УДК 622.831:551.24

И.Ю.РАССКАЗОВ, *д-р техн. наук, профессор, директор, rasskazov@igd.khv.ru*
Б.Г.САКСИН, *д-р техн. наук, главный научный сотрудник, adm@igd.khv.ru*
Институт горного дела ДВО РАН, г.Хабаровск

I.Yu.RASSKAZOV, *Dr. in eng. sc., professor, director, rasskazov@igd.khv.ru*
B.G.SAKSIN, *Dr. in eng. sc., chief research assistant, adm@igd.khv.ru*
Institute of Mining, the Far-East Office of RAS, Khabarovsk

ВЛИЯНИЕ БЛОЧНО-ИЕРАРХИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ АМУРСКОГО ГЕОБЛОКА

На примере Южно-Аргунского ураново-рудного района Забайкалья рассмотрены вопросы взаимосвязи регионального и локального полей напряжений. Район включает в свой состав ряд склонных и опасных по горным ударам месторождений. В основе выполненного анализа лежат данные о современной геодинамике изученной части Амурского геоблока, а также геомеханические и геолого-структурные материалы по Тулукуевской кальдере и месторождению «Антей».

Рассчитанные с использованием установленной М.А.Садовским зависимости местных структурных форм ряда подчинены единым законам деформации и фрактальности. Сделан вывод о том, что в начале эксплуатации месторождения направление действия поля напряжений в массиве соответствовало региональному, а затем приобретает значительную изменчивость под влиянием крупномасштабных горных работ.

Ключевые слова: методы снижения риска техногенных катастроф, избыточные гравитационные горизонтальные напряжения, Тулукуевская кальдера, долгоживущий тектонический узел, влияние горных работ на поле напряжений.

INFLUENCE OF BLOCKY-HIERARCHY STRUCTURE OF GEOLOGICAL MEDIUM ON THE FORMING OF NATURAL AND TECHNOGENIC GEODYNAMIC FIELDS IN THE NORTH-WEST PART OF THE AMUR GEOBLOCK

On the example of the South-Argun uranium ore district of Zabaikalie consideration is given to the interaction of regional and local fields of stresses. The district includes a number of deposits prone to rock bursts. The performed analysis contains data on recent geodynamics of the explored part of the Amur geoblock as well as on geomechanical and geologo-structural materials of Tulukuev caldera and of Antey deposit. It is shown that with the use of the M.A. Sadovsky relationship the indices of local structural forms of a row are subjected to unified laws of deformation and fracturing. Conclusion was made that at the beginning of deposit exploitation the direction of action of stress field within rock mass conformed to regional one, and then it considerably changed under influence of large-scale mining operations.

Key words: methods for reduction of risk of technogenic catastrophes, excessive gravitational horizontal stresses, the Tulukuev caldera, long-lived tectonic nodle, influence of mining operations on stress field.

При обосновании методов снижения риска техногенных катастроф при подземном освоении недр ключевое значение имеют оценка и учет параметров напряженно-деформированного состояния разрабатываемого массива горных пород, которое во многом определяется особенностями тектонической структуры и геодинамических процессов на данном участке земной коры [4, 6, 9, 10].

Согласно современным представлениям масштабное обновление (активизация) уже существующих структур, а также новейшие радикальные перестройки земной коры, тесно связаны с современными плиттектоническими явлениями. Последние имеют многоэтапный и многоуровневый характер и сопровождаются раскалыванием коры на блоки разной формы и размера. Система блоков в дальнейшем находится в постоянном взаимодействии и толчкообразном движении (преимущественно по их границам). Блоки испытывают и фронтально передают стрессовые давления как в горизонтальном, так и вертикальном направлениях.

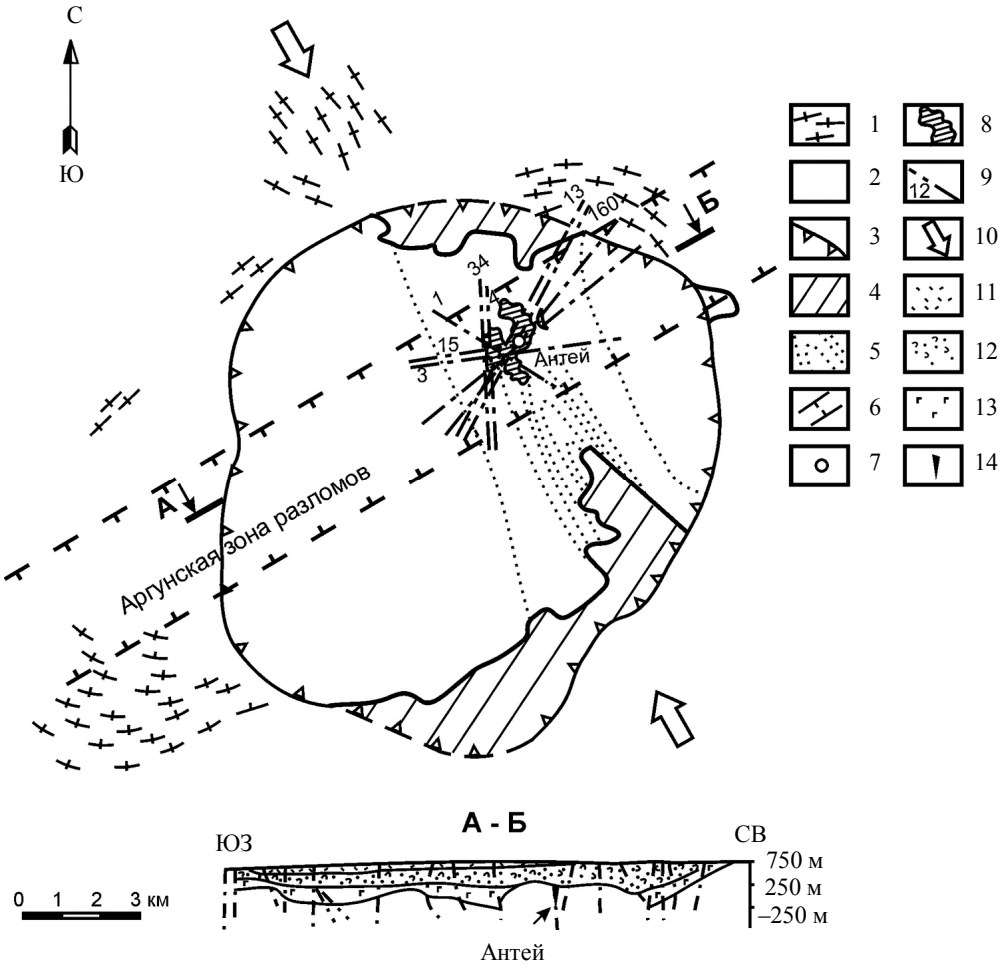
Уже первые обобщения данных по натурным экспериментальным измерениям пространственной ориентировки и главных напряжений в массиве горных пород позволили выявить широкое распространение в верхней части земной коры «избыточных» (по сравнению с гравитационными) горизонтальных напряжений. Обнаружена их неустойчивость и зависимость от местных локальных структурных особенностей (высот рельефа, наличия тектонических нарушений, трещиноватости пород и т.п.). В этой связи обоснована необходимость ранжирования и районирования полей напряжений с разделением их на глобальное, региональное (активный фон) и локальное [2] для последующего изучения обусловленности локальной составляющей.

Исследования взаимосвязи современных геодинамических процессов и обусловленных ими полей напряжений выполнены на примере Южно-Аргунского ураново-рудного района, который включает в свой состав ряд склонных и опасных по горным ударам месторождений. Район расположен в пределах северо-западной части единого структурного элемента земной коры – Амурского геоблока, – «зажатого» между двумя планетарными древними структурами земной коры – Северо-Азиатским и Сино-Корейским кратонами [2, 3]. Подобная позиция обусловила возможность длительного существования здесь орогенного геотектонического режима (Центрально-Азиатский орогенный пояс [1]) с мощным проявлением эндогенных процессов. В результате по сравнению с соседними площадями здесь, в вещественном и структурном отношении резко увеличена неоднородность геологической среды.

На карте современных горизонтальных смещений земной коры [11] перечисленные выше структуры земной коры входят в состав более крупной Евроазиатской литосферной плиты. Установлено, что исследуемая часть Евроазиатской литосферной плиты перемещается на юго-восток (азимут порядка 110°; пункт наблюдения – г.Иркутск) со средней глобальной скоростью 3,5-4,0 см/год, что совпадает с данными детальных GPS-измерений в пунктах наблюдения Забайкальской сети [7].

Тектоническая эволюция в Забайкальской части геоблока представляет собой необратимый процесс смены океанической, переходной и континентальной обстановок. Активная глубинная геодинамика, начиная с мезозоя и по настоящее время, определила сложные геодинамические процессы, результатом которых явилось возникновение блоков, сдвиговых и надвиговых деформаций (включая послойные 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.

Анализ поля высот рельефа дневной поверхности территории, которая расположена между Байкальским рифтом и южной границей Российской Федерации, показывает закономерное понижение его уровня по направлению движения этой части литосферной плиты. Закономерность эта выражается понижением усредненной поверхности крупных линейных блоков, имеющих генеральную северо-восточную ориентировку. В направлении с северо-запада на юго-восток наблюдается смена морфологических элементов рельефа: Становое нагорье (абсолютные отметки



Структурная позиция месторождения «Антей»

1 – реликты каледонского гнейсового купола (реконструкция по гнейсовидности гранитов); 2 – варисцийские гранитоиды; 3 – контур восточного блока Тулукуевской кальдеры; 4 – эродированная часть вулканитов; 5 – локальный вал погребенного фундамента; 6 – мобильная, долгоживущая зона Аргунского разлома; 7 – месторождение «Антей»; 8 – проекция рудных тел месторождения «Антей» на горизонтальную плоскость; 9 – основные разломы и их номера; 10 – направление регионального горизонтального сжатия; 11 – фельзиты; 12 – стратифицированные горизонты лав среднего состава, перемежающиеся с туфогенно-осадочными образованиями; 13 – лавы базальтов; 14 – положение рудной залежи в разрезе

рельефа 1000-3000 м) сменяется на Витимское плоскогорье (1000-2000 м) и далее на Даурский мелкосопочник (200-500 м). Перпендикуляр, опущенный от осевой линии Станового нагорья в сторону ступенчатого понижения рельефа, направлен по азимуту 160°. На схеме районирования территории СССР по абсолютному значению верхнего предела максимальных касательных напряжений в земной коре (М.В. Гзовский, 1975) описываемая площадь также делится на три линейных области такой же ориентировки: 1) Становo-Байкальскую, $\tau = 100 \pm 50$ МПа, 2) Витимскую, $\tau = 70 \pm 35$ МПа, 3) Даурскую, $\tau = 40 \pm 20$ МПа. Результаты анализа свидетельствуют, что юго-восточная часть современной Евроазиатской литосферной плиты имеет блочно-иерархическое строение и в настоящее время горизонтально перемещается в юго-восточных румбах (110-160°) преимущественно вкрест длинной оси ранее образованных блоков (террейнов).

На рисунке в схематизированном виде показана структурная позиция и основные элементы геологического строения удароопасного месторождения «Антей», основными элементами структурного каркаса являются сближенные в пространстве субпараллельные разломы № 160 и 130 субмеридиональной ориентировки и крутым падением [5]. Район

рудного поля преимущественно сложен крупнозернистыми порфировидными биотитовыми гранитами и среднезернистыми биотитовыми (до лейкократовых) гранитами.

Тулукуевская кальдера, в эффузивно-осадочных образованиях которой локализовано большинство месторождений Стрельцовского рудного узла, по мнению большинства исследователей, расположена в пределах крупного долгоживущего тектонического узла. Геодинамическая активность этой территории проявлялась как в период накопления вулканогенной толщи, так и после завершения вулканических процессов. Рудное поле месторождения «Антей» локализовано в пределах валообразного поднятия погребенного фундамента, которое ориентировано в северо-западном направлении (см. рисунок).

Рассчитанный с использованием показателя устойчивой делимости среды по площади и глубине М.А.Садовским ($m = 3{,}33 \pm 0{,}95$) [8] ранжированный ряд размеров блоков для условий Тулукуевской кальдеры выглядит следующим образом, м: 1) 2109; 2) 6333; 3) 1902; 4) 574; 5) 171; 6) 51,5; 7) 15,1; 8) 4,6; 9) 1,4; 10) 0,4; 11) 0,12; 12) 0,04. Размер блока (L) определяли как среднегеометрическое из максимального и минимального значения его видимых размеров (в метрах.). В качестве исходных брались достоверно установленные размеры восточного блока кальдеры (1-й ранг). Анализ более детальной геологической документации показал, что в этом ряду номеру два (2-й ранг) соответствует вал погребенного фундамента; 7 и 8 – блоки, характерные для «тектонического клина», образованного разломами № 160 и 130, а 9 и 10 – для рудных интервалов зон. Структурные формы ряда подчинены единым законам деформации и фрактальности, характеризуются нарастанием общей площади образующейся свободной поверхности на единицу разрушаемого объема.

По результатам исследований, выполненных на начальной стадии освоения месторождения, установлено, что в нетронутом массиве горных пород действуют неравнокомпонентные поля напряжений. Преобладают горизонтальные сжимающие напряжения (в 1,8-2,7 раза превышающие гравитационные), направленные по азимуту 160±20° с падением на север под углом 10-45°. Полученные данные хорошо согласуются с ориентировкой современного перемещения поверхности земной коры в регионе (направлением регионального сжатия).

Последующие локальные измерения напряженности горных пород, выполненные в целиках и других элементах системы разработки и участках массива в условиях развитого фронта горных работ (в настоящее время очистные работы достигли глубины 740 м), позволили получить новые данные о параметрах техногенного поля напряжений на глубоких горизонтах месторождения и показали его значительную изменчивость как по величине, так и по направлению действия главных напряжений. На участках вне зоны опорного давления наибольшие напряжения ориентированы преимущественно по азимуту 220-240°, а в зоне влияния очистных работ их вектор меняет направление действия, отклоняясь на 30° и более от первоначальной ориентировки. Величина наибольших напряжений в зависимости от расположения замерной станции варьируется от 53 до 110 МПа и приближается к пределу прочности горных пород. Установлена взаимосвязь параметров естественного поля напряжений с пространственной ориентировкой разных типов блоковых и разрывных структур и рельефом погребенного жесткого основания Тулукуевской кальдеры.

В целом выявленные особенности геодинамики Южно-Аргунского рудного района дают возможность составить значимое представление о характере и параметрах регионального поля напряжений, и уже на стадии проектирования горно-добывающих предприятий обосновать комплекс мероприятий по управлению горным давлением. С применением численных методов могут быть выявлены закономерности формирования техногенных полей напряжений, которые учитываются при определении порядка и параметров системы разработки удароопасных месторождений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / Под. ред. А.И.Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. 981 с.

2. *Корчагин Ф.Г.* Геодинамика Амурского геоблока // Проблемы геодинамики и прогноза землетрясений: Российско-японский семинар, Хабаровск, 26-29 сентября 2000 г. / ИТиГ ДВО РАН, Хабаровск. 2001. С. 18-39.

3. *Малышев Ю.Ф.* Глубинное строение структур ограничения Амурской литосферной плиты / Ю.Ф.Малышев, В.Я.Подгорный, Б.Ф.Шевченко // Тихоокеанская геология. 2007. № 2. С. 3-18.

4. Методы и результаты изучения напряженного состояния скальных массивов и создание на их основе эффективных способов управления горным давлением при подземной разработке руд / И.Т. Айтматов, В.И. Ахматов, В.И. Борщ-Компониец. и др // ФТПРПИ. 1987. № 3. С. 3-22.

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

6. *Петухов И.М.* Геодинамика недр / И.М.Петухов, И.М.Батугина М.: Недра, 1996. 217 с.

7. Результаты анализа данных GPS-измерений (2003–2006 гг.) на Дальнем Востоке по Сихотэ-Алинской сети / В.Ю.Тимофеев, П.Ю.Горюнов, Д.Г.Ардюков и др. // Тихоокеанская геология. 2008. № 4. С. 39-49.

8. *Садовский М.А.* Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс / М.А.Садовский, Л.Г.Болховитинов, В.Ф.Писаренко. М.: Наука, 1987. 99 с.

9. *Турчанинов И.А.* Основы механики горных пород / И.А.Турчанинов, М.А.Иофис, Э.В.Каспарьян. Л.: Недра, 1989. 488 с.

10. *Шерман С.И.* Поля напряжений земной коры и геолого-структурные методы их изучения / С.И.Шерман, Ю.И.Днепровский. Новосибирск: Наука СО РАН, 1989. 158 с.

11. http: //sideshow.jpl.nassa.dov/mbh/series.html.

REFERENCES

1. Geodynamics, magmatism and metallogenics of the East of Russia: 2 Books. Under ed. of A.I.Hanchuk. Vladivostok: Dalnauka, 2006. 981p.

2. *Korchagin F.G.* Geodynamics of the Amur geoblock // Problems in geodynamics and in the forecast of earthquakes. 1st Russian-Japanese Seminar, Khabarovsk, September, 26-29, 2000. Khabarovsk: ITG, FEB of the Russian Academy of Sciences, 2001. P.18-39.

3. *Malyshev J.F.*, *Podgornyj V.J.*, *Shevchenko B.F.* The deep superstructure of restriction of Amur lithospheric plate // Pacific geology. 2007. N. 2. P. 3-18.

4. *Aitmatov I.T., Ahmatov V.I., Borshch-Komponiets V.I., Vloh N.P., Kurlenja M.V., Leontev A.V.* Methods and results of studying of stress state of rock masses and creation of effective ways of control of rock pressure in underground mining of ores on their basis // Journal of Mining Science. 1987. N. 3. P.3-22.

5. *Rasskazov I.Yu.*, *Saksin B.G.*, *Prosekin B.A.* Features of dynamic manifestation of rock pressure at the Antey ore deposit // Mining information-analytical bulletin / MSMU, M., 2007. N. Spec. issue 9. P.167-177.

6. *Petukhov I.M., Batugina I.M.* Geodynamics of the Earth's. interior. M: Nedra, 1996.217p.

7. *Timofeev V.J.*, *Gorjunov P.J.*, *Ardjukov D.G.* Results of the analysis of GPS(-data) measurements in 2003-2006 on the Russian Far East in the Sihote-Alinsky network // Pacific Geology. 2008. N. 4. P. 39-49.

8. *Sadovsky M.A.*, *Bolhovitinov L.G.*, *Pisarenko V. F.* Deformation of the geophysical medium and seismic process. M.: Nauka, 1987.

9. *Turchaninov I.A.*, *Iofis M.A.*, *Kasparyan E.V.* Foundations of Rock Mechanics. Leningrad: Nedra, 1989. 488 p.

10. *Sherman S.I.*, *Dneprovsky Ju.I.* Fields of stresses of earth crust and geologic-structural methods of their studying. Novosibirsk: Nauka, the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 1989. 158 p.

11. http: //sideshow.jpl.nassa.dov/mbh/series.html.