

УДК 622.831.32

И.Ю. Рассказов, Б.Г. Саксин

ОСОБЕННОСТИ ГЕОДИНАМИКИ И ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ЗАЛЕГАЮЩЕГО В КРУТОПАДАЮЩИХ РАЗРЫВНЫХ СТРУКТУРАХ ПОГРЕБЕННОГО ФУНДАМЕНТА

Приведены некоторые результаты комплексного анализа региональной геотектонической позиции месторождения Антей (юго-восточное Забайкалье) и материалов многолетних исследований особенностей проявления горного давления на разных горизонтах этого уникального объекта. Освещены особенности геодинамики и геомеханических условий формирования в разрабатываемом массиве горных пород акустических волновых полей. По данным геоакустического мониторинга установлены закономерности изменения акустического поля во времени и пространстве.

Ключевые слова: геодинамика, геомеханика, геоакустический мониторинг, рудное поле, геоблок.

Семинар № 12

**I.Y. Rasskazov, B.G. Saksin
THE MAIN FEATURES OF
GEODYNAMIC AND
GEOMECHANICAL CONDITIONS OF
THE DEPOSITS AT THE STEEP
RUPTURAL STRUCTURES OF BURIED
FOUNDATION**

Some of the results from the complex analysis of the regional geotectonic position of Antey deposit (the eastern-south of Zabaykalye) and materials of longstanding studies of the main features of the mining pressure at the different levels of this unique object are presented. The main features of the geodynamics and geomechanical conditions of forming of the wave fields in the mining rock mass are described. The laws of the acoustic field changes depending on time and space are defined on the base of the geoacoustic monitoring.

Key words: geodynamic, geomechanical, geoacoustic monitoring.

Основание эффективной технологии и порядка отработки месторождений, характеризующихся сложными горногеологическими условиями и большой глубиной залегания

полезного ископаемого, базируется на строгом учете целого ряда параметров и характеристик массива горных пород, включая его напряженно-деформированное состояние на различных этапах ведения горных работ. При этом важно иметь представление о современных геодинамических процессах в верхней части земной коры, следствием которых являются тектонические движения, оказывающие определяющее влияние на формирование природного поля напряжений. Параметры и характер поля напряжений в массивах рудных месторождений зависят от особенностей их тектонической структуры, в т.ч. блокового строения, которое тесно связано с долгоживущими крупными разломами, контролирующими оруденение и играющими значительную роль в региональном геодинамическом развитии [1].

Необходимость углубленного изучения современной геодинамики и особенностей формирования поля напряжений в массиве удароопасного месторождения урановых руд «Антей» продиктована резким увеличением в последние годы числа и интенсивности

динамических проявлений горного давления. Так, если до 2000 гг. на месторождении отмечалось не более 8 случаев динамических проявлений горного давления в год, то в 2004-08 гг. ежегодно регистрируется более 100 динамических явлений [2].

Месторождение Антей расположено в юго-восточном Забайкалье и размещается в северо-восточной части восточного блока Тулукуевской кальдеры, которая входит в состав мезозойского Монголо-Забайкальского вулканического пояса. Кристаллическим основанием кальдеры служат палеозойские гранитоиды с ксенолитами и блоками более древних метаморфических пород. Рудное поле месторождения локализовано в пределах валообразного поднятия погребенного фундамента, которое ориентировано в северо-западном направлении [3]. В настоящее время эксплуатация месторождения осуществляется на глубинах 580-740 м. На ниже лежащих горизонтах ведутся горно-подготовительные работы.

К кальдерам относятся круглые и овальные отрицательные формы палеорельефа, заполненные вулканитами и имеющие размеры от 10 до 30 км в поперечнике. Считается, что этот тип вулканотектонических структур формируется в результате обрушения вулканических построек над истощенным периферическим очагом [4]. Подобный механизм их образования находит отражение в широком развитии на таких площадях кольцевых структур обрушения и связанных с ними разноамплитудных перемещений блоков погребенного фундамента. В результате, как в верхнем структурном этаже (вулканитах), так и в нижнем (кристаллические породы основания), образуется сложная система блоков и разломов. На заключительных стадиях вулканизма разломы заливается дайками (обычно в краевых частях) и гидротермальными образованиями. Рудные месторождения, связанные с вулканическими сооружениями

описываемого типа, как правило, локализируются в вулканитах. Разведка, а тем более эксплуатация, месторождения в породах погребенного кристаллического основания кальдерной постройки является очень редким случаем. Ниже мы рассмотрим именно такой объект, при отработке которого подземным способом, с глубиной отчетливо нарастает опасность внезапного проявления горных ударов.

Согласно [5-8] и целому ряду других работ, для корректной оценки удароопасности массива горных пород, обязательно необходим учет характера взаимодействия разноранговых полей напряжений в исследуемой части земной коры. Для этого, кроме направленности и характера техногенного воздействия, целесообразно дополнительно учесть специфику современных сейсмических и неотектонических процессов, а также характер регионального поля напряжений в районах проведения горных работ. Обязательным является и знание геологической структуры горного массива, поскольку на заключительном этапе потребуется заполнить прогноз ее поведения в различной горнотехнической обстановке [9]. В этой связи ниже кратко рассмотрим геотектоническую позицию района исследования.

Месторождение Антей входит в Южно-Аргунский урановорудный район. Этот район расположен в северо-западной (ближе к центральной) части единого тектонического элемента земной коры, известного под названием Амурский геоблок [10-11]. Условия ведения горных работ в пределах данной территории определяются следующими особенностями ее геодинамического развития. Геоблок «зажат» между двумя планетарными древними структурами земной коры – Северо-Азиатским и Сино-Корейским кратонами и находится в зоне активного взаимодействия океанической и континентальной литосфер. Подобная позиция обусловила возмож-

ность длительного существования на территории орогенного геотектонического режима (Центрально-Азиатский орогенный пояс), который характеризуется мощным проявлением эндогенных процессов. В результате, по сравнению с соседними площадями, здесь резко увеличена неоднородность геологической среды (как в структурном, так и вещественном отношении). Тектоническая эволюция в Забайкальской части геоблока представляет собой необратимый процесс смены океанической, переходной и континентальной обстановок [12]. Формирование главных структурных элементов рассматриваемой территории происходило в 2 самостоятельных этапа:

1) плиттектонический — формирование древней коры начиная с архея, которое в среднюю юру завершается коллизией Сибирской и Китайской платформ (континентов) и гранитообразованием (формированием ареал-плутонов, или сшивающих комплексов по [13]);

2) постколлизийный — сводово-глыбовый тектогенез завершившийся формированием рифтовых систем и вулканизмом, а также блоковыми перемещениями, которые сопровождались образованием мощных продуктивных флюидных систем.

В настоящее время все перечисленные тектонические элементы входят в состав более крупной Евроазиатской литосферной плиты, в юго-восточной части которой располагается исследуемый район. По данным спутниковых измерений по глобальной сети эта плита перемещается на юго-восток (азимут порядка 110° ; пункт наблюдения – Иркутск) со средней глобальной скоростью 3,5-4,0 см/год [14].

В последние годы в регионе произведены более детальные GPS- измерения в пунктах наблюдения Забайкальской и Сихотэ-Алинской сети [15]. Обработка результатов этих измерений показала, что направление современно-

го горизонтального перемещения земной коры в Забайкальской части Амурского геоблока в общем совпадает с генеральным направлением движения Евроазиатской плиты (на юго-восток). Кроме того, установлено, что наряду с горизонтальными перемещениями Амурского геоблока испытывает также вращательные движения (очевидно, более правильно говорить о поступательно-вращательной кинематике современного горизонтального перемещения Амурского геоблока, что отличает его от других тектонических элементов литосферной плиты). В связи с зарождением и активным развитием другой планетарной структуры, получившей название – Сино-Индонезийская область наибольшей сейсмической и вулканической активности Новейшего времени [16], геотектоническая позиция Амурского геоблока приобретает еще большую уникальность. Геоблок располагается в северо-восточной части названной области. По периферии ее происходят активные современные тектонические процессы, которые концентрируются в виде разноранговых сейсмических поясов, вычленивающих данную область из состава Евроазиатской литосферной плиты. Мощные землетрясения продолжают периодически происходить на границе области и в настоящее время, формируя своеобразное региональное поле напряжений земной коры в ее пределах. При этом активизируются разломно-блоковые структуры, образованные на предшествующих этапах геологического развития территории. Причина возникновения Сино-Индонезийской области, с точки зрения автора [16], объясняется смещением субъядра с центра Земли (эксцентризацией субъядра).

Согласно результатам тектонофизических исследований [17-19] современные сейсмические пояса в регионе возникли за счет сближения Евроазиатской, Северо-Американской и Амурской плит. В работе [20] приводятся

**Значения физико-механических свойств пород (гранитов)
на глубоких горизонтах месторождения Антей
(по данным ИГЕМ РАН)**

Место отбора образцов	Плотность ρ , кг/м ³	Скорость продольных волн V_p , м/с	Скорость поперечных волн V_s , м/с	Модуль Юнга E, ГПа	Объемный модуль сжатия K, ГПа	Модуль сдвига G, ГПа	Коэффициент Пуассона μ
9 горизонт	2548	5550	3195	65,2	44,0	26,09	0,25
В зоне разлома (9 горизонт)	2562	5526	3196	65,4	43,5	26,2	0,246
11 горизонт	2574	5502	3197	65,6	43,08	26,3	0,24
В зоне разлома (11 горизонт)	2542	5588	3274	67,26	43,08	27,2	0,238

данные, согласно которым на напряженно-деформированное состояние Амурского геоблока (плиты) оказывают влияние как процессы, связанные с Западно-Тихоокеанской субдукцией (подвиг Тихоокеанской плиты под Евразию), так и Индо-Евразийская коллизия (столкновение Евразии с Индо-Австралийской плитой). Изложенная позиция лучше увязывается с данными по реальной сейсмичности. Таким образом, имеется много оснований для отнесения территории нашего исследования к особому Украина-Азиатскому модельному геодинамическому типу. От регионов, описанных в литературе, она отличается своей уникальной геоструктурной позицией и специфичным геодинамическим режимом [5]. Современное поступательно-вращательное движение Амурского геоблока, сопровождаемое высокой сейсмической активностью на периферии, является важной особенностью его геодинамического режима, который и определяет особенности существующего регионального поля напряжений. Именно с этим связана его неоднородность и циклическая изменчивость со сменой преобладающего режима (сжатия-растяжения). Активная глубинная геодинамика начиная с мезозоя и по настоящее время определили сложные геодинамические процессы, результатом которых явилось возникновение блоков, сдвиговых и надвиговых деформаций (включая по-

слойные срывы), а также сводово-глыбовых перемещений. Обстановки растяжения в этот период формировались в пределах узких вулканических поясов (как правило имеющих северо-восточную ориентировку), а также осадочных бассейнах и магматических ареалах.

Детальными геолого-структурными исследованиями Тулукуевской кальдеры установлено, что разрядка тектонических напряжений мезозойского этапа развития района в породах верхнего и нижнего структурного этажа происходила неодинаково, что определяется существенными геологическими и физико-механическими особенностями слагающих пород. В вулканиках распространены разломы, заложение которых во многих случаях не связано с деформацией фундамента. Однако в их формировании огромную роль сыграли выступы погребенного рельефа жесткого фундамента, над которым в эффузивном чехле возникли зоны повышенных деформаций [3].

Основными элементами структурного каркаса месторождения Антей являются сближенные в пространстве субпараллельные разломы № 160 и № 130 субмеридиональной ориентировки и крутым падением [2]. Упомянутые разломы формируют «тектонический клин», внутреннее пространство которого дезинтегрировано по сравнению с окружающими породами (частота встречаемости разломов в клине в 2-3 раза выше, чем за его пределами). Район руд-

ного поля преимущественно сложен крупнозернистыми порфиоровидными биотитовыми гранитами и среднезернистыми биотитовыми (до лейкократовых) гранитами. Меньшее распространение имеют плагиограниты, гранодиориты и единичные дайки долеритов. В пределах оруденелого блока все наиболее значительные разломы, (как правило, север-северо-восточного направления), залечены предрудными аргиллизитами.

Результаты изучения физико-механических свойств образцов горных пород в зоне динамического влияния сброса, а также за пределами этой зоны отражены в таблице. Расстояние между горизонтами, где отбирались образцы, составляет 120 м.

Установлено, что минимальные значения модулей Юнга, сдвига и объемного сжатия гранитов характерны для ядерной части разломов, где отмечены интенсивные гидрослюдистые изменения пород. Максимальны эти параметры в окварцованных гранитоидах. Общей закономерностью является также значимая вариация упругих параметров в зоне динамического влияния разлома. Ее определяет не петрографический состав вмещающих пород, а возраст и тип метасоматитов.

Описанные характерные особенности среды, вмещающей месторождение, увязываются и дополняются следующими выводами многолетних геомеханических исследований:

- величина и направление естественных напряжений зависят от типов блоковых структур и от пространственной ориентировки нарушений и могут различаться в соседних блоках;

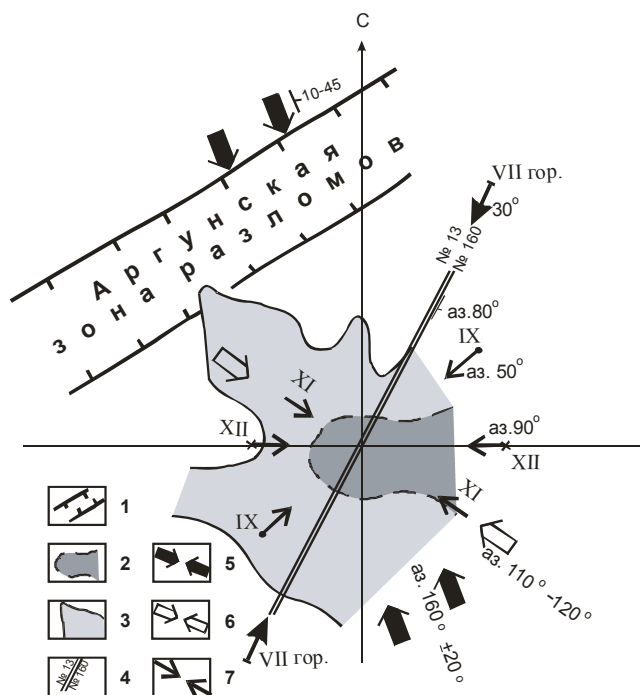
- месторождение Антей характеризуется исключительно высокой неоднородностью пространственного распределения физических свойств, что способствует возникновению отдельных очагов аномально высоких концентраций напряжений. Прочностные свойства гранитов на одной и той же глубине могут различаться в 2 раза;

- установлена периодичность неоднородности свойств по вертикали, которая изменяется через 50-90 м и связывается с наличием пологих нарушений;

- градиент скорости сдвижения пород увеличивается от горизонта к горизонту.

Вышеперечисленное свидетельствует о том, что, несмотря на кажущуюся простоту геологического строения месторождения Антей (рудоконтролирующие субпараллельные крутопадающие разломы в гранитах), сформированная здесь объемная картина распределения физико-механических свойств во вмещающем массиве горных пород является весьма сложной. Высокой неоднородностью характеризуется также естественное поле напряжений массива, которое сформировалось в процессе становления кальдерной постройки. Именно на этой стадии геологического развития территории, на фоне циклического опустошения вулканического очага, произошло наиболее значимое расчленение массива крутопадающими и пологими разломами со сбросо-сдвиговой кинематикой. Оно сопровождалось неоднократными обрушениями и отслоениями в надочаговой зоне. На завершающей стадии кальдерообразования возникшее трещинное пространство было заполнено гидротермалитами, что привело к еще большим вариациям изменения физико-механических свойств в объеме.

Обзор литературы [21-23 и др.] показал, что геодинамическая расслоенность разреза гранитоидных массивов является достаточно распространенным явлением, даже в тех местах, где в них не локализуются рудные месторождения. Это выражается в смене тектонического режима по вертикали, в связи с чем существенно изменяется величина и ориентировка максимального горизонтального стресса. Это приводит к формированию участков локального растяжения (декомпрессии) и сжатия (ком-



Направление регионального и локального сжатия на разных горизонтах месторождения Антей: 1 – Аргунская зона разломов; 2 – контур гребня вала гранитоидов на VII горизонте; 3 – контур вала гранитоидов на X горизонте; 4 – ориентировка зон разломов, их номер; 5 – направление максимального горизонтального сжатия, определенное на начальной стадии освоения месторождения; 6 – направление максимального горизонтального сжатия, определенное в условиях развитого фронта горных работ на глубоких горизонтах; 7 – направление локального сжатия, определенное по измерениям методом разгрузки, разрушению выработок и дискованию керн на разных горизонтах (VII – Поляков А.Н. [24], IX и XII – ИГЕМ, XI – ИГД ДВО РАН)

прессии) в крутопадающих разломах. Перераспределение напряжений в разрезе приводит к изменению геомеханической обстановки и формированию новых разрывов или активизации старых, что в отдельных случаях сопровождается динамическими проявлениями и разрушением закладки и горных выработок. Скорость протекания подобного процесса зависит от конфигурации горных выработок и их ориентировки по отношению к осям действующих напряжений [9]. Как показано в работе [11] изменения геодинамического состояния недр достигает своего аномального (экстремального) проявления в зонах разломов. При этом уровень аномальных деформаций может быть соизмерим с опасными смещениями при землетрясениях.

На начальной стадии освоения месторождения Антей (в 1977-1983 гг.) выполнялись исследования напряженно-деформированного состояния массива горных пород, в результате которых были выявлены неравнокомпо-

нентные поля напряжений с явным преобладанием первых главных горизонтальных сжимающих напряжений (в 1,8-2,7 раза превышающих гравитационные). Наибольшие главные напряжения ориентированы по азимуту $160 \pm 20^\circ$ с падением на север под углом $10-45^\circ$, что хорошо согласуется с описанными выше последними данными спутниковых измерений и GPS-наблюдений по направлению современного перемещения поверхности земной коры в регионе. Известно, что дальнейшее перераспределение региональных напряжений увязывается с динамикой движения ранее образованных более мелких блочно-иерархических масс, т.е. определяется блочно-иерархической структурой исследуемого массива горных пород, а также характером и направленностью техногенного воздействия [1, 6-8].

В процессе отработки месторождения получены новые данные о характере поля напряжений. По результатам обобщения многолетних наблюдений за

характером разрушения контура горных выработок и дискования керна скважин на горизонтах с 7 по 11 (в этаже 240 м) выявлена значительная неоднородность поля напряжений не только по величине, но и направлению главных напряжений, а также установлена его взаимосвязь с элементами морфологии погребенного палеорельефа (рисунок).

Так, если направление максимального горизонтального сжатия, выявленное по этим данным на горизонте 7 (гребневая часть вала), составляет 30° , то на горизонте 9 (основание вала) оно уже составляет 50° , а на горизонте 12 – $90-105^\circ$. Следовательно, с увеличением глубины (и как следствие – выходом фронта горных работ собственно в тело плутона гранитоидов) локальное направление горизонтального сжатия имеет тенденцию приближаться к региональному.

С 2006 г. на глубоких горизонтах месторождения Антей осуществляется геомеханический мониторинг с использованием сейсмоакустической системы контроля горного давления «Prognoz ADS» [5]. В результате проведенных экспериментальных исследований получены новые данные о пространственно-временном распределении очагов акустической эмиссии и закономерностях проявления акустической активности в разрабатываемом массиве горных пород, что позволяет сделать следующие предварительные выводы:

1) Установлено, что локальное поле акустической эмиссии неустойчиво во

времени и пространстве. Это выражается в изменении морфологии поля во времени, миграции очагов акустической эмиссии по простиранию и падению тектонического клина.

2) Выявлено, что в проекции на вертикальную плоскость расположение очагов акустической эмиссии имеет общий наклон на юго-запад. Плоскость этого наклона не произвольна, а перпендикулярна к направлению современного движения Евразийской литосферной плиты и региональному полю горизонтальных напряжений.

3) Период вариации локального поля напряжений может быть предварительно оценен интервалом около одного года. В результатах мониторинга это выражается в постепенном уменьшении площадных размеров поля аномальной акустической эмиссии и превращении его к концу годичного периода в линейно-упорядоченную зону очагов, которая локализована в сближенных разломах.

Из изложенного выше следует, что геомеханические условия разработки месторождения Антей имеют ряд особенностей, включая значительную неоднородность напряженно-деформированного состояния массива горных пород, обусловленного сложными геодинамическими процессами в земной коре и районе очистных блоков. Выявленные особенности необходимо учитывать при планировании и ведении горных работ на глубоких удароопасных горизонтах месторождения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петухов И.М., Батугина И.М. Геодинамика недр.–М.: Недра, 1996.–217 с.

2. Особенности динамических проявлений горного давления на месторождении «Антей» / И.Ю. Рассказов, Б.Г. Саксин, Б.А. Просекин и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень. М.: МГТУ, 2007.– № ОВ9.– С. 167-177.

3. Ишукова Л.П. Геологическое строение Южного Приаргуны в Восточном Забайкалье // Изв. АН СССР. Сер. Геология.– 1989.–№ 8.– С. 102-108.

4. Игнатъев А.Б., Боровков В.П., Забродин В.Ю. и др. Объекты палеовулканологии. Терминологический справочник // Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, ДВИМС Мингео, 1976.– 176 с.

5. *Рассказов И.Ю.* Контроль и управление горным давлением на рудниках Дальневосточного региона – М.: Издательство «Горная книга», 2008.– 329 с.
6. *Шерман С.И., Днепровский Ю.И.* Поля напряжений земной коры и геологоструктурные методы их изучения. – Новосибирск: Наука СО РАН, 1989.– 158 с.
7. *Кузьмин Ю.О., Жуков В.С.* Современная геодинамика и вариации физических свойств горных пород.– М: Из-во МГТУ, 2004.– 262 с.
8. *Садовский М.А., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф.* Деформирование геофизической среды сейсмический процесс. М.: Наука, 1987.– 99 с.
9. *Наймарк А.А.* Структурированность геологической среды – свойство или состояние // Вестник Московского государственного университета. Серия геол.–2006.–№ 2.– С. 73-80.
10. *Корчагин Ф.Г.* Геодинамика Амурского геоблока // Проблемы геодинамики и прогноза землетрясений. 1 Российско-Японский семинар, Хабаровск, 26-29 сентября 2000 г.– Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 2001.– С. 18-39.
11. *Мальшев Ю.Ф., Подгорный В.Я., Шевченко Б.Ф., Романовский Н.П. и др.* Глубинное строение структур ограничения Амурской литосферной плиты // Тихоокеанская геология.– 2007.– № 2.– С. 3-18.
12. *Семинский Ж.В.* Металлогенические особенности Байкало-Забайкальской области: Томск: Из-во ТГУ, 2001.– С. 330-333.
13. *Ханчук А.И. и др.* Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России в 2-х книгах.– Владивосток: Дальнаука, 2006.– 572 с.
14. <http://sideshow.jpl.nasa.gov/mbh/series.html>.
15. *Результаты анализа данных GPS измерений (2003–2006 гг.) на Дальнем Востоке по Сихоте-Алинской сети / В.Ю. Тимофеев, П.Ю. Горюнов, Д.Г. Ардюков и др. // Тихоокеанская геология.– 2008.– № 4.– С. 39-49.*
16. *Черкасов Р.Ф.* Современная вулкано-сейсмическая активность Сино-Индонезийской области как следствие эксцентризации субъядра Земли // Тектоника, глубинное строение и минералогия Востока Азии: V Косыгинские чтения. Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 2006.– С. 76-80.
17. *Имаев В.С., Имаева Л.П., Козмин Б.М. и др.* Геодинамические модели сейсмических поясов Якутии // Матер. Всерос. научно-практической конференции «Сейсмичность Южно-Якутского региона».– Нерюнгри: Якутский госуниверситет, 2005.– С. 6-13.
18. *Демьянович М.Г., Демьянович В.М.* Сейсмичность Южно-Якутского региона и прилегающих территорий // Сейсмичность Южно-Якутского региона.– Нерюнгри: ЯГУ, 2005.
19. *Дядьков П.Г., Назаров Л.А. и др.* Современная динамика Байкальского рифта: эпизоды сжатия и последующее растяжение в 1992-1996 гг. // ДАН.– 2000.– Т. 372.– № 6.
20. *Назарова Л.А., Назаров Л.А., Дядьков П.Г.* Математическое моделирование кинематики плит Центральной Азии // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых.– 2002.– № 5.– С. 3-9.
21. *Muller W.H.* The Grimsel Test Site: Geological background of the area and specific aspects of water flow / NAGRA Bull. Spec. Edit., 1988.– P.13-22.
22. *Tonon F., Amadei B.* Stress in anisotropic rock masses: an engineering perspective building on geological knowledge // Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 2003.– № 40.– P. 1099-1120.
23. *Talbot C.F., Sirat M.* Stress control of hydraulic conductivity in fracture-saturated Swedish bedrock // Engineering Geology.– 2001.– № 61.– P. 145-153.
24. *Поляков А.Н.* Прогноз удароопасности горнотехнических ситуаций на перспективные глубины разработки // Горный журнал.–1993.– № 4.– С. 51-56.

ГЛАВ

Коротко об авторах

Рассказов И.Ю. – доктор технических наук, директор,
Саксин Б.Г. – доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник,
 Институт горного дела ДВО РАН, eco@igd.khv.ru

