрозионного уступа со скоростью от 1,2 до 4,5 м/год.

На южном склоне Сунженского хребта, в районе автодороги Владикавказ-Моздок, на нескольких участках дорога разрушается полностью. Причиной активизации оползней является глубокая подрезка склона при отсутствии защитных противооползневых мероприятий.

Селевыми массами уничтожено полотно дороги Бурон – курорт Цей, что связано с отсутствием селепропускных сооружений. Сарагонский селевой очаг явился источником грязекаменного селевого потока. Основным фактором его активизации явилось техногенное изменение рельефа поймы выше автотрассы.

Активизировался техногенный оползень в г. Алагир, образовавшийся в 1985 г. Смещение оползня составило 6...7 м, объем оползших глинистых пород 20...30 тыс. м<sup>3</sup>. Язык оползня дошел до основания жилого дома, в котором начались деформации.

Примером техногенной интенсификации обвально-осыпных процессов является строительство участка «Святой Георгий» в верховом откосе автодороги Чикола – Мацута в районе Скалистого хребта. Осыпной участок имеет площадь 3 га при уклоне, превышающем угол естественного откоса. Активизация наблюдалась в весенний период, объем осыпавшегося материала 250300 м<sup>3</sup>.

Процессы деформирования трещиноватого блочного массива скальных горных пород исследовались в натуральных условиях на участках массива горных пород, находящихся в областях влияния подземных разработок Садонских месторождений в течение 2 лет. Установлено, что в экспериментальных полях деформации на исследуемых площадях четко проявляется дискретный характер их распределения.

Уровень дискретности деформирования скальных массивов играет важную роль в проблеме сохранения сооружений, находящихся в мульде сдвижения, так как на

границе структурных блоков уровень деформаций в несколько раз больше, чем в блоках.

Высокий уровень деформаций распространяется далеко за границы отстраиваемой по средним значениям деформаций мульды сдвижения.

Следовательно, дискретное деформирование массива скальных горных пород

оказывает важное влияние на состояние охраняемых объектов.

Исследования деформаций с целью практической оценки роли дискретности в решении проблемы охраны сооружений от воздействия процесса сдвижения проводились на сложно-структурных месторождениях Садона (рис. 2).

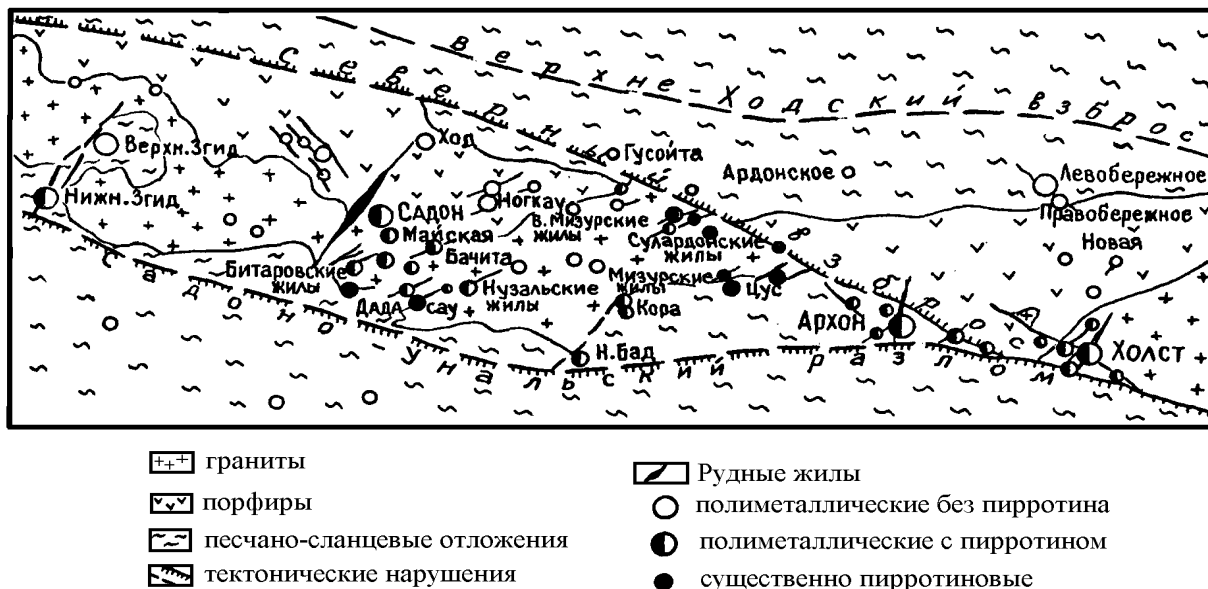


Рис. 2. Структура Садонских месторождений

Деформации массива пород исследовали путем проведения систематических инструментальных измерений на наблюдательных станциях, оборудованных на земной поверхности. Наблюдательные станции состоят из системы геодезических реперов, расположенных по профильным линиям вкрест и по простиранию рудных тел.

Реперы представляют собой металлические стержни, забетонированные в скважины за пределами глубины сезонного промерзания, составляющей 1,8...2,0 м. Расстояние между реперами составляет от 10...15 м до 25...50 м. Каждая профильная линия включает в себя рабочие реперы и опорные, находящиеся за границами мульды сдвижения.

Инструментальные наблюдения включали в себя два вида высокоточных измерений – горизонтальных длин интервалов профильных линий и высотных отметок реперов. Длины измеряются в прямом и обратном направлениях стальными компарированными рулетками с точностью 1:20000. Высотные отметки определяются нивелированием III класса с точностью до 3 мм/км.

По изменениям длин интервалов вычислены горизонтальные деформации растяжение-сжатие, а по изменениям высот – вертикальные деформации – наклон. Эти два вида деформаций анализируются. Периодичность наблюдений в зависимости от развития процесса сдвижения составляет 1 раз в месяц.

На месторождении Верхний Згид наблюдения выполнены на участке размером 400×200 м, расположенный висячем боку месторождения. Участок ограничен профильными линиями I и II, по которым заложено 35 рабочих реперов.

Дискретность деформирования данного участка исследовалась по абсолютным значениям распределения скоростей вертикальных и горизонтальных деформаций. Характер распределения скоростей вертикальных и горизонтальных деформаций имеет общую природу. Коэффициент корреляции между ними в данном случае достаточно велик и составляет 0,89 для профильной линии I и 0,80 для профильной линии II.

Распределение скоростей деформаций по профильным линиям происходит крайне неравномерно.

Зоны с повышенными скоростями деформаций представлены в виде сравнительно узких полос, пересекающих профильные линии. Несмотря на несколько иную природу проявления вертикальных и горизонтальных деформаций, они концентрируются на одних и тех же участках.

Имеющиеся отклонения в распределении скоростей вертикальных и горизонтальных деформаций обусловлены наличием на экспериментальном участке блоков более низкого иерархического порядка. Чтобы исключить ее влияние, результаты измерений подвергнуты статистической обработке – сглаживанию методом скользящего окна.

По результатам статистической обработки были заново построены графики распределения скоростей вертикальных и горизонтальных деформаций. В результате сглаживания кривая распределения скоростей деформаций приобрела более спокойный характер, исчезли некоторые локальные возмущения поля деформаций. Несмотря на это, сохранилась связь между распределением скоростей разных видов деформаций.

Для профильной линии I, коэффициент корреляции вырос и составил 0,96 против 0,89 до сглаживания. Это свидетельствует о сильной связи между закономерностями распределения вертикальных и горизонтальных деформаций и о влиянии блочности более низкого уровня на деформирование массива горных пород.

Для профильной линии II, коэффициент корреляции составил 0,60 против 0,80 до сглаживания. Это свидетельствует о том, что в деформировании данного участка основную роль играют геологические структуры более низкого порядка, которые в результате статистической обработки были сглажены. Однако связь между распределением скоростей вертикальных и горизонтальных деформаций прослеживается достаточно четко.

На экспериментальных участках в значительной мере проявляется дискретный характер деформирования массива горных пород. Значительную роль в деформировании массива играют, как достаточно крупные, размером до 100 метров блоки массива, так и более мелкие структуры.

На месторождении Садон наблюдатель-

ная станция заложена на промышленной площадке рудника в лежачем боку месторождения. Геодезические наблюдения на наблюдательной станции производятся на протяжении 30 лет.

С 1983 г. на промплощадке шахты развивается процесс сдвижения, что создает угрозу промышленным сооружениям рудника. Развитие процесса сдвижения обусловлено формированием вторичного поля напряжений в условиях анизотропного тектонического поля напряжений, максимальные сжимающие напряжения которого действуют по простиранию месторождения и создают высокий уровень концентрации вторичных напряжений в лежачем боку.

Максимальные уровни деформаций зафиксированы у границ зоны обрушения. Этот уровень деформаций близок к предельному состоянию, при которых зона плавных деформаций переходит в зону обрушения. Распределение деформаций по территории происходит неравномерно, с взаимным чередованием зон повышенных и пониженных деформаций. Обращает на себя внимание высокая контрастность в распределении деформаций.

На границах структурных блоков коэффициенты концентрации изменяют значение от 2...5 до 10...15.

Выполненные исследования в совокупности с результатами других исследователей позволяют утверждать [15...17]:

– дискретный характер деформирования блочного массива влияет на сохранность сооружений в зоне влияния горных разработок, поэтому поведение структурных нарушений необходимо оценивать на стадии проектирования;

– в скальных трещиноватых массивах деформации концентрируются на границах структурных блоков.

– дискретность проявляется на всех уровнях блочной иерархии, но исследование ее параметров требует вариации длин интервалов наблюдательной станции;

– параметры дискретного деформирования имеют важное практическое значение в вопросах охраны сооружений от воздействия горных разработок и их влияние должно оцениваться прогнозными расчетами на стадии проектирования объекта.

Позднекайнозойские и четвертичные движения земной коры сопровождаются мощными землетрясениями. В позднем кайнозое проявилась планетарная активизация тектонических процессов, придавшая современный облик континентам.

Усилились вулканизм и землетрясения. Характерны повсеместность и неравномерность тектонических движений, особенно по вертикали.

Тектоногенез охватывает всю литосферу, как по площади, так и по вертикали. Каждый регион должен рассматриваться с точки зрения направленности тектоногенеза по вертикали и горизонтального сжатия или растягивания отдельных блоков.

Восточная часть Северного Кавказа характеризуется активной геодинамикой. Это выражается в активности современных тектонических движений, высокой сейсмичности и широком развитии экзогенных геологических процессов.

На территории Северного склона Кавказа в историческое время произошло 142 сильных землетрясения силой от 5 до 8 баллов, активизировавших развитие экзогенных геологических процессов. Наиболее сильные из них, происшедшие в XX веке: Дарьяльское в 1915 г., Северо-Осетинское в 1923 году, Дагестанское в 1970 г., Черногорское в 1976 г., Грозненское в 1989 г. и др.

Анализ и систематизация данных о сильных землетрясениях и результатов 434 макросейсмических наблюдений в 128 пунктах позволили составить карту максимальных сейсмических деформаций северного склона Большого Кавказа. Установлено, что наибольшей активностью характеризуются зоны землетрясений интенсивностью в 7...8 баллов. Данные о максимальной сейсмической активности не совпадают с характеристикой сейсмичности на карте общего сейсмического районирования. На ней все южные районы отнесены к зоне девятибалльных землетрясений повторяемостью в 100 лет. Северная часть территории региона, совпадающая с низкогорьем, по ОСР-93 отнесена к восьмibalльной зоне.

Наиболее обоснованная оценка устойчивости геологической среды обеспечивается на основе детального сейсмического районирования с учетом влияющих факторов.

При исследовании ставилась задача объяснить механизм сдвигения масс катастрофического характера.

Оползни происходят, когда часть массы пород и льда действует под прямым углом к кривой, а остальная направлена вдоль кривой. Степень противодействия движению определяется силами связности грунта, называемой сопротивлением сдвигу. В сухом и твердом состоянии связные породы по свойствам близки к скальным. При переходе из пластичного состояния в текучее связность уменьшается до нуля. Исследованиями установлено, что при влажности 12,5...30,4 % сцепление составляет  $(0,69...8,04) \times 10^4$  Па.

При нарушении равновесия начинается лавинообразное движение грунта. Если снижение веса блока грунта менее стабилизирующей силы сопротивления сдвигу, то склон становится неустойчивым. Почти все исследованные оползни произошли по берегам рек и на их изгибах.

Первые признаки оползня проявляются на некотором расстоянии от гребня склона. В зернистых материалах, возникают как природные, так и появившиеся в результате деятельности человека откосы. Склоны, сложенные зернистыми материалами, иногда имеют наклоны выше угла естественного откоса.

Оползни в глинах завершаются катастрофическими смещениями, похожими на потоки, поскольку излишек воды в глинах превращает твердый материал в текучую грязь, способную перемещать большие блоки материала, который еще находится в твердом состоянии.

Стихийные явления в виде лавин, камнепадов, селей, оползней и ливневых дождей в горной части Северной Осетии, имели место всегда. О них упоминается в летописях, народных сказаниях, путевых очерках путешественников и очевидцев, которые в давние времена посещали Кавказ. В связи с геолого-географическими исследованиями, которые начались в России и на Кавказе в конце XVIII и начале XIX веков, накопилось довольно значительное количество научных работ, в которых приводились данные о вреде, наносимом селевыми потоками.

Наиболее основательную и научно-обоснованную характеристику селям дал Старковский Б.И. (1860...1865 гг.). Он рекомендовал инженерное решение высокогорной части трассы будущей дороги с минимальным ущербом в период эксплуатации. Интересные сведения по селям имеются в трудах Абиха Г.И. (1867...1870 гг.) и Хатисяна Г.С. (1869...1889 г.).

Заслуживают внимания сведения по селям таких исследователей Северной Осетии, как Мушкетов, Динник, Астухов, которые в конце XIX века дали характеристику природным явлениям.

Наблюдения за стихийными явлениями в Северной Осетии начались официально с 1862 г. вследствие активизации работ по строительству Военно-Грузинской дороги, где селевая опасность была связана с ледниками Казбека. В период с 1902 по 1917 гг. селевая опасность на территории Северной Осетии изучалась А.И. Духовским.

В начале XX века внимание ученых было приковано к ледникам Майли и Колка, изучением которых занимались Э.А. Штебер, Д.Д. Пагирен и Н.В. Поггенполь.

Наиболее селеопасными районами в горах Северной Осетии считаются окрестности Военно-Грузинской и Военно-Осетинской дорог, горная Дигория, Куртатинское и Геналдонское ущелья, Тагаурия, Цей и Зарамаг.

Скальные породы слагают возвышенности большой высоты. Плоскости напластования и трещины отдельности в породе редко бывают горизонтальными. Если у пород появляется возможность движения вдоль внутренних поверхностей, происходит катастрофическое падение значительной массы пород.

Лавины являются одним из наиболее частых катастроф региона. Механизм их образования сходен с оползнями.

Карстовые явления в окрестностях исследуемого участка распространены незначительно. Провалы имеют в плане округлую форму: от маленьких воронок диаметром 0,3...0,6 м до крупных понижений диаметром 100 м и больше. Они возникли в результате растворения известняков. Медленное растворение известняка углекислыми водами образует воронки, которые проявляются на поверхности или как ее про-

садка, или при обрушении пород, перекрывающих возникающую полость.

Сходы ледников с катастрофическими последствиями происходят с периодичностью в несколько десятилетий (1902, 1969, 2002 г.). Сход Девдоракского ледника в 1832 г. имел объем до  $15000000 \text{ м}^3$  с площади около  $10 \text{ км}^2$ . Основные последствия сходов ледников заключались в том, что прекращалось сообщение по Военно-Грузинской дороге, а в южной части Дарьяла создавалась подпруда для Терека, прорывы которой создавали катастрофы.

Геналдонская катастрофа 1902 г. сопровождалась большими человеческими жертвами. Ее характерная особенность – одновременное сдвижение семи висячих ледников, спускающихся с водораздельного хребта, соединяющего горы Колкайхох и Казбек, со скоростью около 30 м/с, т.е. скоростью урагана.

Гипотетически в любом месте Земли может быть сильнейшее землетрясение, и его уровень характеризуется вероятностью. Поэтому выбранный уровень интенсивности 7 баллов не противоречит такому пониманию и позволяет исключить из рассмотрения проявление физической нелинейности, характерной для сильных землетрясений, что еще более усложнит задачу.

Обращает на себя внимание, что крупные оползни и сходы ледников приурочены к участку земной коры, вмещающему крупную Садонскую рудную провинцию с многолетней и интенсивной разработкой месторождений взрывным способом. Имеет право на существование гипотеза об иницирующей роли горных работ в недрах рудников в катастрофах типа схода ледника Колка в 2002 г.

В Северо-Осетинском регионе места локализации рудных месторождений увязаны с крупными антиклиналями широтного направления. Между антиклиналями расположены связующие их синклинали различного падения. Вдоль крыльев антиклиналей проходят крупные разрывы. По данным Л.А. Варданынца линия разрыва, проходящая почти точно по р. Кабахи, протягивается к западу вдоль водораздела между ледниками Девдорак и Чач. Западнее этот же разрыв появляется в бассейнах р. Фиагдон и Ардон (рис. 3).



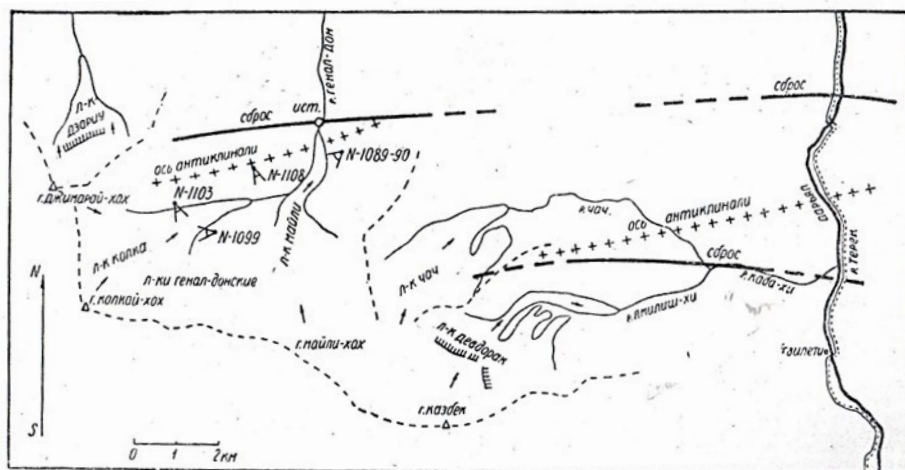


Рис. 3. Тектоническая ситуация региона схода ледника Колка

По северную сторону антиклиналей наблюдаются аналогичные разрывы. Между сбросами находятся горсты, сложенные антиклиналями. Дарьяльское ущелье располагается в пределах этого горста.

Аналогичное положение отмечается в Кассарском ущелье, которое расположено на западном продолжении Дарьяльского горста. Подъем горста перераспределяет в массивах напряжения, приуроченные к поверхностям тектонических разрывов. Эти напряжения достигают критической величины и инициируют процессы разгрузки напряжений.

Разгрузка напряжений сопровождается сотрясением массива, с разрушением слагающих его масс, в т.ч. льда, со сходом их в нижерасположенные участки, например, сход ледника «Колка» в 2002 г.

Отличие горной геомеханики в том, что для оптимального управления сдвижением горного массива необходимо знание количественных показателей его напряженного состояния на конкретных участках, чего не требуется в других научных дисциплинах. Для этого необходимы специальные исследования для определения направления напряжений, интенсивности и степени ослабления массива трещиноватостью и тектоническими нарушениями, а также комплекса прочностных, деформационных и реологических свойств пород, в том числе в процессе разрушения.

Если в инженерных сооружениях на поверхности расчеты производят из условия сохранения в допредельном состоянии, то в рамках горной геомеханики решают задачи по обеспечению рабочего состояния объек-

тов в условиях неупругого деформирования и разрушения горного массива. Расчеты проводят не по допускаемым напряжениям или нагрузкам, а по деформациям за пределом его прочности.

Данные геодинамического районирования характеризуют пространственное расположение опасных зон, пересекающих объект или взаимодействующих с ним. Это представляет интерес для месторождений полезных ископаемых, трубопроводов, автомобильных и железных дорог и крупных объектов гражданского и промышленного строительства, корректировка пространственного положения которых невозможна. На основе рекомендаций предлагаемой методики возможна разработка защитных инженерных мероприятий, увязанных со спецификой объектов.

Изменение активности тектонических нарушений массива происходит и на склонах гор за счет уменьшения нормального сжатия крыльев нарушений. При этом одно из крыльев при технологическом ослаблении получает возможность внезапного смещения в сторону падения склона. Поэтому в качестве одной из мер защиты рассматривается использование технологий, предусматривающих уменьшение масштабов воздействия на массив во время строительства и эксплуатации.

Суммарный учет негативных последствий природных и техногенных катастроф участвует в технико-экономическом сравнении вариантов технологий:

Интегральная модель природно-техногенного катастрофического поражения окружающей среды:

$$Y = [y_{II} + y_T \cdot [(Q_a + Q_z + Q_l)] \cdot P_z] K_y \cdot K_3 \cdot K_T \cdot K_H$$

где  $Y$  – величина ущерба окружающей среде;  $y_{II}$  – ущерб природного происхождения;  $y_T$  – ущерб техногенного происхождения;  $P_z$  – количество работ по ликвидации последствий катастроф;  $Q_a$ ,  $Q_z$ ,  $Q_l$  – количество загрязнителей в атмосфере, гидросфере и литосфере;  $K_y$  – коэффициент усиления воздействия на среду;  $K_3$  – коэффициент влияния загрязнителей на биосферу;  $K_T$  – коэффициент точности прогнозирования наступления катастрофы;  $K_H$  – коэффициент риска наступления катастрофы от неучтенных факторов.

Поскольку современные геодинамические процессы, изменяясь под воздействием технологий, оказывают комплексное воздействие на окружающую среду, необходим системный мониторинг состояния массива и земной поверхности с учетом всех аспектов разрушения, разработка и обоснование мероприятий по защите экосистем окружающей среды [18, 19].

**Выводы.** 1. Геомеханическая сбалансированность массивов и земной поверхности в районе освоения недр в течение неопределенно долгого периода времени обуславливает необходимость системного мониторинга состояния массива пород.

2. Механизм взаимодействия природных и техногенных напряжений в массиве носит адекватный характер и может быть использован для оптимизации горных технологий по фактору природо- и ресурсосбережения в районе освоения недр.

3. Мониторинг состояния массива и земной поверхности в процессе освоения запасов месторождений должен включать учет аспектов разрушения геомеханического характера, разработку и обоснование мероприятий по защите экосистем окружающей среды технологическими методами.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Golik V., Komashenko V., Morkun V., Burdzieva O. Modelling of rock massifs tension at underground ore mining // Metallurgical and Mining Industry. 2015. № 8. P. 540–543.

2. Reiter K., Heidbach O. 3-D geomechanical-numerical model of the contemporary crustal stress state in the Alberta Basin (Canada). Solid Earth. 2014. No. 5. pp. 1123–1149.

3. Анохин А.Г., Семенько К.А., Дарбиных Т.П., Цирель С.В., Мулёв С.Н. Методология учета степени влияния нарушенности рудопородного массива на сейсмический риск // Горный журнал. 2014. № 4. С. 19–24.

4. Marschalko M., Yilmaz I., Bednárík M., Kubečka K. Influence of underground mining activities on the slope deformation genesis: Doubrava Vrchovec, Doubrava Ujala and Staric case studies from Czech Republic // Engineering Geology. 2012. Vol. 147. P. 37–51.

5. Xiao Y.-X., Feng X.-T., Hudson J. A., Chen B.-R., Feng G.-L. et al. ISRM Suggested Method for In Situ Microseismic Monitoring of the Fracturing Process in Rock Masses // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2016. Vol. 49. Iss. 1. P. 343–369.

6. Голик В.И., Комащенко В.И., Шкуратский Д.Н. Оптимизация состава твердеющих смесей по геомеханическим условиям при подземной разработке рудных месторождений // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2016. № 3. С. 164–176.

7. Галаов Р.Б., Звездкин В.А., Шабаров А.Н. Геомеханическое обоснование безопасных способов разработки тектонически напряженных блоковых структур рудных залежей Талнахского узла // Горный журнал. 2013. № 12. С. 17–21.

8. Голик В.И., Комащенко В.И., Качурин Н.М. Концепция комбинирования технологий разработки рудных месторождений // Известия Тульского государственного университета // Науки о Земле. 2015. № 4. С. 76–88.

9. Голик В.И., Якименко А.Д., Цидаев Т.С. Садонские месторождения: история и проблемы разработки // Горный журнал. 2004. № 10. С. 025–028.

10. Golik V., Doolin A., Komissarova M., Doolin R. Evaluating the Effectiveness of Utilization of Mining Waste // Medwell Journals, International Business Management. 2015. № 9 (5). P. 1993–5250.

11. Shojaei A., Dahi Taleghani A., Li G. A continuum damage failure model for hydraulic fracturing of porous rocks // International Journal of Plasticity. 2014. Vol. 59. P. 199–212.

12. Ляшенко В.И. Повышение экологической безопасности в горнодобывающем регионе // ЗАО НТЦ ПБ. Безопасность труда в промышленности. 2014. №12. С. 54-59.

13. Протосеня А.Г., Куранов А.Д. Методика прогнозирования напряженно-деформированного состояния горного массива при комбинированной разработке Коащвинского месторождения // Горный журнал. 2015. № 1. С. 67–71.

14. Голик В.И., Разоренов Ю.И., Каргин К.Г. Основа устойчивого развития РСО-Алания – горнодобывающая отрасль // Устойчивое развитие горных территорий. 2017. №2(32). С.163-172.

15. Haeri H., Shahriar K., Fatehi Marji M., Moarefvand P. Experimental and numerical study of crack propagation and coalescence in pre-cracked rock-like disks // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2014. Vol. 67. P. 20–28.

16. King B., Goycoolea M., Newman A. Optimizing the open pit-to-underground mining transition // European Journal of Operational Research. 2017. Vol. 257. Iss. 1. P. 297–309.

17. Голик В.И. Концептуальные подходы к созданию мало- и безотходного горнорудного производства на основе комбинирования физико-технических и физико-химических геотехнологий // Горный журнал. 2013. № 5. С. 93-97.

18. Wang N., Wan B. H., Zhang P., Du X. L. Analysis on deformation development of open-pit slope under the influence of underground mining // Legislation, Technology and Practice of Mine Land Reclamation : Proceedings of the Beijing International Symposium on Land Reclamation and Ecological Restoration (LRER 2014). – London : Taylor & Francis Group, 2015. P. 53–58.

19. Козырев А.А., Федотова Ю.В., Журавлева О.Г. Вероятностный прогноз сейсмоопасных зон в условиях удароопасных месторождений Хибинского массива // Вестник МГТУ. 2014. Том 17. № 2. С. 225–230.

20. Yunjin H., Guolong C., Weiping C., Zhenjun Y. Simulation of hydraulic fracturing in rock mass using a smeared crack model // Computers and Structures. 2014. Vol. 137. P. 72–77.

21. Месхи Б., Плешко М., Булигин Ю., Алексеенко Л., Молев М. М. Обеспечение безопасной эксплуатации и оценки состоя-

ния подземных сооружений методом акустического резонансного дефектоскопа. Серия конференций ИОР: Земля и Экологические науки, 90 (1), 012217 (2017) doi.org/10.1088/1755-1315/90/1/012217.

## REFERENCES

1. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Burdzieva O. Modelling of rock massifs tension at underground ore mining // Metallurgical and Mining Industry. 2015. № 8. P. 540– 543.

2. Reiter K., Heidbach O. 3-D geomechanical-numerical model of the contemporary crustal stress state in the Alberta Basin (Canada). Solid Earth. 2014. No. 5. P. 1123–1149.

3. Anohin A.G., Semen'ko K.A., Darbinyan T.P., Cirel' S.V., Mulyov S.N. Metodologiya ucheta stepeni vliyaniya narushennosti rudopodnogo massiva na seismicheskij risk // Gornyj zhurnal. 2014. № 4. S. 19–24.

4. Marschalko M., Yilmaz I., Bednárík M., Kubečka K. Influence of underground mining activities on the slope deformation genesis: Doubrava Vrchovec, Doubrava Ujala and Staric case studies from Czech Republic // Engineering Geology. 2012. Vol. 147. P. 37–51.

5. Xiao Y.-X., Feng X.-T., Hudson J. A., Chen B.-R., Feng G.-L. et al. ISRM Suggested Method for In Situ Microseismic Monitoring of the Fracturing Process in Rock Masses // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2016. Vol. 49. Iss. 1. P. 343–369.

6. Golik V.I., Komashchenko V.I., Shkuratskij D.N. Optimizaciya sostava tverdeyushchih smesej po geomekhanicheskim usloviyam pri podzemnoj razrabotke rudnyh mestorozhdenij // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle. 2016. № 3. S. 164-176.

7. Galaov R.B., Zvezdkin V.A., Shabarov A.N. Geomekhanicheskoe obosnovanie bezopasnyh sposobov razrabotki tektonicheski napryazhennyh blokovyh struktur rudnyh zalezhej Talnahskogo uzla // Gornyj zhurnal. 2013. № 12. S. 17–21.

8. Golik V.I., Komashchenko V.I., Kachurin N.M. Konceptiya kombinirovaniya tekhnologij razrabotki rudnyh mestorozhdenij // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta // Nauki o Zemle. 2015. № 4. S. 76-88.

9. Golik V.I., YAKimenko A.D., Cidaev T.S. Sadonskie mestorozhdeniya: istoriya i problemy razrabotki // Gornyj zhurnal. 2004. № 10. S. 025-028.
10. Golik V., Doolin A., Komissarova M., Doolin R. Evaluating the Effectiveness of Utilization of Mining Waste // Medwell Journals, International Business Management. 2015. № 9 (5). P. 1993–5250.
11. Shojaei A., Dahi Taleghani A., Li G. A continuum damage failure model for hydraulic fracturing of porous rocks // International Journal of Plasticity. 2014. Vol. 59. P. 199–212.
12. Lyashenko V.I. Povyshenie ehkologicheskoy bezopasnosti v gornodobyvayushchem regione // ZAO NTC PB. Bezopasnost' truda v promyshlennosti. 2014. №12. S. 54-59.
13. Protosenya A. G., Kuranov A. D. Metodika prognozirovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya gornogo massiva pri kombinirovannoj razrabotke Koashvinskogo mestorozhdeniya // Gornyj zhurnal. 2015. № 1. S. 67–71.
14. Golik V.I., Razorenov Yu.I., Karginov. Osnova ustojchivogo razvitiya RSO-Alaniya – gornodobyvayushchaya otrasl' // Ustojchivoe razvitie gornyh territorij. 2017. №2(32). s.163-172.
15. Haeri H., Shahriar K., Fatehi Marji M., Moarefvand P. Experimental and numerical study of crack propagation and coalescence in pre-cracked rock-like disks // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2014. Vol. 67. P. 20–28.
16. King B., Goycoolea M., Newman A. Optimizing the open pit-to-underground mining transition // European Journal of Operational Research. 2017. Vol. 257. Iss. 1. P. 297–309.
17. Golik V.I. Konceptual'nye podhody k sozdaniyu malo i bezotodnogo gornorudnogo proizvodstva na osnove kombinirovaniya fiziko-tehnicheskikh i fiziko-himicheskikh getekhnologij // Gornyj zhurnal. 2013. № 5. S. 93-97.
18. Wang N., Wan B. H., Zhang P., Du X.L. Analysis on deformation development of open-pit slope under the influence of underground mining // Legislation, Technology and Practice of Mine Land Reclamation : Proceedings of the Beijing International Symposium on Land Reclamation and Ecological Restoration (LRER 2014). London: Taylor&Francis Group, 2015. P. 53–58.
19. Kozyrev A.A., Fedotova Yu.V., Zhuravleva O.G. Veroyatnostnyj prognoz sejsmooopasnyh zon v usloviyah udaropasnyh mestorozhdenij Hibinskogo massiva // Vestnik MGTU. 2014. Tom 17. № 2. S. 225–230.
20. Yunjin H., Guolong C., Weiping C., Zhenjun Y. Simulation of hydraulic fracturing in rock mass using a smeared crack model // Computers and Structures. 2014. Vol. 137. P. 72–77.
21. Meskhi B., Pleshko M., Buligin YU., Alekseenko L., Molev M. M. Obespechenie bezopasnoj ehkspluatacii i ocenki sostoyaniya podzemnyh sooruzhenij metodom akusticheskogo rezonansnogo defektoskopa. Seriya konferencij IOP: Zemlya i Ehkologicheskie nauki, 90 (1), 012217 (2017) doi.org/10.1088/1755-1315/90/1/012217.

**TO MONITORING THE STATE OF THE ROCK MASSIF WITH THE DEVELOPMENT OF SUBSOIL FOR AN INDEFINITE LONG PERIOD OF TIME****Golik V.I., Kelekhsaev V.B., Savelkov V.I., Gashimova Z.A.**

**Annotation:** the article is devoted to the choice of technologies for the underground mining of ore deposits, under which a stable state of the massif and a section of the earth's surface above it is provided during not only the development of the deposit, but also for an indefinitely long time. The purpose of the study is the development of a mechanism for monitoring the state with the preservation of the massif and the earth's surface in the area of subsoil development for an indefinitely long period of time. It is achieved by solving problems combining the influence of stresses on the behavior of the array as a result of natural and man-made impacts. The research method is based on the hypothesis that the technological impact on mountain objects activates the influence of tectonic disturbances up to the provocation of natural phenomena. The results of studies of natural and induced deformations are given to assess the role of discreteness in the development of the displacement process in Sadon's complex structural deposits. A hypothesis is formulated about the confinement of catastrophes to a section of the earth's crust that accommodates a large Sadon ore province with intensive development of deposits by an explosive method. An integral model for assessing the results of natural and technogenic catastrophic environmental damage for a technical and economic comparison of technology options is proposed. It is shown that the mechanism of interaction of natural and man-made stresses in the array is adequate and can be used to optimize mining technologies in the subsoil development area. The necessity of system monitoring of the state of the massif and the earth's surface is proved for the development of measures to protect the ecosystems of the environment during the development of subsurface for an indefinitely long period of time.

**Key words:** underground mining, ore deposit, stability of the massif, monitoring, natural and man-caused impact, discreteness of rocks, stresses.

© Голик В.И., Келексаев В.Б., Савелков В.И., Гашимова З.А., 2018

Голик В.И., Келексаев В.Б., Савелков В.И., Гашимова З.А. К мониторингу состояния массива пород при освоении недр в течение неопределенно долгого периода времени // Вектор ГеоНаук. 2018. Т.1. №2. С. 48-60.

Golik V.I., Kelekhsaev V.B., Savelkov V.I., Gashimova Z.A., 2018. To monitoring the state of the rock massif with the development of subsoil for an indefinite long period of time. Vector of Geosciences. 1(2): 48-60.