НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ - СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНСТИТУТ ГЕОМЕХАНИКИ И ОСВОЕНИЯ НЕДР ПРОЕКТНО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ



Прогноз и предупреждение тектонических горных ударов и землетрясений:

измерение деформаций, остаточных и действующих напряжений в горных породах

> Материалы Первого Международного симпозиума 21-23 сентября, 2016

> > г. Бишкек

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ - СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНСТИТУТ ГЕОМЕХАНИКИ И ОСВОЕНИЯ НЕДР ПРОЕКТНО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

Прогноз и предупреждение тектонических горных ударов и землетрясений:

измерение деформаций, остаточных и действующих напряжений в горных породах

Материалы Международного симпозиума

Forecast and prevention of tectonic rock bursts and earthquakes: measurement of deformations, residual and actual stresses in rocks

Materials of International Symposium

Первый Международный симпозиум

First International Symposium

21-23 сентября, 2016

г. Бишкек

УДК 622.02; 622.831.32; 550.34;539.3

ББК 26.21

П 78

Национальная академия наук Кыргызской Республики (НАН КР) Кыргызско - Российский - Славянский университет (КРСУ) Институт геомеханики и освоения недр (ИГиОН) Проектно исследовательский центр недропользования (ПИЦН)

П 78 Прогноз и предупреждение тектонических горных ударов и землетрясений: измерение деформаций, остаточных и действующих напряжений в горных породах Материалы Первого Международного симпозиума, г. Бишкек, 21-23 сентября 2016 г. Бишкек: НАН КР, 2016. -262 с.

ISBN 978-9967-19-410-6

В сборнике материалов Международного симпозиума «Прогноз и предупреждение тектонических горных ударов и землетрясений: измерение деформаций, остаточных и действующих напряжений в горных породах» представлены научные статьи, нацеленные на поиск новых научных решений в области снижения риска природных и техногенных катастроф, обеспечение безопасности жизнедеятельности людей живущих в сейсмоактивных регионах.

Технический редактор: Тажибаев К.Т.

П 1804030000-16 УДК 622.02; 622.831.32; 550.34;539.3

ISBN 978-9967-19-410-6

ББК 26.21

ПРЕДИСЛОВИЕ

Симпозиум проводится с целью поиска новых научных решений в области снижения риска природных и техногенных катастроф В сейсмоактивных регионах и при разработке удороопасных месторождений полезных ископаемых. Последствия катастрофических горных ударов и сильных землетрясений обшеизвестны. В симпозиуме рассматривались вопросы теоретического и экспериментального исследования остаточных напряжений, напряженно-деформированного состояния и разрушения горных пород, прогноза И снижения сейсмического риска В сейсмоактивных регионах и при освоении месторождений. Обсуждались особо актуальные проблемы о влиянии промышленных и ядерных взрывов на структурное и напряженное состояние массива горных пород. Достигнуто определенное понимание механизма и основных причин тектонических горных ударов и землетрясений сейсмоактивных регионов. Для разгрузки опасных напряжений по определенной технологии, наряду промышленным взрывом было рекомендовано также применение глубинных Применение глубинных, ядерных взрывов. безопасных ядерных взрывов по определенной технологии для разгрузки напряжений, предупреждения тектонических землетрясений в сейсмоактивных И целесообразно регионах планеты, для конверсии И утилизации накопленного ядерного арсенала и использования этого опасного оружия массового уничтожения людей, наоборот, в мирных целях во имя сохранения жизни сотни тысяч людей от сейсмических катастроф. Эта проблема стоит того, чтобы направить на ее решение согласованные усилия исследователей многих стран и принятия адекватных решений в OOH, способствующих объединению рамках деятельности интеллектуальных усилий по данному научному направлению.

Тажибаев К.Т.

ПРИЗНАКИ ПОДГОТОВКИ ГОРНЫХ УДАРОВ ПО ДАННЫМ СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В ГЛУБОКИХ ШАХТАХ

Хачай О.А¹., Хачай О.Ю.²

- Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург, Российская федерация, <u>olgakhachay@yandex.ru</u>.
- 2. Уральский Федеральный университет, Екатеринбург, Российская федерация, <u>khachay@yandex.ru</u>

INFORMATIVE FEATURES OF PREPARING ROCK SHOCKS, USING DATA OF SEISMIC MONITORING IN DEEP MINES Hachay Olga¹, Khachay Oleg²

- Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург, Российская федерация, <u>olgakhachay@yandex.ru</u>.
- 2. Уральский Федеральный университет, Екатеринбург, Российская федерация, <u>khachay@yandex.ru</u>

В обобщения результате данных долговременных натурных геомеханических и геофизических измерений на рудниках полиметаллов была установлена нелинейная реакция горных пород на мощные динамические воздействия, а также распространение волн маятникового типа, носителями которых являются геоблоки различного иерархического уровня [1]. При этом эти волны обладают широкой низкой (по сравнению с сейсмическими волнами) скоростной гаммой [2-3]. Исследования состояния удароопасного массива Таштагольской шахты с использованием подходов теории динамических систем [4,5] проводились с целью выяснения критериев смены режимов диссипативности для реальных горных массивов, находящихся под сильным техногенным воздействием [6-7].

В работах, например, [8-9] впервые проанализирована сейсмологическая детальная шахтная информация с позиции синергетики и теории открытых динамических систем. Используя качественный анализ фазовых траекторий [5], показаны повторяющиеся закономерности, заключающиеся в переходах состояния массива из хаотического в упорядоченное состояние и обратно.

Сформулирована физическая новая постановка задачи ДЛЯ моделирования применительно к массивам горных пород, находящихся под техногенным воздействием. Если в предыдущих постановках общей теории эволюции открытых динамических систем [10,11] исследовалась задача о переходе системы от упорядоченного состояния к хаосу, то в нашем случае, для нашей системы хаос заданного уровня является с одной стороны устойчивым состоянием для системы. С другой стороны этот параметр является управляющим для перехода системы в состояние с другим параметром, являющимся для нее катастрофическим. После реализации этой катастрофы система вновь создает область хаоса с параметром, близким по значению к первому.

Исходя из идей, изложенных в работах [1–3], и поставленных вопросов данных сейсмологического мониторинга при анализе ΜЫ решили анализируемую базу данных данными пространственных дополнить координат взрывов, ввести их в предложенный ранее метод обработки данных сейсмологического мониторинга и дополнить его новыми параметрами. Разработан новый алгоритм обработки сейсмологической информации детального шахтного каталога Таштагольского рудника с учетом кинематических и динамических характеристик деформационных волн, распространяющихся с разными скоростями в массиве горных пород, находящегося под интенсивным внешним воздействием в виде массовых Установлено, взрывов. или технологических что волны, скоростями от 10 до 1 м/час, являются распространяющиеся со

преимущественным переносчиком энергии в массиве и способствующими ее выделению. События, происходящие в массиве с этими скоростями и обладающие энергией выделения меньше, чем 10^4 джоуля способствуют криповой перестройке массива. События, происходящие в массиве с этими скоростями и обладающие энергией выделения больше, чем 10^4 джоуля, могут быть использованы как предвестники и которые рекомендуется принимать во внимание при корректировке произведения взрывов в той или иной части массива. Полное отсутствие этих событий свидетельствует об увеличении напряженного состояния в массиве шахты в целом или в значительной ее части.

Проанализирована с помощью метода фазовых диаграмм динамическая структура энерговыделения массивом во время событий с энергией 10⁶-10⁷ и более джоулей. Показано, что высокоэнергетическое выделение массивом происходит резонансно и спустя несколько суток после произведения взрыва, т.е. в то время, когда в шахте находятся люди.

Полученная комплексная информация из данных сейсмологического каталога является важной для прогноза опасных явлений в рудных шахтах И принятия технологических решений ПО предотвращению разрушительных горных ударов. Во время затишья необходимо проводить электромагнитные индукционные исследования по выявлению участков для осуществления прогноза горного удара. Анализ сейсмологической и электромагнитной информации показал взаимно дополняющую информативность на различных пространственно-временных масштабных уровнях состояния горных массивов, находящихся под энергетическим воздействием в виде взрывов в процессе отработки. Выявлено изменение степени нелинейности во времени состояния массива при активном на него воздействии. Предприняты количественные оценки параметра запаздывания высокоэнергетического отклика массива на ряд

техногенного воздействия, во время которого значительную часть времени составляло отсутствие отклика массива.

Полученные результаты подтверждены анализом динамического состояния массива в течение более 10 лет [12-22].

Работа выполнена при поддержке Программы государственной поддержки ведущих научных школ (НШ-9356.2016.1)

Литература

1.Опарин В. Н., Леонтьев А. В. Квазистатика и динамика массива горных пород в областях сильного техногенного воздействия. // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли. Труды конференции с участием иностранных ученых, 6 – 10 июля 2009 г. Новосибирск. ИГД СО РАН. Новосибирск. – 2010. – С. 15 – 29.

2.Курленя М. В., Опарин В. Н., Востриков В. И. О формировании упругих волновых пакетов при импульсном возбуждении блочных сред. Волны маятникового типа Uµ // ДАН СССР – 1993. – Т. 333. – №4.

3.Опарин В. Н., Востриков В. Н., Тапсиев А. П. и др. Об одном кинематическом критерии прогнозирования предельного состояния массивов горных пород по шахтным сейсмологическим данным // ФТПРПИ. – 2006. – №6.

4. Наймарк Ю.И.,Ланда П.С. Стохастические и хаотические колебания.//М.: Книжный дом "ЛИБРОКОМ". 2009. – С.424.

5.Чуличков А.И. Математические модели нелинейной динамики. М.: Физматлит. 2003. – С.294.

6.Хачай О.А., Хачай О.Ю., Климко В.К., Шипеев О.В. Отражение синергетических свойств состояния массива горных пород под техногенным воздействием в данных шахтного сейсмологического каталога.// Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – №6. С. 259-271.

7. O. A. Hachay, O.Yu Khachay, V.K. Klimko, O.Y. Shipeev. The reflection of synergetic features in the response of geological medium on outer force actions. Advances in heterogeneous Material Mechanics (2011), Shanghai, China, pp.361-366.

8. O.A. Hachay. Synergetic events in geological medium and nonlinear features of wave propagation in it. NP3.8/HS13.09 Solid Earth geocomplexity: surface

processes, morphology and natural resources over wide ranges of scale. EGU2009-3684.

9.Hachay O. A., Khachay A. Yu., Khachay O. Yu. Construction of a state evolution dynamical model of a rock massif, which is in a regime of energetic pumping. Geophysical Research abstracts. –2011. –Vol. 13. – EGU2011 – 1528. 10.Малинецкий Г.Г. Математические основы синергетики. М.:Изд-во ЛКИ. –2007. – С. 327.

11. Ахромеева Т.С., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г., Самарский А.А. Структуры и хаос в нелинейных средах. М.: Физматлит. – 2007. – С. 485.

12.Хачай О.А., Хачай О.Ю., Климко В.К. Динамические характеристики медленных волн деформации как отклика массива на взрывные воздействия. // Горный Информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – №5. – С.208-214.

13. Хачай О.А., Хачай О.Ю., Шипеев О.В. Исследование иерархической структуры динамических характеристик медленных деформационных волн - отклика на взрывные воздействия. // Горный Информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – №5. – С.215-222.

14. Хачай О.А., Хачай А.Ю. Моделирование сейсмического и электромагнитного поля в иерархически неоднородных средах .// Вестник Южно-Уральского Государственного Университета. Серия "Вычислительная математика и информатика". – 2013. – том2. –№2. – С. 48-56.

15. Хачай О.А. Сценарий подготовки горных ударов в породных массивах под воздействием взрывов по данным сейсмического каталога.// Материалы международной конференции «Седьмые научные чтения Ю.П. Булашевича. Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей» Екатеринбург 8 - 13 сентября 2013г. – С. 318-320.

16. Olga Hachay, Oleg Khachay, and Oleg Shipeev Research of dynamical characteristics of slow deformation waves as massif responses on explosions. // Geophysical Research abstracts. – 2013. – Vol. 15. – EGU2013-48.

17.Хачай О.А., Хачай О.Ю. Кинематические и динамические характеристики медленных деформационных волн в породном массиве как отклик на взрывные воздействия // Труды XX Всероссийской научной конференции. Геодинамика и напряженное состояние недр Земли. Новосибирск, ИГД СО РАН. – 2013. – С.38-42.

18. Хачай О. А., Хачай О. Ю.Алгоритм построения сценария подготовки горных ударов в породных массивах под воздействием взрывов по данным сейсмического каталога. // Горный Информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – №4. – С.239-246.

19. Хачай О.А., Хачай О.Ю.Сценарий подготовки резонансных энергетических откликов породных массивов под воздействием взрывов по данным сейсмического каталога// VIII Российская научно-техническая конференция " Механика, ресурс, диагностика материалов и конструкций Тезисы" Ин-т машиноведения, Ин-т механики сплошной среды УрО РАН – Екатеринбург. – 2014. – С.4

20. Хачай О.А., Хачай О.Ю.Сценарий подготовки резонансных энергетических откликов породных массивов под воздействием взрывов (по данным сейсмического каталога) // Вестник инженерной школы ДВФУ. – 2014. – №3. – С.31-38.

21. Хачай О.А., Хачай О.Ю.Сопоставление особенностей синергетических свойств состояния удароопасного массива горных пород, определяемых по данным сейсмического и индукционного электромагнитного мониторинга. //Мониторинг. Наука и технологии. – 2014. – 3. – С.50-55.

22. Хачай О.А., Хачай О.Ю. Геосинергетика: Теория, методы, эксперименты при решении проблем отработки горных массивов // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. –2015. – N2. – C.45-51.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ 2D СЕЙСМИЧЕСКОГО ПОЛЯ В СЛОИСТО БЛОКОВОЙ СРЕДЕ С АНОМАЛЬНО НАПРЯЖЕННЫМ ИЕРАРХИЧЕСКИМ ВКЛЮЧЕНИЕМ

Хачай О.А¹., Хачай А.Ю.²

- 3. Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург, Российская федерация, <u>olgakhachay@yandex.ru</u>.
- **4.** Уральский Федеральный университет, Екатеринбург, Российская федерация, <u>andrey.khachay@gmail.com</u>

MODELING OF 2D SEISMIC FIELD DISTRIBUTION IN A BLOCK-LAYERED MEDIUM WITH ANOMALY SRESSED HIERARCHIC INCLUSION

Hachay Olga¹, Khachay Andrey²

- 3. Institute of geophysics UB RAS, Ekaterinburg, Russian Federation, , olgakhachay@yandex.ru.
- 4. Ural Federal University, Ekaterinburg, Russian Federation, andrey.khachay@gmail.com

Важнейшим итогом геомеханико - геодинамических исследований минувшего века явилось обнаружение тесной взаимосвязи между глобальными геодинамическими И локальными геомеханическими обусловленными ведением горных работ, особенно процессами. В тектонически-активных He менее крупным зонах. результатом исследований явилось также заключение о фундаментальной роли блочноиерархического строения горных пород и массивов для объяснения существования широкой гаммы нелинейных геомеханических эффектов и

возникновения сложных самоорганизующихся геосистем. Иерархическая структура характерна для многих систем, особенно для литосферы Земли, геофизическим исследованиям где было выделено ПО более 30 иерархических уровней от тектонических плит протяженностью в тысячи километров до отдельных минеральных зерен миллиметрового размера [1]. Таким образом, земная кора представляет собой сплошную среду, включающую в себя дискретную систему блоков и, как любой ансамбль, обладает синергетический дискретный свойствами иерархичности и самоподобия [2].

При построении математической модели реального объекта необходимо в качестве априорной информации использовать данные активного и пассивного мониторинга, получаемые в ходе текущей эксплуатации объекта. В работах [3,4] построены алгоритмы моделирования в электромагнитном случае для 3-*D* неоднородности, в сейсмическом случае для 2-*D* неоднородности для произвольного типа источника возбуждения *N*-слой-ной среды с иерархическим упругим включением, расположенным в *J*-ом слое.

Моделирование дифракции звука на двумерной аномально напряженной неоднородности иерархического типа, расположенной в *N*-слойной упругой среде

В работе [4] описан алгоритм моделирования дифракции звука на двумерном упругом иерархическом включении, расположенном в *J*-ом слое *N*-слойной среды. $G_{Sp,j}(M, M^0)$ – функция источника сейсмического поля, краевая задача для которой сформулирована в работе [3], $k_{1ji}^2 = \omega^2(\sigma_{ji} / \lambda_{ji})$ – волновое число для продольной волны, в приведенном выражении индекс *ji* обозначает принадлежность свойств среды внутри неоднородности, *ja* – вне неоднородности, λ – постоянная Ламэ, σ – плотность среды, ω – круговая частота, $\vec{u} = grad\varphi$ – вектор смещений, φ^0 –

потенциал нормального сейсмического поля в слоистой среде в отсутствие неоднородности: $\varphi_{ji}^0 = \varphi_{ja}^0$. Будем считать, что плотность иерархического включения для всех рангов *l* и вмещающего слоя одинаковы, тогда система уравнений [4] перепишется в виде:

$$\frac{(k_{1jl}^{2} - k_{1j}^{2})}{2\pi} \iint_{S_{Cl}} \varphi_{l}(M) G_{S_{p,j}}(M, M^{0}) d\tau_{M} + \varphi_{l-1}^{0}(M^{0}) = \varphi_{l}(M^{0}), M^{0} \in S_{Cl};$$

$$\frac{\sigma_{jll}(k_{1jl}^{2} - k_{1j}^{2})}{\sigma(M^{0})2\pi} \iint_{S_{Cl}} \varphi_{l}(M) G_{S_{p,j}}(M, M^{0}) d\tau_{M} + \varphi_{l-1}^{0}(M^{0}) = \varphi_{l}(M^{0}), M^{0} \in S_{Cl};$$
(1)

 $G_{Sp,j}(M,M^0)$ — функция источника сейсмического поля, она совпадает с функцией [4], $k_{1jil}^2 = \omega^2(\sigma_{jil}/(\lambda_{jil}); \sigma_{jil} = \sigma_{ja};$ — волновое число для продольной волны, в приведенном выражении индекс *ji* обозначает принадлежность свойств среды внутри неоднородности, *ja* — вне неоднородности, *l*=1...*L* номер иерархического уровня, $\vec{u}_l = grad\varphi_l$, φ_l^0 — потенциал нормального сейсмического поля в слоистой среде в отсутствие неоднородности предыдущего ранга, если *l*=2...*L* $\varphi_l^0 = \varphi_{l-1}$, если *l*=1, $\varphi_l^0 = \varphi^0$, что совпадает с соответствующим выражением [4].

Если при переходе на следующий иерархический уровень ось двухмерности не меняется, а меняются только геометрии сечений вложенных структур, можно описать итерационный процесс моделирования сейсмического поля (случай формирования только продольной волны). Итерационный процесс относится к моделированию вектора смещений при переходе с предыдущего иерархического уровня на последующий уровень. Внутри каждого иерархического уровня интегро-дифференциальное уравнение и интегро-дифференциальное представление вычисляются с помощью алгоритмов (2). Если на некотором иерархическом уровне структура локальной неоднородности распадается на несколько неоднородностей, то двойной и контурные

интегралы в выражениях (4) берутся по всем неоднородностям. В данном алгоритме рассмотрен случай, когда физические свойства неоднородностей одного и того же уровня одинаковы, различаются только границы областей.

Моделирование дифракции упругой поперечной волны на аномально напряженной неоднородности иерархического типа, расположенной в *N*- слойной упругой среде

Аналогично (1) выписывается такой же процесс для моделирования распространения упругой поперечной волны в *N*- слойной среде с двумерной иерархической структурой произвольной морфологии сечения с использованием интегральных соотношений, выписанных в работе [4].

$$\frac{(k_{2jil}^{2} - k_{2j}^{2})}{2\pi} \iint_{S_{Cl}} u_{xl}(M) G_{Ss,j}(M, M^{0}) d\tau_{M} + \frac{\mu_{ja}}{\mu_{jil}} u_{x(l-1)}^{0}(M^{0}) + \\
+ \frac{(\mu_{ja} - \mu_{jil})}{\mu_{jil}^{2} 2\pi} \iint_{Cl} u_{xl}(M) \frac{\partial G_{Ss,j}}{\partial n} dc = u_{xl}(M^{0}), M^{0} \in S_{Cl} \\
\frac{\mu_{jil}(k_{2jil}^{2} - k_{2j}^{2})}{\mu(M^{0})^{2} 2\pi} \iint_{S_{Cl}} u_{xl}M) G_{Ss,j}(M, M^{0}) d\tau_{M} + u_{x(l-1)}^{0}(M^{0}) + \\
+ \frac{(\mu_{ja} - \mu_{jil})}{\mu(M^{0})^{2} 2\pi} \iint_{Cl} u_{xl}(M) \frac{\partial G_{Ss,j}}{\partial n} dc = u_{xl}(M^{0}), M^{0} \notin S_{Cl}$$
(2)

где $G_{5s,j}(M, M^0)$ – функция источника сейсмического поля рассматриваемой задачи, она совпадает с функцией Грина, выписанной в работе [3] для соответствующей задачи, $k_{2\,jil}^2 = \omega^2(\sigma_{jil} / \mu_{jil})$ $\sigma_{jil} = \sigma_{ja}$ – волновое число для поперечной волны, μ – постоянная Ламэ, u_{xl} – составляющая вектора смещений, l=1...L – номер иерархического уровня, u_{xl}^0 – составляющая вектора смещений сейсмического поля в слоистой среде в отсутствие неоднородности предыдущего ранга, если l=2...L $u_{xl}^0 = u_{x(l-1)}$, если l=1, $u_{xl}^0 = u_x^0$, что совпадает с соответствующим выражением для нормального поля в работе [3]. Следует отметить что структура уравнений (2) совпадает и с общим случаем, когда иерархическая неоднородность имеет не только упругие параметры отличные от параметров вмещающей среды, но и плотность на всех рангах отличается от плотности вмещающего слоя. Отличие этой задачи заключается только в в значения волнового числа. Таким образом более чувствительным к области повышенных напряжений в массиве является отклик среды, связанный с продольной волной. Это следует учитывать при организации мониторинговых наблюдений при решении задачи прогноза устойчивости горного массива.

Работа выполнена при поддержке Программы государственной поддержки ведущих научных школ (НШ-9356.2016.1)

Литература

1. Прангишвили И.В., Пащенко Ф.Ф., Бусыгин Б.П. Системные законы и закономерности в электродинамике, природе и обществе М.: Наука, 2001.525 с.

2. Кочарян Г.Г., Спивак А.А. Динамика деформирования блочных массивов. М.: ИКЦ "Академкнига", 2003. 424 с.

3. Хачай О.А., Хачай А.Ю. О комплексировании сейсмических и электромагнитных активных методов для картирования и мониторинга состояния двумерных неоднородностей в N-слойной среде // Вестник ЮУРГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2011. № 2(219). С. 49–56.

4. Хачай О.А., Хачай А.Ю. Моделирование электромагнитного и сейсмического поля в иерархически неоднородных средах // Вестник ЮУРГУ, серия «Вычислительная математика и информатика ». 2013. Т.2. № 2. С. 48–55.

SEISMIC RISK ASSESSMENT AND MITIGATION IN CENTRAL ASIA Stefano Parolai, Kevin Fleming

Section 7.1 Centre Early Warning Systems Helmholtz Centre Potsdam GFZ German Research Centre for Geosciences, <u>kevin@gfz-potsdam.de</u>

Central Asia is a region of high seismic hazard, leading to potentially significant loss of life, property and hindering economic development. As part of efforts to assess and mitigate against this natural hazard, Section 7.1 Centre for Early Warning Systems of the Helmholtz Centre Potsdam GFZ German Research Centre for Geosciences and its partner institute, the Central Asian Institute of Applied Geosciences (CAIAG) in Bishkek, are together engaged in a number of research and infrastructure development programs to characterize better the nature of seismic hazard and risk in the Central Asia, and the Kyrgyz Republic in particular. These projects include: SENSUM - which set out to develop methodologies for the use of ground and space-based imagery for the rapid characterization of seismic vulnerability and damage assessment, EMCA the regional program of the Global Earthquake Model which developed a new seismic catalogue and hazard map for the Central Asian region, ACROSS - an infrastructure project that is developing a network of broadband seismic stations across the region, starting in the Kyrgyz Republic, and the World Bank project "Measuring Seismic Risk in Kyrgyz Republic", which aims to map seismic risk across the Kyrgyz Republic. Another development is the CARAVAN online earthquake loss estimation tool, currently being tested by GFZ in collaboration with CAIAG and the Ministry of Emergency Situations (MES). Other activities include collaborative efforts in the use of GFZ-developed seismic recorders and processing software for activities such as earthquake early warning (which will exploit the ACROSS network), building-soil interactions and site effects assessments. Coupled with all of these actions are the continuous interactions with various stakeholders, especially the MES, to not only to present the latest results, but also to gauge what research/developments are of most value to their respective efforts.

АКУСТОПОЛЯРИСКОПИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАЛЕОНАПРЯЖЕНИЙ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ

Горбацевич Ф.Ф.

Геологический институт Кольского научного центра РАН, г. Апатиты, Россия, E-mail: gorich@geoksc.apatity.ru

ACOUSTOPOLARISCOPY AND DETERMINATION OF PALAESTRESSES IN ROCKS

Gorbatsevich F.F.

Geological Institute Kola science centre RAS, Apatity, Russia, E-mail: gorich@geoksc.apatity.ru

Анализируя минералы и горные породы, минералог и геолог вооружены достаточно большим набором количественных методов для определения химического, вещественного и минерального составов, их физических и других характеристик. С инструментальными методами, предназначенными структуры некоторых минералов ДЛЯ изучения И горных пород, особенностей их упругой анизотропии, положение не так благополучно. Ряд проблем позволяет решить разработанное нами новое направление [1]. исследований акустополярископия Достоинства широта ____ И применения метода акустополярископии состоит в том, что в отличие от световых лучей ультразвук может проникать во все тела независимо от их толщины и прозрачности. Можно исследовать образцы рудных пород и минералов толщиной от 1 до 10 см, отобранные непосредственно в забое шахты, в выработке или на геологическом обнажении. Изменяя длину волны можно проследить строение среды на уровне минеральных зерен, их ассоциаций и горной породы в довольно большом объеме.

Для акустополяризационных определений и измерений скорости преобразователи, необходимы излучающие интенсивные, линейнопоперечные (сдвиговые) поляризованные чисто колебания. Если измерения производятся в сильно поглощающих средах, таких как горные породы, рабочая частота преобразователей должна быть возможно более низкой. Нами разработаны преобразователи, в которых продольные колебания, излучаемые пьезопластиной, преобразуются в поперечные на плоской границе раздела двух акустически различающихся по свойствам, сред [1]. Основная частота колебаний преобразователей определяется собственной частотой пъезопластины и может составлять $f_0 = 0.4-10.0$ МГц.

Для проведения акустополярископии нами разработано несколько конструкций акустополярископов [1, 2]. Наиболее часто применяется акустополярископ с поворотной платформой [3]. Последний вариант акустополярископа имеет электропривод, рис. 1. Перед началом измерений подвижную платформу акустополярископа устанавливают на нулевую отметку шкалы углов. Отметки векторов поляризации преобразователей совмещают по одной линии. На рабочие поверхности преобразователей наносят контактную среду. Устанавливают и закрепляют образец на поворотной платформе.

На первом этапе измерения проводятся при параллельных векторах поляризации излучателя и приемника колебаний (положение ВП). Измеряются амплитуды колебаний, прошедших образец. На втором этапе векторы поляризации преобразователей устанавливаются под прямым BC). углом (положение Результатом измерений являются акустополяриграммы ВП и ВС, - круговые диаграммы изменения амплитуды огибающей импульса в пределах полного угла поворота поворотной платформы. По акустополяриграммам ВП определяется эффекта наличие И степень проявления линейной акустической анизотропии поглощения (ЛААП) [4]. Акустополяриграммы, полученные в

положении BC, позволяют определить число и направленность проекций элементов упругой симметрии анизотропного образца, выявить наличие явления деполяризации сдвиговых волн (ДСВ) [5].



Рис. 1. Общий вид автоматического акустополярископа совместно с дефектоскопом и персональным компьютером. (Авторы конструкции О.С. Головатая, Ф.Ф. Горбацевич, М.В. Ковалевский).

На последующих этапах, в соответствии с выявленными пространственными направлениями элементов упругой симметрии измеряются скорости распространения двух квазипоперечных и одной продольной волн на каждой грани образца. Результаты определений записываются в виде квазиматрицы скоростей [1]:

$$V_{11} \quad V_{12} \quad V_{13} \\ V_{21} \quad V_{22} \quad V_{23} \\ V_{31} \quad V_{32} \quad V_{33}$$
(1),

где V_{11} - скорость распространения продольных колебаний, измеренная в направлении 1-1' кубического образца; V_{22} - то же, в направлении 2-2'; V_{33} - то же, в направлении 3-3'; V_{12} - скорость распространения сдвиговых

колебаний, измеренная в направлении 1-1' при ориентировке вектора поляризации излучателя в направлении 2-2'; V_{13} - то же, в направлении 1-1' при ориентировке вектора поляризации в направлении 3-3'. Аналогично обозначены V_{21} , V_{23} , V_{31} , V_{32} .

Величины показателя упругой анизотропии (коэффициента двулучепреломления) по поперечным волнам *В* определяются с использованием данных квазиматрицы (1) по следующим формулам [2]:

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2 + B_3^2} \times 100\% , \qquad (2)$$

где
$$B_1 = \frac{2(V_{12} - V_{13})}{V_{12} + V_{13}}, \quad B_2 = \frac{2(V_{21} - V_{23})}{V_{21} + V_{23}}, \quad B_3 = \frac{2(V_{31} - V_{32})}{V_{31} + V_{32}}$$

- коэффициенты двулучепреломления по граням 1, 2 и 3 образца.

Коэффициенты анизотропии по продольным волнам рассчитываются как среднее квадратичное отклонение величин V_{ii} квазиматрицы (1) продольных волн в образце [11]:

$$A_{p} = \frac{1}{V_{cp}} \sqrt{(V_{11} - V_{cp})^{2} + (V_{22} - V_{cp})^{2} + (V_{33} - V_{cp})^{2}} \times 100\%$$
(3),

где $V_{cp} = (V_{11} + V_{22} + V_{33})/3$ – средняя скорость распространения продольных волн в образце.

Данная схема определения показателей упругой анизотропии пригодна для сред не ниже орторомбической симметрии. Выражения для количественной оценки упругой анизотропии более низких типов симметрий приведены в работе [6].

Оценка параметров палеонапряжений

Переход кристаллической горной породы в анизотропное состояние происходит под воздействием палеонапряжений и деформаций в процессе структурно-метаморфической эволюции метаморфических комплексов [7]. Поэтому сравнительный анализ пространственных ориентировок элементов упругой симметрии анизотропных пород, их показателей других анизотропии И данных, позволяет получить сведения 0 напряженном состоянии пород, которое имело место самом на значительном этапе действия палеонапряжений.

По В.Н.Кожевникову [8] в полиминеральных горных породах под воздействием негидростатического поля палеонапряжений минералы будут приобретать новую ориентировку, отражающую эволюцию основных факторов - давления, температуры и времени их воздействия.

В один и тот же интервал времени некоторые минералы будут синтектоническую кристаллизацию приобретать испытывать И устойчивую ориентировку. термодинамически В целом же, В анизотропных породах величины упругости $C_{lphaeta}$ будут связаны с напряжений (палеонапряжений) компонентами тензора T_{ii} этапа деформаций ε_{ii}^{n} некоторым подобием обобщенного закона Гука [1]:

$$T_{ij} = C_{\alpha\beta} \varepsilon_{ij}^{n} f(t, \Lambda)$$
⁽⁵⁾

В этом уравнении t и Λ представляют собой фактор времени и температуру, точную функциональную связь которых с параметрами T_{ij} , $C_{\alpha\beta}$, ε_{ii}^{n} еще предстоит установить.

Однако известно, что синтектоническая кристаллизация обусловливает жесткую связь между T_{ij} и $C_{\alpha\beta}$ в амфиболитах и ряде других метаморфических пород [7]. Если полиминеральная порода формируется в поле



Рис. 2. Схема ориентировки компонент $T_1 = \sigma_I^n$; $T_2 = \sigma_2^n$; $T_3 = \sigma_3^n$ поля сжимающих напряжений для модели породы орторомбической (а) и псевдогексагональной (b) симметрий. Стрелкой указано направление линейности *L*.

напряжений сжатия, то, как было показано выше, ориентировке максимальной силы сжатия (T₁) отвечает минимальное значение скорости распространения продольной волны (V_{33}) или константы упругости (C_{33}). Таким образом, максимальная сила сжатия (T_1) будет направлена, в общем, нормали сланцеватости. Наименьшее палеонапряжение T_3 по к ориентировано вдоль оси, совпадающей с линейностью и отвечающей наибольшей величине скорости распространения продольных колебаний (V_{11}) и, соответственно, - C_{11} . Промежуточное значение T_2 будет преимущественно направлено параллельно сланцеватости, но по нормали к линейности.

Породам ромбической симметрии будет отвечать схема, рис. 2а. Причем, как указано выше, в направлении 3 скорость распространения продольных колебаний минимальна. Для модели, рис. 2а, в направлении 1, совпадающем с линейностью, величина такой скорости максимальна, а в приобретает промежуточное значение. направлении 2 В модели сланцеватой породы псевдогексагональной симметрии можно представить ориентировку компонент палеонапряжений T_1 , $T_2 = T_3$, как это показано на схеме, рис.2b. Модели, рис. 2, позволяют предложить коэффициенты, отражающие относительные величины компонент поля напряжений, под действием которого сформировались упругие свойства. возникли определенная ориентировка элементов симметрии и тип анизотропии. Для модели, рис. 2а, в соответствии с обобщенным законом Гука коэффициенты К_{іі} будут пропорциональны отношению величин констант упругости C₁₁, C₂₂, C₃₃:

 $K_{13} = T_1/T_3 = C_{11}/C_{33} = (V_{11})^2/(V_{33})^2$, $K_{23} = T_2/T_3 = C_{11}/C_{22} = (V_{11})^2/(V_{22})^2$, $K_{33} = T_3/T_3 = 1$ (6) и будут отражать отношение компонент поля напряжений для пород ромбической симметрии в направлениях 1, 2, 3. Для модели, рис. 2b, соответственно, коэффициенты:

$$K_{12} = K_{13} = T_1/T_2 = C_{11}/C_{33} = (V_{11})^2/(V_{33})^2, K_2/K_3 = 1,$$
(7)

так как здесь соотношение компонент палеонапряжений $T_1 > T_2 = T_3$.

Анализ величин коэффициентов К₁₂, К₁₃, К₂₃, а также пространственной ориентировки наибольших, наименьших и средних величин скорости, измеренных в образцах с сохраненной их пространственной ориентацией в массиве пород, позволит восстановить основные характеристики поля палеонапряжений. Пример такой реконструкции, выполненной на обнажении 145 Воче-Ламбинского геодинамического полигона, приведен на рис. 3 [9]. Порядок измерений и определений был выбран следующим. Первоначально отбирали пробы, маркируя азимут и угол падения их поверхностей. основных Затем. ориентируясь слоистости ПО (сланцеватости) и линейности, выпиливали образцы в форме куба. Затем акустополярископии определяли плоскости наибольшей методом анизотропии относительно граней образца.



Рис. 3. Направление и относительная величина наибольшей компоненты сжимающих палеонапряжений в плане обнажения 145 Воче-Ламбинского геодинамического полигона.

1 - плагиограниты, 2 - гранодиориты, 3 - олигоклаз-микроклиновые граниты, 4 - жильные проявления, 5 - разрывы, 6 - места отбора проб, 7 - направления действия палеонапряжений (план обнажения составлен В.В.Балаганским, Л.Н.Королевой).

Используя сетку Вульфа и данные по азимуту и углу падения граней, были произведены расчеты азимута и угла падения нормали к плоскости наибольшей анизотропии. На рисунке 3 на плане обнажения 145 эти направления изображены в виде стрелок. Размер стрелок пропорционален относительной величине K_{ij} . Рядом со стрелками приведены величины угла погружения направления T_1 .

Обзор данных рис. 3 показывает, что на обнажении 145 выявляются два обособленных направления действия компоненты T_1 . Измерениями на 8 образцах (серии 145-1-4, 145-1-5, 145-1-6, 145-1-8) зафиксировано одно направление с азимутом в пределах углов 354-28° и углах падения 28-78°. Азимут второго направления выдержан довольно строго и составляет 58-67° при углах падения 30-66°. Второе направление зафиксировано в образцах серии 145-1-7 и в обр. 145-1-5б/2. По приведенным выше данным можно сделать вывод, что первое и второе направления приложения T_1 отражают процессы, происшедшие, соответственно, при различных этапах деформаций или циклах метаморфизма.

Выполненная оценка направленности и относительной величины палеонапряжений, по нашему мнению, является более надежной в отношении их направленности. Относительная величина палеонапряжений, вероятно, зависит не только от факторов, отраженных в уравнении (5). Например, под воздействием ориентированного напряжения роговая обманка в плагиоамфиболитах способна приобретать строгую ориентировку и тем самым обеспечивать более сильную анизотропию, чем та, которая наблюдается у плагиогранитов.

Как показано выше, применение акустополярископии позволяет определять параметры палеонапряжений в метаморфизованных кристаллических породах, - пространственную ориентировку компонент поля палеостресса и их относительную величину. Также как и метод

палеомагнитных измерений, описываемый метод позволит составить, например, палеогеодинамическую карту обнажения, массива, региона.

Авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность Российскому фонду фундаментальных исследований (грант №, 16-05-00026).

ЛИТЕРАТУРА

Горбацевич Ф.Ф. Акустополярископия горных пород. - Апатиты: Изд.
 Кольского научного центра РАН, 1995. - 204 с.

2. Горбацевич Ф.Ф. Акустополярископия породообразующих минералов и кристаллических пород. - Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2002. - 140 с.

3. Авт. свид. № 1281993. Акустополярископ для измерения упругости образцов твердых сред / Горбацевич Ф.Ф., СССР, МКИ G01N 29/04. Бюлл. изобр., 1987. No.1.

4. Горбацевич Ф.Ф. Анизотропия поглощения сдвиговых колебаний в горных породах. // Изв.АН СССР. Физика Земли. – 1990. - № 5. - С. 70-79.

5. Горбацевич Ф.Ф. Явление деполяризации сдвиговых волн в анизотропных гетерогенных средах // Физика Земли. - 1998, № 6. - С.83-90.

6. Александров К.С., Продайвода Г.Т. Анизотропия упругих свойств минералов и горных пород. – Новосибирск: Изд. СО РАН, 2000. – 354 с.

7. Казаков А.Н. Динамический анализ микроструктурных ориентировок минералов. - Л.: Наука, 1987. - 272 с.

8. Кожевников В.Н. Условия формирования структурно-метаморфических парагенезисов в докембрийских комплексах. - Л.: Наука, 1982. - 184 с.

9. Воче-Ламбинский архейский геодинамический полигон Кольского полуострова. - Апатиты: Кольский научный центр АН СССР, 1991. - 196 с.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗА И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ГОРНЫХ УДАРОВ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Тажибаев К. Т.

Институт геомеханики и освоения недр Национальной академии наук Кыргызской Республики. Город Бишкек, Кыргызская Республика. E-mail: <u>kushbak@yandex.ru</u>

SCIENTIFIC AND TECHNICAL BASIS OF THE FORECAST AND PREVENTION OF TECTONIC ROCK BURSTS AND EARTHQUAKES

Tazhibaev K.T.

Institute of geomechanics and development of bowels of National Academy of Sciences of the Kirghiz Republic. E-mail: kushbak @yandex.ru

Известно, ЧТО тектонические горные удары явления кратковременные очаговые, приурочены К активных И зонам тектонических разломов и контактов магматических горных пород. Однако физическая сущность такой зональности горных ударов оставалась не до конца выясненной. В настоящее время установлено, что землетрясения, также как и горные удары приурочены к вытянутым зонам крупных тектонических мегаразломов, рифтов, срединно-океанических хребтов, горно-складчатых сооружений. Обычно перед сильными горными ударами, которые рассматриваются как слабые землетрясения, за несколько часов, иногда за 2-5 суток происходит скачкообразное и деформаций знакопеременное изменение породного массива прилегающего участка, наблюдается так называемое стреляние горных пород.

С.Г. Авершиным [1] отмечался, ЧТО перед горным ударом происходит то увеличение, то уменьшение деформации, меняется в это время и направление подвижек то к выработке, то от нее. В работе Б.В.Шрепп, В.А.Квочкина и др. [13] так же отмечается, что перед горным ударом наблюдается обратные (знакопеременные) деформации по линиям, непосредственно прилегающим к месту горного удара. В работе сейсмологов также отмечается [14], «деформации районе ЧТО В готовящегося землетрясения могут резко изменяться. Инструментальными возможность наблюдениями установлена перехода OT сжатий К растяжению на расстояниях в несколько километров». Значительные деформационные аномалии перед катастрофическими землетрясениями отмечались не только за первые часы, но и за десятки минут до событий.

В работе Т. Рикитаки [12] описаны случаи резкого перехода от опускания до внезапного поднятия за несколько часов до землетрясения, скачки хода деформации. В работе Т.Асада, К.Исибаси, Т.Матсуда и др. [15] описаны 33 случаев землетрясения в Японии, перед которыми наблюдались скачкообразные и знакопеременные деформации земной коры. Авторы отмечают, что с позиции имеющихся представлений и физических законов трудно объяснить эти аномальные знакопеременные и скачкообразные изменения деформации в земной коре. Результаты наших экспериментальных исследований выполненные на протяжении ряда последних десятилетий показали, что аномальные скачкообразные и знакопеременные деформации наблюдаются только в горных породах имеющих остаточные напряжения, и, как правило, эти породы при испытаниях после таких аномальных деформаций разрушаются динамически, взрывоподобно, и, как правило, такие породы представляют удароопасные месторождения расположенные в сейсмоактивных регионах

[4,5,6,8]. Например, при испытании образца гранита, отобранного из удароопасного месторождения Восточный – Коунрад, был получен необычный результат - образец в условиях статического одноосного сжатия вопреки существующим представлениям и закона Гука стал удлиняться в продольном направлении в средней части после некоторого внешнего сжатия (рис.1), и после знакопеременных и скачкообразных деформаций разрушился динамически, взрывоподобно. Данный образец был изготовлен из блока гранита, где было зафиксировано остаточное напряжение. Последующие исследования подтвердили не случайность этих результатов, и показали обусловленность аномальной деформации с наличием в этих породах неоднородных остаточных напряжений [4, 6].



Рисунок 1 - Зависимости деформаций от напряжения в образце мелкозернистого гранита Восточно-Коунрадского месторождения при статическом одноосном сжатии: 1 – поперечная деформация; 2 – продольная деформация.

Как показали результаты экспериментальных исследований, перед тектоническими горными ударами и землетрясениями происходит, наряду с аномальными изменениями деформации, такие же скачкообразные и знакопеременные изменения напряжения естественного электрического, а также и магнитного поля. Для решения проблемы прогноза тектонических землетрясений, считаем целесообразным переоборудовать сейсмостанции наряду с сейсмометрами, необходимо установить деформометры в коренных породах, магнитометры и приборы для измерения естественного электрического потенциала. В случае прогноза сейсмического события по аномальным, одновременным изменениям показаний всех перечисленных разных по физическим принципам действия выше трех приборов комплексно, обеспечивается высокая надежность. До решения проблемы предотвращения катастрофических землетрясений, нужно обеспечить надежный прогноз. Что проблемы предотвращения касается катастрофических горных ударов, она уже решена путем определения удароопасных участков и проведения в этих участках профилактических мер снижения напряжений.

Как известно, прогноз землетрясений дело весьма ответственное, и никто не решается взять на себя ответственность. И поэтому нужно вначале научиться прогнозировать не катастрофические, а слабые и средней мощности землетрясения по указанным выше предвестниковым признакам: по аномальным изменениям деформации, напряженности магнитного и естественного электрического поля массива горных пород.

B качестве примера возможности прогноза динамического разрушения горных пород в очаге, т.е. глубинного тектонического горного удара рассмотрим случай внезапного массового обрушения борта карьера рудника Кумтор, произошедшего 8июля 2002 года (объем обрушеных пород порядка 7 млн. тонн). Знакопеременные и скачкообразные деформации происходили за 5 суток до внезапного массового обрушения борта карьера 3 июля, наблюдались аномальные скачкообразные и деформации, знакопеременные причем значение разно знаковых растягивающих и сжимающих деформаций достигли 3см, составляя общий размах 6 см. Такие большие деформации возможны только при проявлении значительных остаточных напряжений горных пород. За 5 суток можно было не только прогнозировать, но и предотвратить обрушение путем постепенного снятия остаточных напряжений в удароопасных местах.

В наших исследованиях, проводимых в зонах проявления горных ударов и остаточных напряжений в гранитах Восточно-Коунрадского месторождения, было установлено, что горные удары на данном руднике происходили на небольших глубинах (100÷250 м) и в пределах тех разновидностей рудовмещающих гранитов и грейзенов, где имелись значительные остаточные напряжения [4]. По руднику Кумтор, также в рудовмещающих горных породах, а именно в метасамотитах и при контактных с ними рудных породах были зафиксированы остаточные напряжения, средние значения которых составляли 50 МПа.

Обусловленность тектонических землетрясений высвобождением остаточных напряжений в виде динамического взрывоподобного разрушения горных пород в объемных очагах подтверждается анализом характеристик техногенных и природных сейсмических событий, а также фактом повсеместного совпадения зон сильных землетрясений с главными ареалами андезитового магматизма по всей планете [4,6,7,8,9].

В настоящее время классические представления о механизме очагов землетрясений основаны на положениях теории упругой отдачи Рейда [17]. Согласно этой теории, механизм землетрясения объясняется образованием трещин и разломов в предварительно напряженной земной коре, В процессе чего происходит «упругая отдача сторон (берегов) трещины», предполагается, что очаг – это плоскость разрыва. Однако часто от одного и того же землетрясения наблюдается и положительные и отрицательные первые вступления сейсмических В волн. некоторых случаях пространственные распределения положительных и отрицательных вступлений волн квадрантное. В первых связи с этим японским исследователем Накано была предложена сдвиговая модель очага землетрясения, объясняющая симметрично квадрантное распределение сейсмических волн. Сдвиговая модель очага землетрясения хотя и частично объясняет квадрантное распределение первых вступлений, но не

согласуется с положением об упругой отдаче поверхности разрушения, а также экспериментальными данными несимметрично квадрантного распределения первых вступлений. Существующие теории и указанные раскрывают выше модели очага не механизм возникновения землетрясений, объясняют локальность, не ИХ приуроченность К контактным зонам магматических пород, зонам активных тектонических разломов. В связи с этим на основе установленного механизма горных ударов, результатов экспериментального исследования остаточных напряжений и их проявлений в деформации и разрушении горных пород удароопасных месторождений нами предлагается теоретическая модель объемных очагов тектонических горных ударов и землетрясений.



Рис.2. Теоретическая модель объемных очагов землетрясений. С, П, М – очаги сильного, промежуточного, маломощного землетрясения (сильного горного удара) соответственно; 1 – тектонический разлом; 2 – зона влияния разлома.

— • — • — – граница растягивающих остаточных напряжений; ⊕ – растягивающее остаточное напряжение; ⊖ – сжимающее остаточное напряжение;

+, □ – оложительное первое вступление (движение от очага) продольной сейсмической волны; – ,[∞] – отрицательное первое вступление (движение к очагу) продольной сейсмической волны.

Сущность модели поясняется на рис.2, а также на основе следующих положений:

- Упругая отдача поверхностей полости, образованной при разрушении предельно напряженных горных пород в объемном очаге, является причиной сейсмических колебаний части литосферы.
- 2. Направление упругой отдачи зависит от знака результирующих (от гравитационных, остаточных, приливных И дp.) напряжений имеющихся на местах будущих поверхностей полости (очага) динамического разрушения горных пород. При разрушении горных пород в пределах объема, где имеются преобладающие сжимающие напряжения, первые вступления продольной волны всюду отрицательные (движение к очагу); где имеются растягивающие напряжения первые вступления – положительные (движение от очага); имеются сжимающие и растягивающие где И напряжения, в зависимости от расположения этих напряжений, в разных местах земной поверхности первые вступления будут иметь разные знаки и в возможно как симметричное, так и несимметричное принципе квадрантное распределение первых вступлений продольной упругой волны.
- Сила (энергия) землетрясения или горного удара определяется уровнем имеющихся напряжений в окрестности контура будущего очага (гипоцентра) и объемом разрушенной части массива горных пород, т.е.:

$$W_{\Gamma} = \frac{\sigma_{\Sigma}^2 \cdot V}{2E} - \gamma S \qquad (1),$$

где W_{Γ} – общая энергия горного удара или землетрясения;

 σ_{Σ} – средняя величина результирующего нормального напряжения, действующего в окрестности контура очага; $\sigma_{\Sigma} = \sigma_0 + \sigma_{\Gamma} + \sigma_{\Pi}$ (здесь σ_0 – остаточное напряжение; σ_{Γ} – гравитационное напряжение; σ_{Π} – приливное напряжение);

- *V* объем образованной при динамическом разрушении горных пород полости;
- E модуль упругости горных пород зоны очага (среднее значение);
- *γ* удельная поверхностная энергия разрушения;
- *S* площадь вновь образованных поверхностей.

Как видно на рис. 2, наиболее сильные землетрясения дают квадрантное распределение первых вступлений продольной сейсмической волны. Согласно модели, это объясняется тем, что в данном случае объем образованной при разрушении горных пород полости (очага) значительный и охватывает участки с растягивающими и сжимающими остаточными напряжениями.

По проблеме предотвращения тектонических землетрясений можно данной проблемы. отметить, что имеется решение Сущность обоснованных нами технологических мер предупреждения тектонических установлении ударов И землетрясений заключается в горных ПО экспериментальным напряжениям И прочности горных пород сейсмоопасной определении значений максимальной 30ны; В И минимальной удельной энергии разгрузки; в поэтапной разгрузке напряжений, дискретно возрастающими (от минимума до максимума) по энергии импульсами сейсмических волн взрывов, последовательно и многократно производимых в опасной зоне через определенные промежутки времени [7,9]. Главные задачи для выполнения данной работы следующие: определение сейсмоопасной (высоконапряженной) зоны по геологическим, экспериментальным и сейсмическим данным; бурение не менее двух разгрузочных скважин в сейсмоопасной зоне; определение действующих, в том числе остаточных напряжений в породном массиве и кернах горных пород неразрушающими методами [2,3].

Ha основе экспериментальных исследований нами выявлена закономерность изменения скорости поляризованных СДВИГОВЫХ волн от механического напряжения [10,16]. На основе ультразвуковых этой закономерности разработан неразрушающий поляризационноакустический метод определения действующих и остаточных напряжений [2, 18],позволяющий оперативно решать определению задачу ПО напряжений.

Формула закономерности имеет следующий вид:

$$\sigma_X = (\frac{V_{SOZ}}{V_{SZ}} - 1)K_Z ; \quad \sigma_Y = (\frac{V_{SOX}}{V_{SX}} - 1)K_X ;$$
$$\sigma_Z = (\frac{V_{SOY}}{V_{SY}} - 1)K_Y \quad (2),$$

где V_{SX} , V_{SY} , V_{SZ} – скорости поперечной (сдвиговой) поляризованной ультразвуковой волны по X, Y, Z соответственно; V_{SOX} , V_{SOY} , V_{SOZ} - скорости поперечной поляризованной волны по X, Y, Z при отсутствии напряжения (не нагруженное состояние, без остаточных напряжений); К – волновой модуль напряжения материала (название модуля наше), имеющий размерность напряжения.

Для изотропных материалов $K_x = K_y = K_z = K$. Для анизотропных (слоистых, кристаллических анизотропных) материалов значение волнового модуля напряжения **K** определяется по соответствующим направлениям из опытов прозвучивания при нагружениях и разгрузке образцов.

Выявление указанной закономерности и разработка поляризационноакустического метода определения напряжений стали возможными благодаря фундаментальным разработкам Ф.Ф.Горбацевича [17,19,20,21].

Другая важная задача - определение величины удельной минимальной и максимальной энергии разгрузки напряжений - Е_{V (min)},

Е _{V(max)}. Первоначальная минимальная удельная энергия разгрузки напряжений определяется по формуле [7]:

$$E_{1(\min)} = E_{V(\min)} \frac{4}{3} \pi \cdot r^3$$
 (3),

где r – радиус объема разгрузки (сферы, шара).

При этом необходимо соблюдать постепенное нарастание энергии взрыва (разгрузки), то есть неравенство:

$$E_{max} > E_2 > E_{1(min)}, r_{\mathcal{A}}e \quad E_{max} = E_{V(max)} \frac{4}{3}\pi \cdot r^3$$
 (4)

Количество заряда в каждом конкретном случае определяют исходя из этапа и объема разгрузки и с учетом сейсмобезопасности взрыва для близко расположенных сооружений и населенных территорий.

Преимущество и эффективность данных рекомендаций заключается в поэтапности разгрузки высоконапряженной части породного массива, возможности получения по скважинам данных минералогического состава и свойств горных пород для разведки полезных ископаемых. В данном случае обеспечивается также возможность использования параметров сейсмических волн взрывов для исследования строения и состава породного массива на общирных объемах, снижения риска и ущерба от тектонических горных ударов и землетрясений в сейсмоактивных регионах.

Для разгрузки напряжений по данной технологии, наряду с промышленным взрывом было рекомендовано также применение глубинных ядерных взрывов [7].

Применение ядерных взрывов по данной технологии для разгрузки напряжений и предупреждения тектонических землетрясений желательно для конверсии и утилизации накопленного ядерного арсенала и использования этого опасного оружия массового уничтожения людей в мирных целях во имя сохранения жизни сотни тысяч людей от

сейсмических катастроф. Эта проблема стоит того, чтобы направить на ее решение усилия исследователей многих стран и принятия адекватных решений в рамках деятельности ООН, способствующих объединению интеллектуальных усилий.

Литература

- 1. Авершин С.Г. Горные удары. М.: Углетехиздат, 1959.– 234 с.
- Тажибаев К.Т., Тажибаев Д.К., Акматалиева М.С. Неразрушающий метод определения остаточных и действующих напряжений твердых материалов. В сб./ Труды международной конференции «Проблемы геомеханики и освоения недр» /Современные проблемы механики сплошных сред. Выпуск тринадцатый. «Гидрогазодинамика, геомеханика и геотехнологии». Г. Бишкек. 2011 г. – с.164-175.
- Тажибаев К.Т., Ташмаматов А.С. Способ определения остаточных напряжений в горных породах / Патент № 658 Кыргызской Республики. – Бишкек, 2004.
- Тажибаев К.Т. Условия динамического разрушения горных пород и причины горных ударов. – Фрунзе: Илим, 1989. – 179 с.
- 5. Айтматов И.Т., Тажибаев К.Т. Явление скачкообразного освобождения остаточных напряжений в горных породах: Диплом на научное открытие (Диплом № 90, № А-109 от 29.04.1998 г.), выданный Международной Ассоциацией авторов научных открытий и Российской Академией естественных наук (Москва), 1998.// Потоцкий В.В. Регистрация научных открытий (методология и практика). М.: МААНОИ, 2004.-356 с.
- 6. Тажибаев К.Т. О причинах и механизме горных ударов и землетрясений
 // Исследование, прогноз и предотвращение горных ударов: Материалы
IX Всесоюзной конференции по механике горных пород. – Бишкек, 1991. – С.139–167.

- Тажибаев К.Т., Тажибаев Д.К. Технологические меры предупреждения тектонических горных ударов и землетрясений. /Вестник Кыргызско-Российского славянского университета. 2007г. Том 7, №1. Бишкек. С.24-28.
- Тажибаев К.Т., Тажибаев Д.К. Механизм тектонических горных ударов, землетрясений и теоретическая модель их очагов / Сб. докл. международн. совещ. 14-16 апреля 2004 г. «Техногенная сейсмичность при горных работах: Модели очагов, прогноз и профилактика». – Ч.1. – Аппатиты, 2004 г., - с 185-196.
- Тажибаев К.Т. Концепция стационарной деформации литосферных плит, прогноз и предупреждения тектонических землетрясений. / Известия Национальный академии наук Кыргызской Республики. 2009 г. № 2. Бишкек. – с.47-57.
- Тажибаев К.Т. Закон изменения скорости прохождения поляризованной поперечной ультразвуковой волны от напряжения в твердых материалах и его применение./ Вестник КРСУ №11, том 11, 2011г. -с. 151-156
- 11. Касахара К. Механика землетрясений. М.: Мир, 1985. 263 с.
- 12. Рикитаки Т. Предсказание землетрясений, М.: Мир, 1979. 335 с.
- 13. Шрепп Б.В., Квочкин В.А., Бояркин В.И. и др. Исследование закономерностей динамических явлений в зоне влияния очистных работ Таштагольского рудника // Прогноз и предотвращение горных ударов при разработке рудных месторождений / Матер. 5-го координац. совещ. по пробл. горных ударов на рудных месторождениях. – Фрунзе, 1986. – 67-68.

- Предсказание землетрясений // Сб. статей и материалов по разработке проблемы предсказаний землетрясений / Отв. ред. Е.Ф.Саверенский. – Мир, 1968. –с.213.
- 15. Асада Т, Исибаси К., Матсуда Т. и др. Методы прогноза землетрясений их применение в Японии (пер. с англ.). М.: Недра, 1984. с.312.
- 16. Тажибаев К.Т., Тажибаев Д.К., Акматалиева М.С. Закономерность изменения относительной величины скорости прохождения ультразвуковой поляризованной сдвиговой волны от механического напряжения в твердых материалах (закон Кушбакали) /Диплом № 453 на научное открытие от 3 октября 2013 года, г. Москва. Международная академия авторов научных открытий и изобретений, Российская академия естественных наук. //Научные открытия -2013. Сборник кратких описаний. –М.РАЕН, 2014г. –С 48-50.
- Горбацевич Ф. Ф. Акустополяризационные измерения характеристик анизотропии горных пород. –Апатиты: Кольский Научный Центр РАН, 1985. – 30с.
- 18. Тажибаев К.Т., Тажибаев Д.К., Акматалиева М.С. Способ определения остаточных и действующих напряжений в твердых материалах / Патент на изобретение КР № 1826, от 29.01.2016 г.
- Горбацевич Ф.Ф. Акустополярископия горных пород. Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 1995. - 204 с.
- Горбацевич Ф.Ф. Акустополярископия породообразующих минералов и кристаллических пород. - Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2002. - 140 с.
- 21.Авт. свид. № 1281993. Акустополярископ для измерения упругости образцов твердых сред / Горбацевич Ф.Ф., СССР, МКИ G01N 29/04. Бюлл. изобр., 1987. No.1.

НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ГОРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИХ УДАРОВ И ТЕХНОГЕННЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА РУДНИКАХ РОССИИ

Ловчиков А.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты, Россия, vocson@goi.kolasc.net.ru

SOME REGULARITY OF DEVELOPING PROCESS OF MOUNTAIN-TECTONIC ROCK BURSTS AND TECHNOGENIC EARTHQUAKES ON ORE MINES OF RUSSIA

Lovchikov A.V.

Mining Institute of the Kola Science Centre RAS, Apatity, Murmansk region, Russia, <u>vocson@goi.kolasc.net.ru</u>

В российской горно-технической литературе различают два вида наиболее мощных динамических проявлений горного давления в рудниках: горно-тектонические удары (ГТУ) и техногенные землетрясения (ТЗ) [1].

Горно-тектонический удар – мгновенное разрушение массива большой мощности по тектоническому нарушению, или по вновь образовавшейся трещине, под влиянием горных работ, вызывающее разрушение целиков и выработок, как правило, на больших площадях. Горно-тектонический удар сопровождается сильным сотрясением массива, резким звуком, образованием пыли и воздушной волной в горных выработках. **Техногенное землетрясение** – это динамическая подвижка пород большой мощности по тектоническому нарушению, спровоцированная проведением горных работ, вызывающая сильное сотрясение массива, поверхности и горных выработок, способная вызвать в горных выработках разрушение пород и крепи в ограниченных масштабах.

Если при горно-тектоническом ударе очаг явления располагается непосредственно в горных выработках, то при техногенном землетрясении очаг располагается за пределами выработок, в массиве, или только частично, в пределах выработок. Как показывает практика отработки удароопасных месторождений России, энергетический класс техногенных землетрясений и горно-тектонических ударов составляет $k=6\div12$ (величина магнитуд $M_L=1\div5$). Наибольшую опасность в рудниках вызывают горнотектонические удары, так как вызывают значительные разрушения горных выработок и целиков и даже жертвы среди горно-технического персонала. Так при горно-тектоническом ударе на руднике «Умбозеро» Ловозерского 17.08.1999 $(M_L=5.1)$ редкометального месторождения Γ. площадь разрушенных выработок составила 650 тыс. м². Рудник был полностью месяца. К тому же горно-тектонические удары 3 остановлен на аппаратурными современными И методическими средствами не прогнозируются.

Горно-тектонические удары по силе (мощности), как правило, сильнее, чем техногенные землетрясения. В частности, сильнейший горнотектонический удар на Хибинском апатитовом месторождении 16.04.1989 г. имел магнитуду $M_L=4.3$ (энергетический класс k=10.5), а сильнейшее техногенное землетрясение на том же Кировском руднике апатитового 21.10.2010 Г. произошло c магнитудой $M_L = 3.8$ месторождения (энергетический класс *k*=9.7) [1]. Аналогичное соотношение энергии ГТУ и ТЗ имеет место на Ловозерском редкометальном месторождении, которое 90-х годах было наиболее В геодинамически активным

месторождением в России [2]. На рис. 1 приведена гистограмма распределения сильнейших сейсмических событий в массиве Ловозерского месторождения, отрабатываемого рудниками «Карнасурт» и «Умбозеро» за период 1991-2010 гг. Из 245 событий, обозначенных на рис. 1, происшедших в пределах и вблизи шахтных полей рудников «Карнасурт» и «Умбозеро», только 8 из них, то есть меньше 5%, явились горно-тектоническими ударами с магнитудой $M_L > 2$, разрушившими горные выработки. К их числу отнесен и сильнейший за всю историю эксплуатации российских рудников горно-тектонический удар 17.08.1999 г. (M_S =4.7; M_L =5.1), разрушивший выработки рудника «Умбозеро» на



Рис. 1. Гистограмма распределения по годам сейсмических событий с $M_L>1$ в массиве Ловозерского месторождения за период 1991-2010 гг.^{*/}

площади 650 тыс. м². Судя по имеющимся литературным данным, на других удароопасных месторождениях России соотношение ГТУ и ТЗ не превышает приведенного выше показателя для Ловозерского месторождения.

Из практики отработки удароопасных рудных месторождений России установлено, что наибольшее количество ГТУ и ТЗ, за

^{*/} В 1994, 1995 гг. и после 2004 г. рудник «Умбозеро», в массиве которого происходило большинство сейсмических событий, не работал.

исключением солевых месторождений, происходит на месторождениях, в массивах которых действуют гравитационно-тектонические поля напряжений. В табл. 1 приведена характеристика естественного напряженного состояния массивов наиболее удароопасных месторождений России, количественное описание сильнейших ГТУ и ТЗ которых дано в работе [1].

Таблица 1

Месторождение	Максимальные	Отношение вертикальной
(рудник)	горизонтальные	и максимальной
	напряжения в массиве,	горизонтальной
	МПа	компонент напряжений в
		массиве
Хибинское	$20 \div 80$	$1:3\div 20$
(Кировский)		
Ловозерское	$40 \div 70$	1 : 5 ÷ 10
(Умбозеро)		
Северо-Уральские	25 + 50	1 . 2 . 2 5
бокситовые рудники	25 - 50	$1 \cdot 2 \div 2.5$
Таштагольское	60 ÷ 90	1:2÷5

Характеристика естественного напряженного состояния массивов наиболее удароопасных месторождений России [3]

Как видно из данных табл. 1, в массивах наиболее удароопасных месторождений России действуют резко-неравномерные по направлениям в пространстве гравитационно-тектонические поля напряжений, в которых вертикальная компонента главных напряжений, обусловленная весом толщи налегающих пород, является наименьшей по абсолютной величине. Если табл. 1 принять BO внимание, ЧТО на перечисленных В месторождениях прочность пород на сжатие обычно имеет значение $\sigma_{\rm c}$ =(50÷200) МПа, а в большинстве случаев близка к 100 МПа, а также минимальное значение коэффициента концентрации тектонических напряжений вокруг горных выработок $k=2\div3$, то очевидно, что вблизи контура выработок этих месторождений выполняется условие реализации динамических проявлений горного давления в форме горного удара [3]:

$$\sigma_{\rm g} \ge 0.8 \,\sigma_{\rm c} \tag{1},$$

где $\sigma_{\rm d}$ – максимальные действующие напряжения вблизи контура выработок; $\sigma_{\rm c}$ – прочность пород при сжатии.

Таким образом, очевидно, что тектонические поля напряжений, действующие в массивах на рассматриваемых месторождениях, являются главной причиной горных и горно-тектонических ударов. Тектонические силы создают такой уровень напряжений вокруг выработок, который при чисто гравитационном напряженном состоянии массива был бы достигнут на глубине 2-3 км от поверхности. В результате анализа горнотектонических ударов на удароопасных рудниках установлено несколько закономерностей их проявления.

1) Мощность и частота горно-тектонических ударов зависит от горно-геологических условий месторождения. Наиболее сильные ГТУ месторождениях, отрабатывающих происходят на пологопадающие месторождения камерно-целиковыми системами разработки [4]. На мощных наклонных и крутопадающих месторождениях (Хибинское апатитовое, Таштагольское железорудное) максимальные сейсмические события по энергии и последствиям на порядок или на несколько порядков Объясняется меньше. ЭТО тем обстоятельством, ЧТО на мощных месторождениях процессы очистной выемки руд осуществляются с помощью массовых взрывов в закрытом пространстве, без присутствия людей. К тому же массовые взрывы на таких месторождениях

периодически «встряхивают» массив, вызывая диссипацию накопленной сейсмической энергии.

2) Мощность (энергия) горно-тектонических ударов не зависит от объема вынимаемой горной массы, глубины горных работ и производительности рудников. Главным фактором, способствующим возникновению ГТУ и ТЗ в рудниках, следует считать объем горных масс, вовлекаемых горными работами в процессе деформирования.

3) Проявления горно-тектонических ударов носят очаговый характер, поскольку размеры разрушенных ими участков составляют только часть имеющихся выработок – не более 50% от их общей площади (объема). Очаг – это часть массива горных пород рудника, на которой, в результате горно-тектонического удара, проявились неупругие деформации пород, – обрушения, трещины, разрушения. Ha вывалы, удароопасных месторождениях размеры очага устанавливаются В результате документирования выработок после происшедшего обследования и события. Очаговый характер проявлений горно-тектонических ударов свидетельствует о накоплении потенциальной энергии в определенных зонах концентрации напряжений в массиве в пределах шахтного поля рудника, которая затем проявляется в виде разрушений выработок и явлений. Размер события динамических очага максимального характеризует способность массива накопить энергию в определенном объеме и количестве, которая в дальнейшем может реализоваться в динамической форме. При этом процесс подготовки события может быть достаточно длительным и достигать десятков лет. То есть в массивах происходит достаточно длительная подготовка события, при которой под воздействием горных работ, периодических и циклических природных факторов в очагах накапливается потенциальная энрегия.

4) Установлено, что размер очага ГТУ и его энергия (мощность) взаимосвязаны, –чем более мощным является событие, тем больше размер

очага,. Для пологопадающих месторождений очаги ГТУ в горных выработках имеют в плане приблизительно прямоугольную (овальную) форму и выражаются размером площади разрушений (в плане) *S*, м². Если ввести условный показатель

$$L = \sqrt{S} \tag{2},$$

где *L* – поперечный размер очага, км;

S – площадь (в плане) разрушенных в руднике выработок, м², он будет выражать условный поперечный размер очага ГТУ, м.

Энергия землетрясений и горно-тектонических ударов выражается энергетическим классом [5]:

$$k = \ell g E \tag{3},$$

где *k* – энергетический класс события;

Е – сейсмическая энергия события, Дж.

Установлено, что между энергетическим классом горнотектонических ударов и размерами их очагов существует прямопропорциональная зависимость [6]:

$$k = 3.26L + 8.3$$
 (4),

где *k* – энергетический класс события;

L – поперечный размер очага, км.

График зависимости (4) между поперечными размерами очага и энергетическим классом горно-тектонических ударов приведен на рис. 2. Точками на графике показаны параметры сильнейших горнотектонических ударов на рудниках России [4].



Рис. 2. Зависимость между энергией горно-тектонических ударов и размерами разрушенного пространства в горных выработках.

5) Самые сильные горно-тектонические удары на Земле произошли на солевых рудниках. На солевых месторождениях, породам которых свойственно выравнивание напряжений под нагрузками, в массивах имеет место гидростатическое распределение напряжений:

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \gamma H \tag{5},$$

где σ_1 , σ_2 , σ_3 – компоненты главных напряжений в массиве;

 γ – объемный вес покрывающих пород, т/м³;

Н – глубина горных работ.

А.А. Маловичко с соавторами получена следующая зависимость между площадью обрушения и магнитудой сейсмического события в солевых рудниках [7], аналогичная формуле (4):

$$\log S_{\rm d} = 0.8M - 3.90$$
 (6),

где S_d – площадь обрушения, км²; M – магнитуда события (M_L или m_b). Однако в работе [7] не учтена глубина горных работ, которая, как это видно из выражения (5), играет на солевых месторождениях важную роль.

На основании анализа горно-тектонических ударов на солевых рудниках в мире [8] нами получена следующая эмпирическая зависимость мощности сейсмического события от глубины разработки:

$$M_L = 0.0026H + 3.35$$
 (7),

где M_L – магнитуда события (по Ч. Рихтеру);

Н – глубина горных работ, м.

График зависимости (7) показан на рис. 3. Точками на графике обозначены сильнейшие сейсмические события на солевых рудниках мира, перечень которых приведен в работе [8]. Формула (7) показывает прямопропорциональную зависимость мощности сейсмического события при обрушении в солевом руднике, выраженной магнитудой M_L , от глубины разработки.



Рис. 3. Зависимость магнитуды сейсмического события на солевых рудниках от глубины разработки.

6) В последнее время появились сообщения о самом сильном техногенном землетрясении на Земле – Бачатское землетрясение 18.06.2013 г. с магнитудой M_L =6.1 [9]. Землетрясение произошло под Бачатским угольным карьером в Кемеровской области России на глубине 6-10 км от поверхности [9, 10]. Бачатский карьер имел следующие размеры: длина – 10 км, ширина – 2.2 км, глубина – 320 м, производительность – 9 млн т угля в год. Поскольку техногенные землетрясения в карьерах относятся к категории редких, и даже исключительных проявлений техногенной сейсмичности, а Бачатский карьер не относится к числу больших и глубоких, нами была решена

численными методами специальная задача о распределении напряжений в массиве вокруг карьера. Оказалось, что выемка угля и породной массы Бачатским карьером ни в коей мере не могла спровоцировать техногенное землетрясение, тем более такой мощности (M_L =6.1). В то же время расположение карьера в 8-бальной по сейсмичности зоне, активные горные работы в Кузбассе с применением массовых взрывов (на территории Кузбасса расположены свыше 100 шахт и карьеров) способствовали проявлению сейсмичности. Поэтому Бачатское землетрясение скорее можно отнести к природным, либо природно-техногенным, но не к техногенным проявлениям сейсмичности. Сильнейшими в мире и в России сейсмическими событиями техногенными остаются те, которые перечислены в работе [8].

Литература

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

2. А.В. Ловчиков. Оценка относительной геодинамической опасности удароопасных рудных месторождений по энергии сейсмопроявлений при их разработке. В кН. Техногенная сейсмичность при горных работках: модели очагов, прогноз, профилактика. Ч. 2. Сб докладов Международного совещания (Кировск, Мурманская обл., Россия, 14-16.04.2004 г.). Апатиты, Изд. КНЦ РАН, 2004, С. 86-94.

3. Ловчиков А.В. Горно-тектонические удары на российских рудниках: статистика и некоторые закономерности. Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, №2, 1997 г., С. 22-32.

4. А.В. Ловчиков. Оценка геодинамической опасности месторождений по энергии сейсмических проявлений в рудниках. Горный журнал, 2004, №10, С. 43-47.

5. Задание сейсмических воздействий. М. Наука, 1993, 156 с. (Вопросы инженерной сейсмологии, Вып. 34).

6. Ловчиков А.В. Параметры очагов сильнейших горно-тектонических ударов на рудниках России. Горный журнал, 2000, №2, С. 9-11.

7. A.A. Malovichko, D.A.Malovichko, R.A. Dyagilev, D.Y. Shulakov. Keynote Lecture: Multi-scale seismicity at potash mines. Fifteen years of the seismic monitoring at Verkhnekamskoye deposit. Proceeding of the 8th international symposium on Rockbursts and Seismicity in Mines (RaSim 8). Geophisical Survay of Russian Academy of Sciences, Mining Institute of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Obninsk-Perm, 2013, p.p. 463-473.

8. Ловчиков А.В., Кузьмин И.А. Закономерности проявления техногенных землетрясений на зарубежных и отечественных рудниках. «Геомеханика в горном деле: доклады Международной конференции 19-21 ноября 2002 г. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2003, С. 191-200.

9. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В. и др. Техногенная сейсмичность разрезов Кузбасса (Бачатское землетрясение 18 июня 2013 г.) Физикотехнические проблемы разработки полезных ископаемых, №2, 2014, С. 41-46.

10. А.А. Маловичко, М.В. Коломиец, А.И. Рузайкин. Сейсмичность России в 2013 году. Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология. Номер 3, май-июнь 2015 г., С. 257-266.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект №15-05-04323.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Коваленко М.Д., Меньшова И.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики Российской академии наук», г. Москва, Россия

THE MATHEMATICAL THEORY OF A RESIDUAL STRESSES

Kovalenko M. D., Menshova I. V.

Institute of Earthquake Prediction Theory and Mathematical Geophysics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Введение. В ряде статей Y. Okada [1, 2] были опубликованы собранные им из разных источников, отредактированные и исправленные аналитические решения теории упругости для полупространства с разрывом сплошности (трещиной). Эти решения весьма ценны, в силу того, что они записываются в замкнутом виде. Строгие, в рамках классической решения полупространства теории упругости, ДЛЯ имеют ОДИН существенный недостаток (впервые на это было указано Д.И. Шерманом в 1940 г. [3]). Он заключается в следующем. Плоская до деформации свободная поверхность полупространства останется свободной от внешних напряжений и после образования разрыва только в том случае, если она попрежнему будет плоской. В противном случае (теперь уже неплоская после образования разрыва) дневная поверхность не будет свободной. Возникающие на ней (а фактически отсутствующие) напряжения будут

сопоставимы с напряжениями на разрыве, если трещина расположена достаточно близко к поверхности полупространства. Это приводит к существенному (до 100%) искажению истинной картины напряженнодеформированного состояния. Авторам удалось получить аналитические решения (в виде рядов функций Фадля-Папковича), описывающие физически правдоподобную деформацию полупространства, при которой его дневная поверхность, естественным образом деформируясь В результате образования трещины, остается свободной от внешних напряжений. Для этих решений не выполняется условие совместности деформаций, и они неединственны. Впервые на неединственность решения краевых задач теории упругости в конечных областях с сингулярной границей указал Е.И. Шемякин (1996 г.) [4]. Примеры решения основных и смешанных задач в прямоугольнике, полученные авторами подтвердили, что это действительно так и позволили понять физическую природу неединственности. Из неединственности решения, как следствие, вытекает существование собственных (остаточных, начальных) самоуравновешенных напряжений и соответствующих им деформаций, не обусловленных внешними нагрузками. Теория остаточных напряжений – одна из важнейших проблем теории упругости. Многолетние усилия построить ее оставались безуспешными. На самом деле, она является простым следствием неединственности решения краевых задач теории упругости в конечных областях с угловыми точками границы или точками смены типа граничных условий. Невыполнение условий совместности деформаций означает лишь то, что свободная от нагрузок, плоская до образования разрыва граница полупространства, не остается плоской после сброса остаточных напряжений, а каким-то образом искривляется, оставаясь при этом свободной, что вполне соответствует реальной физической картине.

Постановка задачи и метод ее решения. Рассмотрим кратко существо теории [5]. Пусть в прямоугольнике $\{P : | x | J d, | y | J h\}$ имелось некоторое поле остаточных напряжений, которые затем сбрасываются (частично или полностью) с образованием разрыва. Граничные условия на сторонах прямоугольника могут быть разными: стороны могут быть свободны, часть сторон может быть жестко защемлена и т.д. Если известны смещения сторон прямоугольника после образования разрыва, его форма или величина сброшенных напряжений на разрыве, то можно восстановить исходное поле остаточных напряжений во всем прямоугольнике. В этом сообщении, для простоты, рассматривается прямоугольник со свободными сторонами. Предполагается, что первоначальное поле остаточных напряжений симметрично относительно центральных координатных осей.

Задачи в такой постановке, насколько нам известно, не решались и, наверное, не ставились, поскольку теории остаточных напряжений практически нет, за исключением нескольких публикаций, в которых даются примеры подобранных определенным образом напряжений, равных нулю на сторонах прямоугольника, удовлетворяющих уравнениям равновесия, но не удовлетворяющим условию совместности деформаций [6-8].

Предыстория вопроса такова. Интерес к решениям краевых задач теории упругости в канонических областях с угловыми точками границы, в частности, в прямоугольнике, не утихал никогда, достигнув пика в 1940-1980 годы. В первую очередь благодаря советской школе математики и механики. В эти годы было опубликовано множество работ. Последний обзор В.В. Мелешко [9], содержит более 700 ссылок на наиболее существенные исследования за почти 200 лет. Можно выделить несколько Их школ, которые сложились В эти годы в Советском Союзе. представителями были крупнейшие математики и механики тех лет. Ленинградская школа – это Папкович П.Ф., Лурье А.И., Гринберг Г.А.,

Джанелидзе Г.И., Прокопов В.К., Нуллер Б.М. и другие. Московская щкола: Гусейн-Заде М.И., Лурье С.А., Васильев В.В., Малый В.И., Зверяев Е.М. и многие другие. Ростовская-на-Дону школа под руководством Воровича И.И. Очень сильная и многочисленная украинская школа математиков и механиков: Гринченко В.Т., Улитко А.Ф., Гомилко А.М., Мелешко В.В. Сильные и яркие работы публиковались в Докладах Армянской, Азербайджанской, Грузинской АН. После 80-х годов заметных публикаций фактически не было. Западные работы были отрывочны и значительно слабее отечественных.

Суть проблемы довольно проста. Поясним ее на примере первой основной краевой задачи для полуполосы $\{P^+: 0 \ J \ x < I, |y|J h\}$: найти решение бигармонического уравнения в полуполосе, продольные стороны которой свободны, а на торце заданы нормальное и касательное напряжения. Решая задачу методом разделения переменных, приходим к проблеме определения коэффициентов разложений двух заданных на торце полуполосы функций в ряды по двум системам, так называемых, функций Фадля-Папковича – собственных функций краевой задачи. Эти разложения

имеют вид: $U(x,y) = C_0 + C_1 x + \mathop{\mathrm{e}}_{k=1}^{\Gamma} a_k x(l_k,y) e^{l_k x} + \overline{a_k} x(\overline{l_k},y) e^{\overline{l_k} x},$

$$V(x,y) = -nyC_1 + \mathop{\mathbf{e}}_{k=1}^{I} a_k c(l_k,y) e^{l_k x} + \overline{a_k} c(\overline{l_k},y) e^{\overline{l_k} x},$$

$$s_{x}(x,y) = 2(1+n)C_{1} + \frac{e}{e_{k=1}}a_{k}s_{x}(l_{k},y)e^{l_{k}x} + \overline{a_{k}}s_{x}(\overline{l_{k}},y)e^{\overline{l_{k}}x}, \qquad (1)$$

$$s_{y}(x,y) = \stackrel{\Gamma}{\underset{k=1}{\mathbf{e}}} a_{k}s_{y}(l_{k},y)e^{l_{k}x} + \overline{a_{k}s_{y}}(\overline{l_{k}},y)e^{\overline{l_{k}x}},$$
$$t_{xy}(x,y) = \stackrel{\Gamma}{\underset{k=1}{\mathbf{e}}} a_{k}t_{xy}(l_{k},y)e^{l_{k}x} + \overline{a_{k}t_{xy}}(\overline{l_{k}},y)e^{\overline{l_{k}x}}.$$

Стоящие под знаком суммирования функции $x(l_k, y), x(\overline{l_k}, y)$ и т.д. и есть функции Фадля-Папковича. U(x,y) = Gu(x,y); V(x,y) = Gv(x,y), u(x,y)и v(x,y) - соответственно перемещения по x (продольное) и по y(поперечное), G - модуль упругости при сдвиге, n - коэффициент Пуассона. Числа l_k - множество $\{\pm l_k, \pm \overline{l_k}\}_{k=1}^{\Gamma}$ всех комплексных нулей целой функции экспоненциального типа

$$L(l) = l^{2} \frac{3}{31} + \frac{\sin 2l h}{2l h} \frac{1}{41}$$
(2)

 C_0, C_1, a_k - неизвестные коэффициенты разложений, причем C_0 и C_1 отвечают нулевым корням характеристического уравнения L(l) = 0 и соответствуют элементарному решению сопротивления материалов, а a_k, a_k - его комплексным корням l_k и $\overline{l_k}$ соответственно.

Функции Фадля-Папковича в случае симметричной деформации полуполосы со свободными продольными сторонами выглядят следующим образом:

$$\begin{aligned} x(l_{k},y) &= -\lim_{\mathbf{H}} \frac{2}{2} l_{k} h \cos l_{k} h - \frac{1-n}{2} \sin l_{k} h \lim_{\mathbf{H}} \cos l_{k} y + \frac{1+n}{2} l_{k} y \sin l_{k} h \sin l_{k} y \lim_{\mathbf{H}}^{\mathbf{H}} \\ c(l_{k},y) &= \frac{34+n}{2} l_{k} h \cos l_{k} h + \sin l_{k} h \lim_{\mathbf{H}} \sin l_{k} y - \frac{1+n}{2} l_{k} y \sin l_{k} h \cos l_{k} y, \\ s_{x}(l_{k},y) &= (1+n) l_{k} \lim_{\mathbf{H}} \sin l_{k} h - l_{k} h \cos l_{k} h) \cos l_{k} y - l_{k} y \sin l_{k} h \sin l_{k} y \lim_{\mathbf{H}} (3) \\ s_{y}(l_{k},y) &= (1+n) l_{k} \lim_{\mathbf{H}} \sin l_{k} h + l_{k} h \cos l_{k} h) \cos l_{k} y + l_{k} y \sin l_{k} h \sin l_{k} y \lim_{\mathbf{H}} (3) \\ t_{xy}(l_{k},y) &= (1+n) l_{k} \lim_{\mathbf{H}} \sin l_{k} h + l_{k} h \cos l_{k} h) \cos l_{k} y - y \sin l_{k} h \cos l_{k} y. \end{aligned}$$

Удовлетворяя с помощью выражений (1) заданным на торце полуполосы нормальным s(y) и касательным t(y) напряжениям,

приходим к задаче определения коэффициентов *a_k* из краевых разложений:

$$s(y) = 2(1+n)C_{1} + \mathop{\mathbf{e}}_{k=1}^{f} a_{k}s_{x}(l_{k},y) + \overline{a_{k}}s_{x}(\overline{l_{k}},y);$$

$$t(y) = \mathop{\mathbf{e}}_{k=1}^{f} a_{k}t_{xy}(l_{k},y) + \overline{a_{k}}t_{xy}(\overline{l_{k}},y).$$
(4)

Заметим, что в том случае, когда на продольных сторонах полуполосы заданы условия периодичности, собственными функциями будут обычные тригонометрические системы функций так, что в этом случае краевая задача сводится к разложениям двух (заданных на торце полуполосы) функций в тригонометрические ряды Фурье. Используя свойство ортогональности тригонометрических рядов, коэффициенты искомых разложений легко находятся. Так получаются хорошо известные решения Файлона-Рибьера.

Функции Фадля-Папковича устроены значительно сложнее тригонометрических рядов: они комплекснозначны и не ортогональны. Но главная их особенность заключается в том, что они не образуют базиса на котором отрезке, на задаются раскладываемые функции (торцы прямоугольника). Поэтому получить явные формулы для коэффициентов разложений по функциям Фадля-Папковича на основе классических функций невозможно. методов теории базиса Были предложены многочисленные приемы определения коэффициентов разложений по неортогональным системам функций Фадля-Папковича. Однако почти все они, так или иначе, сводились к приближенному определению искомых коэффициентов бесконечной, ИЗ нераспадающейся системы алгебраических уравнений.

Основой рассматриваемого метода служит обобщение классического понятия базиса функций на отрезке. Если классический базис на отрезке

можно рассматривать как сужение базиса в комплексной плоскости (цикл работ А.Ф. Леонтьева, Ю.Ф. Коробейника [10-11]), то функции Фадля-Папковича образуют базис на римановой поверхности логарифма. К ним можно построить, определенные здесь, биортогональные системы функций и затем найти коэффициенты разложений. Полученные так решения названы точными, поскольку они строятся по той же схеме, что и решения Файлона-Рибьера, а искомые коэффициенты разложений определяются явно (а не как решение бесконечной системы алгебраических уравнений). Более того, если комплексные собственные числа в полученных точных решениях краевой задачи устремить к числам kp (k = 1, 2, ...), то функции Фадля-Папковича превращаются в обычные тригонометрические функции, а сами решения — в решения Файлона-Рибьера.

В статье [12] было впервые получено точное решение краевой задачи для полуполосы со свободными продольными сторонами и заданными на ее торце напряжениями. Оказалось, что оно не единственно. Вычитая одно решение из другого, получаем нетривиальное решение в полуполосе со свободными продольными сторонами и торцом, которое удовлетворяет уравнениям равновесия, но не удовлетворяет условиям совместности деформаций. Такие решения описывают остаточные напряжения.

Приведем, для иллюстрации, решение, описывающее симметричное относительно осей x, y поле остаточных напряжений в бесконечной полосе, когда ее продольные стороны свободны, а на отрезке x = 0, |y|J h известны, например, нормальные $s_x(0,y) = s(y)$ и касательные напряжения, которые, для простоты, будем считать равными нулю $(t_{xy}(0,y) = 0)$. Тогда остаточные напряжения в бесконечной полосе будут следующими:

$$s_{x}(x,y) = \prod_{k=1}^{T} 2\operatorname{Re} \left[s_{k} \frac{s_{x}(l_{k},y)}{M_{k}} \right]_{\mathrm{M}}^{\mathrm{K}} \cos b_{k}x - c_{k} \frac{\sin b_{k}x}{b_{k}} \left[e^{c_{k}x} \right]_{\mathrm{M}}^{\mathrm{H}},$$

$$s_{y}(x,y) = -\frac{\Gamma}{e} 2\operatorname{Re} \left[s_{k} \frac{s_{y}(l_{k},y)l_{k}\overline{l_{k}}}{M_{k}l_{k}^{2}} \right]_{\mathrm{M}}^{\mathrm{K}} \cos b_{k}x + c_{k} \frac{\sin b_{k}x}{b_{k}} \left[e^{c_{k}x} \right]_{\mathrm{H}}^{\mathrm{H}},$$

$$t_{xy}(x,y) = -\frac{\Gamma}{e} 2\operatorname{Re} \left[s_{k} \frac{t_{xy}(l_{k},y)}{l_{k}M_{k}} l_{k}\overline{l_{k}} \frac{\sin b_{k}x}{b_{k}} e^{c_{k}x} \right]_{\mathrm{H}},$$

$$M_{k} = \cos^{2} l_{k}.$$

$$(5)$$

Числа *s_k* - аналоги коэффициентов Фурье – находятся, как интегралы Фурье от заданной граничной функции:

$$s_k = \frac{1}{T_h} s(y) \frac{\cos l_k y}{2(1+n)l_k h \sin l_k h} dy.$$
 (6)

Для решения краевых задач с разрывами и точками смены типа граничных условий вводятся две функции [5]:

$$F(l,y) = -t_{xy}(l,y) + \frac{i}{2}[s_y(l,y) - s_x(l,y)],$$

$$Y(l,y) = (1+n)\frac{dx(l,y)}{dy} - \frac{3+n}{2}t_{xy}(l,y) + is_y(l,y).$$
(7)

Их можно рассматривать, как обобщение систем экспонент, поскольку они имеют вид:

$$F(l, y) = (1 + n)l^{2}(ih\cos l h + y\sin l h)e^{il y},$$

$$Y(l, y) = (1 + n)l [i(l h\cos l h + \sin l h) + l y\sin l h]e^{il y}.$$
(8)

С помощью этих функций решение краевой задачи для полосы с разрывами перемещений можно сформулировать, как задачу о склеивании на линии разрыва функций $F^+(l,z)$, $Y^+(l,z)$ и, $F^-(l,z)$ $Y^-(l,z)$, аналитичных соответственно справа и слева от разрыва. Эта задача опять

сводится к разложениям по функциям Фадля-Папковича, коэффициенты которых определяются в явном виде. Например, если известна форма разрыва продольных перемещений U(y), образовавшегося на вертикальной оси x = 0, |y|Jh бесконечной полосы $\{|x| < \Gamma, |y|Jh\}$ в результате сброса остаточных напряжений, то окончательные формулы для напряжений в правой полуполосе будут такими:

$$s_{x}(x,y) = \prod_{k=1}^{I} 2\operatorname{Re} \prod_{k=1}^{I} \frac{s_{x}(l_{k},y)}{M_{k}} \frac{u_{k}}{\overline{l_{k}}} \frac{\operatorname{Im}(\overline{l_{k}}e^{l_{k}x})}{\operatorname{Im}(l_{k})} \frac{1}{9},$$

$$s_{y}(x,y) = \prod_{k=1}^{I} 2\operatorname{Re} \prod_{k=1}^{I} \frac{s_{y}(l_{k},y)}{l_{k}^{2}M_{k}} u_{k}l_{k} \frac{\operatorname{Im}(l_{k}e^{l_{k}x})}{\operatorname{Im}(l_{k})} \frac{1}{9},$$

$$t_{xy}(x,y) = \prod_{k=1}^{I} 2\operatorname{Re} \prod_{k=1}^{I} \frac{t_{xy}(l_{k},y)}{l_{k}M_{k}} u_{k}l_{k} \frac{\operatorname{Im}(e^{l_{k}x})}{\operatorname{Im}(l_{k})} \frac{1}{9},$$
(9)

$$u_{k} = \mathbf{T}_{1}^{1} U(y) \frac{1}{(1+n)} \prod_{k=1}^{M} \frac{k h \cos l_{k} y}{\sin l_{k} h} - \prod_{k=1}^{M} (y-1) + d(y+1) \prod_{k=1}^{M} dy,$$

k=1

d - дельта-функция.

Вырезая из бесконечной полосы прямоугольник Р и снимая на его торцах напряжения, с помощью техники решения краевых задач в [5], прямоугольнике полное решение, получим описывающее сбрасываемые остаточные напряжения и возникающие при ЭТОМ перемещения в прямоугольнике *P*. На рис.1 для узкого прямоугольника, длина которого в четыре раза меньше его ширины, показаны: 1) форма профиля разрыва (сплошная кривая); 2) поперечные перемещения на разрыве (штрих-пунктир – в прямоугольнике, пунктир – в бесконечной полосе). На рис. 2 показаны графики распределения продольных

нормальных напряжений, сбрасываемых на разрыве, т.е. при x = 0: сплошной кривой соответствуют напряжения в прямоугольнике, пунктиру – в полосе. Длина разреза 2d = 1, 6h. Построив точные решения в прямоугольнике, мы тем самым получили теорию, описывающую остаточные напряжения. Поскольку остаточные напряжения не удовлетворяют условиям совместности деформаций, то перемещения не определяются однозначно. Чтобы понять физический смысл этого факта, разрежем рассматриваемый прямоугольник {P : |x| | J d, | y | J h} вдоль оси Y.



Рис.1



Рис.2

Заменим получившиеся правый и левый прямоугольники на «почти прямоугольники» такие, что если к ним приложить некоторую массовую нагрузку, то они примут свой первоначальный вид (прямоугольников). Приложим нужную нагрузку, а затем склеим прямоугольники. В результате получим прямоугольник *P*, в котором есть поле остаточных напряжений такое, что на линии склейки нормальные напряжения $s_{x}(0,y) = s(y)$, а касательные $t_{xy}(0,y) = t(y)$. То, что перемещения определяются не единственным образом, означает следующее: существуют бесконечно профилей сторон много «почти прямоугольников», соединяемых в исходный прямоугольник, таких, что после их склеивания нормальные и касательные напряжения на линии склейки будут теми же. Ho напряжений поля остаточных внутри прямоугольника, соответствующие каждому профилю сторон, будут разными.

Собственные решения обладают тем свойством, что граничные условия для них выполняются строго на прямолинейных границах прямоугольника. Этим они принципиально отличаются от решений в классической постановке, в которых «граничные условия условно сносятся на недеформированную поверхность» Фактически это означает, что при этом либо добавляется недостающий материал, либо удаляется лишний. Это показал в 1940 г. Д. И. Шерман [3], предложив более строгое представление классического понимания граничных условий. Рассмотрим его суть на следующем примере.

Пусть дана полуполоса P⁺, продольные стороны которой свободны, а на торце заданы нормальные напряжения $s_x(0,y) = s(y)$ (для простоты касательные напряжения можно считать равными нулю, а функцию s(y) четной). Следуя Шерману, рассмотрим бесконечную плоскость $\{|x,y| \leq I \}$, в которой проведем два горизонтальных разреза $\{y = \pm h, |x| < \Gamma \}$ и вертикальный разрез $\{x = 0, |y| |J h\}$. Сделаем вкладки вдоль разрезов из того же материала, что и плоскость, которые непрерывно склеим со сторонами разрезов. Тогда формы вкладок можно подобрать так, что на осях горизонтальных вкладок нормальные и касательные напряжения будут равны нулю, а на оси вертикальной вкладки будем иметь: $s_x(0,y) = s(y), t_{xy}(0,y) = 0$. В результате, границы полуполосы прямолинейные до деформации остаются прямолинейными и после деформации. Именно благодаря этому, выполняются условия совместности деформаций.

Для корректной постановки краевой задачи в прямоугольнике нужно указывать: 1) как заданные на торцах прямоугольника граничные функции продолжаются на всю бесконечную прямую | у |< Г и 2) как решение продолжается через торцы прямоугольника. Таким образом, бесконечная плоскость как-бы замащивается прямоугольниками так, что на сторонах исходного прямоугольника выполняются требуемые граничные условия. Важно отметить, что при этом исчезает понятие угловой точки области, как таковой: теперь это просто линии пересечения вертикальных И горизонтальных сторон прямоугольника. Следовательно, исчезают все многочисленные проблемы, связанные с угловой точкой (например, неопределенность нормали в угловой точке), поскольку она становится подобной всем прочим точкам области: это бесконечно малый элемент, на котором граничная функция должна быть определена со всеми своими производными, как в направлении оси ${\mathcal X}$, так и в направлении оси ${\mathcal Y}$.

Необходимость продолжения граничных функций по у диктуется тем, что биортогональные к функциям Фадля-Папковича системы функций не финитны (определены на бесконечной прямой). Поясним второй пункт. Рассмотрим по-прежнему полуполосу P⁺ со свободными продольными сторонами, на торце которой напряжения

$$s_{x}(0,y) = s(y), t_{xy}(0,y) = 0 (|y| < h)$$
 (10)

Если решение из правой полуполосы продолжается в такую же левую, т.е. в полуполосу со свободными продольными сторонами, то напряжения в угловых точках полуполосы будут конечными, а если решение продолжается в левую полуполосу, продольные стороны которой жестко защемлены, но при этом все же выполняются условия (10), то напряжения в угловых точках x = 0, $|y| = \pm h$ будут иметь интегрируемые особенности. Таким образом, в угловую точку искусственно может вводиться особенность: благодаря выбору продолжения решения по координатным осям.

Заключение. Несмотря на довольно сложный математический аппарат, окончательные решения, описывающие остаточные напряжения, очень просты в применении. Доведение теории до состояния инструмента, необходимого при изучении остаточных напряжений, на наш взгляд, возможно только при условии совместной деятельности «теоретиков» и «практиков».

Литература

1. Okada, Y. Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space, Bull. Seism. Soc. Am.75. 1985. Pp. 1135–1154.

2. Okada, Y. Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, Bull. Seism. Soc. Am. 82. 1992. Pp. 1018–1040.

3. Шерман Д. И. Об одной задаче теории упругости // Доклады АН СССР. - 1940.-Т. 27. - С. 907-913.

4. Шемякин Е.И. О краевых задачах теории упругости для областей с угловыми точками (плоская деформация)// Доклады РАН. - 1996. - Т.347. №3. - С.342-345.

5. Коваленко М. Д., Меньшова И. В., Шуляковская Т. Д. Разложения по функциям Фадля-Папковича. Примеры решений в полуполосе // Известия РАН. Механика твердого тела. – 2013. - №5. – С. 136-158.

6. Годунов С.К., Роменский Е.И. Элементы механики сплошной среды. Новосибирск. Научная книга, 1998. 268с.

7. Гузев М.А., Ушаков А.А. Об одном классе ненулевых решений однородных уравнений равновесия механики деформируемого твердого тела // Фундаментальные и прикладные вопросы механики. Научная конференция, посвященная 70-летию со дня рождения акад. В.П. Мясникова. Владивосток. - 2006. - Доклад. - С.43-44.

Макаров В.В. Деформационные предвестники геодинамических явлений в массивах горных пород // Вестник дальневосточного государственного технического университета. - 2009. - №1(1). - С. 38 – 47.

 Meleshko, V.V. Selected Topics in the History of Two-Dimensional Biharmonic Problem // ASME report No AMR 341/ Appl. Mech. Rev. 2003.
 №1. Pp. 33-85.

10. Леонтьев А.Ф. Ряды экспонент. М.: Наука, 1976. 536 с.

Коробейник Ю.Ф. Представляющие системы // УМН. - 1981. Т.36, Вып. 1. - С. 73-126.

12. Коваленко М. Д., Шибирин С. Е. Полуполоса под действием сосредоточенной силы. Точное решение. // Доклады Академии наук. – 1997. - Т. 356. - № 6. – С. 763-765

ИЗУЧЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ И ФОРМИРОВАНИЕ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ РАЗЛИЧНОГО МАСШТАБА

Сашурин А.Д., Панжин А.А.

Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук (ИГД УрО РАН), г.Екатеринбург, Россия, E-mail: <u>panzhin@igduran.ru</u>

STUDY OF MODERN GEODYNAMIC MOVEMENTS AND FORMATION CATASTROPHIC SITUATION OF VARIOUS SCALES

Sashourin A.D., Panzhin A.A.

Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian academy of sciences (IM UB RAS), Ekaterinburg, Russia, E-mail: <u>panzhin@igduran.ru</u>

1. Постановка проблемы. В практике недропользования, включающей, наряду с деятельностью минерально-сырьевого комплекса по непосредственной добыче, переработке и транспортировке полезного ископаемого, создание и эксплуатацию многочисленных сооружений, зданий и коммуникаций на земной поверхности и в подземных условиях, не связанных с разработкой месторождений полезных ископаемых, нередко наблюдаются катастрофические геомеханические процессы, не находящие объяснения с позиций установившихся представлений о формировании исходного и вторичного напряженно-деформированных состояний массива горных пород.

В соответствии с современными представлениями, в оценке процессов, происходящих при недропользовании, массив горных пород

рассматривается как непрерывная относительно однородная среда, в которой под воздействием природных И техногенных факторов формируется, соответственно, непрерывное (неразрывное) поле деформаций. Допускается напряжений И неоднородность полей напряжений и деформаций за счет различного литологического состава, прочностных и деформационных свойств, составляющих массив горных пород. Но при этом априори предполагается неразрывность параметров напряжений и деформаций на контактах разнородных пород.

Столь же важным В современных представлениях является напряженно-деформированного формирование исходного состояния массива горных пород. По современным представлениям, оно определяется гравитационной и тектонической составляющей, которые сохраняют относительную стабильность во времени.

Таким образом. принципиальными положениями современных представлений о массиве горных пород как о среде, в которой осуществляется недропользование, являются ee сплошность И стабильность неразрывность, а также относительная BO времени напряженно-деформированного состояния, формируемого весом пород и тектоническими процессами. Вне сферы практического использования особенности находятся структурные массива горных пород, представляющего собой иерархически блочную среду, изменчивость тектонической составляющей напряженно-деформированного состояния под воздействием экзогенных и эндогенных факторов. Остаются без внимания также процессы и явления, возникающие в массиве горных пород вследствие взаимодействия этих двух фундаментальных свойств массива горных пород – иерархически блочной его структуры, постоянной подвижности и изменчивости напряженно-деформированного состояния.

В последнее время появились работы, в которых в тектонической составляющей выделяют названную авторами астрофизическую

[1]. активностью Солнца составляющую, которую связывают С признание Положительным аспектом ЭТОГО подхода является изменчивости части тектонических напряжений. Ho при ЭТОМ изменений гиперболизируется взаимосвязь напряженнодеформированного состояния с активностью Солнца, без учета десятков других факторов эндогенного и экзогенного характера, формирующих переменное напряженно-деформируемое состояние. Но по-прежнему ошибочные остаются неизменными основополагающие постулаты формирования напряженно-деформированного состояния – сплошность соответствующая ей неразрывность среды И напряженного И деформационного полей.

А между тем практика недропользования, как отмечено выше, изобилует случаями, когда катастрофические проявления геомеханических процессов и явлений вступают в противоречие с основополагающими постулатами современной геомеханики. Некоторые из них приведены в данной работе, и рассмотрены пути преодоления противоречий углублением представлений о геомеханических процессах и явлениях, происходящих в реальном массиве горных пород в его естественном исходном состоянии и под воздействием техногенной деятельности недропользования.

2. Методы исследований. Основными объектами исследований в рассматриваемой проблеме являются массив горных пород, его структура напряженно-деформированное состояние. Несмотря И на продолжительную историю научных исследований в этой области и важную роль соответствия бытующих представлений геомеханики о строении массива горных пород и его напряженно-деформированном состоянии реальности В обеспечении безопасности объектов недропользования, В научных представлениях И В нормативных документах существует огромный разрыв с реальной действительностью.

Исторически научные исследования напряженно-деформированного массива горных пород начались с конца XIX века с состояния эвристических гипотез А. Гейма и А. Н. Динника. Напряжения и деформации в них определялись весом налегающих пород. Разница заключалась лишь в том, что по гипотезе А. Гейма в породах, вследствие проявления пластичности, за геологически длительный период горизонтальные напряжения и деформации (боковой распор) уравнивались с вертикальными составляющими и массив приходил в гидростатическое напряженно-деформируемое состояние [2]. В гипотезе А. Н. Динника породы, несмотря на длительность периодов, сохраняли упругие свойства, вследствие чего горизонтальные напряжения и деформации определялись некоторым коэффициентом от вертикальных, зависящим от коэффициента Пуассона, то есть были несколько меньше вертикальных составляющих.

Эти различия не имели кардинального значения для дальнейшего развития научных представлений о массиве горных пород как о среде, на которой и в которой протекает основная деятельность, обобщенно Важными называемая недропользованием. И принципиальными постулатами, сохранившимися практически до настоящего времени, пооставались: сплошность прежнему массива И. как следствие, непрерывность или неразрывность напряженно-деформационных полей; относительная стабильность напряженно-деформированного состояния, допускающая изменения в длительных геологических процессах.

Первые экспериментальные результаты измерения напряжений в массиве горных пород, поколебавшие эти гипотезы, были получены Ж. Талобром на подземных сооружениях гидроэлектростанций Франции, а в отечественной горной практике Г. Н. Кузнецовым. В 60-70-е годы прошлого века произошел расцвет экспериментальных измерений напряженно-деформированного состояния массива горных пород на горных предприятиях, начало которому положили работы Н. Хаста.

Характерной особенностью этих исследований являлось использование пределах малых баз, В нескольких сантиметров, ДЛЯ измерения деформаций, которые на основе механики сплошной среды пересчитывались в напряжения. Следствием малых баз был огромный разброс в полученных результатах, создававший серьезные трудности в их научной интерпретации и в решении практических вопросов [3]. Тем не менее, итогом периода экспериментальных исследований, ЭТОГО основанным на обобщении огромного статистического материала, явилось всеобщее признание, что, кроме гравитационных составляющих, в массиве горных пород действуют дополнительные напряжения и деформации, Под получившие название тектонических. ЭТИМ наименованием подразумевались дополнительные к гравитационным составляющим силы деформации, обусловленные комплексом процессов и И явлений, происходившим в земной коре под воздействием многочисленных экзогенных и эндогенных факторов.

Внедрение в научные и практические представления тектонических факторов не поколебало приведенных выше основных постулатов. Массив горных пород оставался относительно стабильным и сплошным с неразрывным напряженно-деформационным полем.

Попытки нейтрализации разброса экспериментальных данных, базами порождаемых малыми измерения, предпринимались путем существенного увеличения баз измерения деформаций массива горных пород и земной поверхности [4]. Эффективности этого направления препятствовало отсутствие удовлетворительных средств измерения. Важную роль в этом вопросе сыграло создание технологий спутниковой геодезии. Применение их позволило проводить измерения деформаций на земной поверхности с большой точностью на любых базах [5,6]. Одновременно в сочетании с технологиями спутниковой геодезии появилась возможность использования геофизических методов

зондирования массива горных пород, позволяющего исследовать структурные особенности массива горных пород на исследуемом участке [7].

В соответствии с возможностями современных экспериментальных исследовании закономерностей формирования научных методов, В катастрофических процессов геомеханических использовались геодезические и геофизические методы. Деформационные процессы, происходящие в массиве горных пород верхней части земной коры и на земной поверхности, изучались методами спутниковой геодезии с постановкой дискретных серий наблюдений за изменением положения определения геодезических пунктов для трендовых современных движений. Определение параметров геодинамических цикличных движений осуществлялось современных геодинамических путем постановки кратковременных непрерывных наблюдений. Параллельно с геодезическими исследованиями деформационных процессов в области влияния объектов недропользования проводились геофизические горных Геофизическое исследования структуры массива пород. зондирование позволяло выявить параметры структурных нарушений, их положение, получить представление о состоянии слагающих пород.

3. Результаты исследований. Одним из катастрофических событий, подвергнутых исследованиям ПО приведенной методике, явилось нарушение грузовой железнодорожной станции, находящейся в области влияния подземной разработки Высокогорского железорудного месторождения шахтой «Магнетитовой». Наблюдательная станция, оборудованная на земной поверхности для мониторинга современных геодинамических движений, в течение нескольких лет фиксировала встречное движение соседних крупных структурных блоков. Процесс деформирования массива горных пород, фиксируемый наблюдательной станцией, завершился 01.10.2009 года подвижкой блоков с сейсмическим

событием магнитудой 2,3 балла с оседанием земной поверхности до 1,3 м и деформацией рельсовых путей.

Второй исследованный случай связан с развитием процесса сдвижения над изолированной Южной залежью Северопесчанского месторождения, кровля которого залегала на глубине 400 м. На начальной стадии отработки залежи при отработанной площади размером около 50 imes50 м на земной поверхности образовалась классическая полноценная мульда сдвижения с зонами обрушения, террас, трещин разрыва и плавных деформаций. В соответствии с классическими методами прогнозирования, процесс сдвижения должен был происходить без образования зоны обрушения лишь при отработке всей залежи, простирание которой составляло 250 м. Наблюдательная станция, оборудованная в районе фиксировала депрессионные процессы формирования залежи, напряженно-деформированного центробежной состояния 3a счет направленности современных геодинамических движений.

В качестве третьего случая аномального развития геомеханического процесса выступает деформирование юго-западного борта Качарского карьера, угол откоса которого находился в пределах 30°. Исследованиями современных геодинамических движений зафиксировано, что этот участок борта оказался в зоне взаимно перпендикулярного смещения двух соседних структурных блоков, создававшего концентрацию сжимающих деформаций и напряжений.

4. Рассмотрение Приведенные результатов. случаи катастрофических геомеханических событий объектах на недропользования С различными горно-геологическими условиями свидетельствуют об аномальных параметрах напряженнодеформированного состояния, формирование которых является следствием вторичного структурирования иерархически блочного массива горных пород воздействием постоянной подвижности, обусловленной под

современными геодинамическими движениями. Механизм формирования структуры напряженно-деформированного состояния мозаичной под воздействием современных геодинамических движений схематически показан на рис. 1. При этом развитие катастрофических процессов в одинаковой мере возможно как в зонах концентрации сжимающих напряжений и деформаций, так и депресивных зонах, где происходит снижение сжимающих напряжений деформаций И вплоть до возникновения растягивающих значений.



Рисунок 1. Схема формирования аномальных зон напряженнодеформированного состояния

Вид катастрофических событий и процессов на объектах недропользования зависит от того, в какую зону мозаичного напряженнодеформированного состояния они попадают. Так, первые два случая соответствуют депрессионным зонам. На Высокогорском месторождении депрессионное напряженно-деформированное состояние, возникшее в результате подвижки, вызвало проседание массива и земной поверхности. Над Южной залежью оно обеспечило свободное обрушение массива до земной поверхности. Третий случай на Качарском карьере, в отличие от первых двух, был обусловлен концентрацией напряженнодеформированного состояния за счет надвига друг на друга соседних структурных блоков с нарушением целостности массива горных пород, слагающих юго-западный участок борта карьера.

5.Заключение. Из результатов проведенных исследований вытекают следующие выводы:

1. Катастрофические геомеханические процессы на объектах недропользования являются следствием формирования в массиве горных пород зон с аномальными параметрами напряженно-деформированного состояния.

2. В массиве горных пород, представляющем собой иерархически блочную среду, под влиянием современных геодинамических движений происходит вторичное структурирование, создающее мозаичную структуру поля напряженно-деформированного состояния с различными параметрами напряжений и деформаций.

3. Возникновение катастрофических событий на объектах недропользования возможно как в зонах концентрации напряжений и деформаций, так и в депрессионных зонах, где происходит разгрузка массива горных пород.

4. Основным источником формирования катастрофических процессов на объектах недропользования являются дискретность и мозаичность полей напряженно-деформированного состояния в результате вторичного структурирования иерархически блочного массива под воздействием современных геодинамических движений.
Литература

1. Зубков А.В. Закономерности формирования напряженного состояния массива горных пород в верхней части земной коры // Литосфера. 2015. № 6. С. 116-129.

2. Heim A. Mechanismus der Gebirgsbildung. Bale. 1878.

3. Исследование структуры поля напряжений в крепких горных породах и ее влияние на результаты натурных измерений / А. Д. Сашурин, Н. П. Влох, А. В. Зубков, Я. И. Липин, В. Е. Боликов // Измерение напряжений в массиве горных пород. Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1972. С. 136-143.

4. Сашурин А. Д. Измерение напряженного состояния массива крепких горных пород на больших базах // Измерение напряжений в массиве горных пород. Ч. І. Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1976. С. 106-111.

5. Панжин А. А. Деформационный мониторинг породных массивов на больших пространственно-временных базах // Геомеханика в горном деле: Доклады Всероссийской конференции, 10 – 11 окт. 2008 г. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2008. С. 75-86.

6. Сашурин А. Д., Панжина Н. А. Геодинамика и безопасность освоения и эксплуатации георесурсов // Проблемы индустриальноинновационного развития горнодобывающих отраслей промышленности и мировая геополитика освоения хризотилового волокна: материалы Пятой междунар. научно-практ. конф., 13-15 окт. 2010 г. / ИГД им. Д. А. Кунаева. Алматы, 2010. С. 207-211.

7. Геодинамический фактор в формировании депрессионнодеструктивных областей в массиве горных пород / А. Д. Сашурин, С. В. Усанов, В.В. Мельник и др. // Нелинейные гео- механико-геодинамические процессы при отработке месторождений полезных ископаемых на больших глубинах: 2-я Российско-Китайская научная конференция, 02-05 июля 2012 г. Сб. тр. № 4. Новосибирск: ИГД СО РАН, 2012. С. 256-260.

ТЯНЬ-ШАНЬСКИЕ СТРУКТУРЫ И ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОРОДНОГО МАССИВА ВЫСОКОГОРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Мамбетов Ш.А., Абдиев А. Р., Мамбетов А.Ш.

Кыргызско-Российский Славянский Университет им.первого президента Российской Федерации Б.Н.Ельцина, E-mail: <u>abdiev_arstan@mail.ru</u>

TIEN SHAN STRUCTURES AND GEOMECHANICAL STATE OF ROCK MASSIF ALPINE FIELDS

Mambetov Sh.A., Abdiev A.R., Mambetov A.Sh.

Kyrgyz- Russian Slavic University behalf first president of the Russian Federation Boris Yeltsin, E-mail: <u>abdiev_arstan@mail.ru</u>

В Кыргызстане 93% территории занимают горы, ведь не зря Кыргызстан называют страной небесных гор или пишут, что Кыргызстан находится на верхнем этаже планеты. Территориально занимает основную часть Тянь-Шаня, который орографически относится к Высокой Азии.

Тянь-Шань – одна из величайших горных систем Земного шара и самая длинная горная система Азии. Ее протяженность составляет 2800 км, а ширина 800 км. Наивысшая точка Тянь-Шаня – 7439 м – приурочена к горному узлу Хан-Тенгри. Последний является своеобразным неотектоническим центром Тянь-Шаня. Хан-Тенгри делит Тянь-Шань на западную и восточную части. Западный Тянь-Шань более широкий, со множеством параллельных поднятий (хребтов), которых на территории

Кыргызстана более 20. Восточный Тянь-Шань отличается сравнительно простым строением с поднятиями, расположенными кулисообразно по отношению друг к другу.

Изучение геологии и геодинамики Тянь-Шаня связано с именами многочисленных ученых, что объективно отмечается в работах [1-9]. Накоплен огромный информационный материал. Задача – объективно, умело использовать научные результаты в горном недроведении при освоении уникального региона – кладовой природных ресурсов.

Высокогорье отличается не только абсолютной высотой и расчлененностью рельефа, но и сложностью геологического строения, сложным сочленением тектонических структур разных масштабов, которые постоянно ставят вопросы перед горным производством и горной наукой. И. Садыбакасовым [2] на основе новейшей тектонической карты, геофизических и буровых данных, Тянь-Шань разделен на 12 районов, в которых проанализированы и подробно описаны новейшие структурные формы.

Активной структурой выступает мега антиклиналь (хребет), а пассивной – отрицательная мега синклиналь (впадина). Мега антиклиналь не только поднимается вверх, но претерпевает и процесс вергентности (опрокидывания) в сторону соседней впадины, приподнимая часть ее. В процессе вздымания образуется зона предгорий. В пределах Тянь-Шаньских структур, где высота поднятий сравнительно умеренные (4000-5000 м) ширина предгорий составляет 10-20 км. Интересен тот факт, что разрабатываемые рудные месторождения расположены в предгорьях: Хайдаркан в предгорье Алайского хребта (7134 м), Бозымчак – Чаткальского хребта (4503 м), Талды-Булак Левобережный – Кыргызского хребта (4855 м) и т.д.

Пара или множество новейших структур называются вергентными, если их осевые плоскости и сместители надвигов и взбросов наклонены в

одну сторону, а направление движения масс ориентировано в противоположную сторону.

Вергентные новейшие структуры описываются [2] как трехмерные фигуры (с протяженностью, шириной и высотой) и охватывают не только верхнюю часть земной коры (10-15 км), но и всю литосферу Тянь-Шаня, являющегося следствием действия горизонтальных тектонических напряжений, о чем свидетельствуют множество неотектонических профилей, составленных на основе геофизических и буровых данных.

В качестве примера приведем три из них, через восточную, среднюю и западную части Тянь-Шаня (рис. 1 а, б, в, г).



б)

Разрез по линии I-I

хр.Уччат хр. Кокщаал ID. 18 Ю 20. Cabbio Кегеньская владина



г)

Разрез по линии по III-III



Рис.1 Схема расположения осей мегантиклиналей (хребтов) Тянь-Шаня (а); неотектонические профили, проведенные через восточную (б, линия I-I), среднюю (в, линия II-II) и западную (г, линия III-III) части Тянь-Шаня: 1 – породы палеозойского основания; 2 – континентальные отложения платформенного типа: юры, мела, нижнего и среднего палеогена; 3 – породы орогенной молассы олигоцена – нижнего неогена; 4 - конгломераты неогена; 5 - четвертичные отложения; 6 - донеогеновая поверхность выравнивания, выработанная на палеозойских породах; 7 – проекция короткого $(l_1 - жирная стрелка)$ и длинного $(l_2 - тонкая стрелка)$ вергентных структур; 8 – результирующие направления крыльев новейших вергентных тектонических движений в структурах, соответствующих с начала неотектонического этапа; 9, 10 - то же для поднятий, существующих: 9 – с верхнего неогена; 10 – с начала четвертичного времени; 11 – плоскость симметрии (*m*), фиксирующая антивергентный участок встречно-ориентированных тектонических движений земной коры; 12 – важнейшие разломы.

В северо-восточной части региона выделяется довольно обширная площадь, в пределах которой развита Джунгаро-Тенгритакская система моновергентных структур земной коры (рис.1, б). Сюда входят мега антиклиналь Джунгарский Алатау, Чилийская впадина, мега антиклиналь Кетмень, восточные отроги Кунгея, Текесская и Кегенская впадины, восточная часть Терскейской мега антиклинали и мега антиклиналь Тенгритаг. Северные крылья мега антиклиналей пологие, а южные – крутые, короткие. У впадин, наоборот, северные крылья короткие крутые, а южные – пологие, т.е. положительные структуры запрокинуты к югу.

Моновергентные движения распространены от менее высокогорного участка к более высокогорной. На карте-схеме вергентных движений земной коры видно, что в средней части рассматриваемого региона выделяется система, проходящая через весь Тянь-Шань и названная Транс-Тянь-Шаньской (рис.1, в). С севера на юг входят следующие структуры: Заилийская и Кунгейская мега антиклинали, Западно-Иссык-Кульская впадина, Терскейская мега антиклиналь, Кара-Куджурская впадина, мега антиклиналь Каражорского, впадина Солтонсары, мега антиклиналь Капкаташ, Коктурпак-Джиланачская впадина, Нура-Джетымская мега антиклиналь, Нарынская впадина, мега антиклинали Нарынская, Кара-Тоо, Байбиче-Тоо, Атбашинская, мега антиклинали Аламышык, Борколдой, Джаны жер, Атбашы, Аксайская впадина и мега антиклинали Кокшаал-Тоо, Майдантак, а также многочисленная кряжа Кельпинтаг.

Северные крылья мега антиклиналей транстянышаньской системы пологие длинные, южные – крутые короткие. У депрессий, наоборот, северные крылья крутые короткие, а южные – пологие длинные. Следовательно, положительные структуры запрокинуты всей своей палеозойской массой к югу. С юга они оборваны разломами типа надвигов и взбросов, которым палеозойские массы каждой северной мега

антиклинали надвинуты на кайнозойские накопления каждой южной впадины.

В пределах западной части Тянь-Шаня (рис.1, г) выделяется Чаткало-Курамино-Гиссарская система, включающая мега антиклинали Каржан тоо, Угама, Аскема, Сандалаша, Чаткала, Курамы и Бозбу тоо, разделенной Пекемской, Сандалашо-Чаткальской, Ангренской и Нанайской впадинами, а также Ферганскую депрессию и южнее расположенную Туркестанско-Алайскую горную систему, завершается она на юге Предтяньшанским прогибом.

Все впадины этой системы с севера оборваны разломами типа надвигов, по которым палеозойские массы северных мега антиклиналей Bce надвинуты на ЮГ на неогеновые отложения впадин. мега антиклинальные системы запрокинуты югу. Запрокидывание К И надвигание палеозойских масс продолжается на юг через всю Ферганскую впадину вплоть до мелких впадин, расположенных на широте сороковой параллели.

Факт распространения моновергентных движений земной коры в Тянь-Шане от участка с меньшей высотой в сторону более высокого участка свидетельствует о том, что в основе движений лежат глубинные тектонические процессы, чем простое гравитационное скольжение.

Следовательно, вергентность структурных форм – это направление действия тектонических напряжений. Такие системы структур Тянь-Шаня [2] представлены на карте-схеме вергентных структур (рис.2). Стрелками показаны направления вергентных неотектонических движений, и по существу они являются силовыми полями горизонтальных напряжений. Они имеют различные направленности в различных складчатых областях региона.

Анализ результатов исследований геотектоники, сейсмотектоники [1-3], непосредственных измерений напряжений в породном массиве, опыт

работы шахт и рудников [4-6] позволяют представить модель деформирования земной коры горной системы Тянь-Шань.

Гигантский тангенциальный напор глубинных структур со стороны Гиндукуша и Каракорума, создав серии почти параллельных мега антиклиналей, затем разорвавший на 300-километровую глубину внешнюю оболочку Земли, раздробил земную кору Памиро-Тянь-Шаня на сложную систему блоков, оконтуренных глубинными разломами преимущественно субширотного простирания.

Не вдаваясь в подробности механизма деформирования, отметим, что ориентировка осей тензора деформирования в земной коре Тянь-Шаня практически не менялась на протяжении всей истории его геологического развития. О чем свидетельствует анализ карт более 40 очагов землетрясений на территории Тянь-Шаня в ориентировке направления действия горизонтальных максимальных сжимающих напряжений в меридиональном направлении.

0 подвижности региона данное время свидетельствуют В геофизические и деформаграфические измерения. Тензорным анализом геодезических измерений 20-летнего периода установлено, что для Южного Тянь-Шаня свойственно кристаллических пород субмеридиональное горизонтальное сжатие, а ось растяжения вертикальна. Происходит надвигание Северной части Таджикской депрессии на Южный Тянь-Шань со скоростью 2-3 мм/год. Деформаграфические исследования в кристаллическом массиве Южно-Тянь-Шаньского поднятия на станции Чусыл, которые ведутся с 1971 года, зафиксировали по взаимно перпендикулярным плоскостям С-Ю и В-З направленные деформации сжатия со скоростями порядка 1,8 и 1,2 см в год соответственно.

По результатам повторных региональных нивелировок в субширотном и субмеридиональном направлениях, секущих главные тектонические структуры: Южный Тянь-Шань, Таджикскую депрессию и

Северный Памир, установлено, что среднегодовые скорости относительных вертикальных перемещений, в среднем не превышают 0-5 мм/год.

О высоких современных горизонтальных напряжениях в верхней земной коры Тянь-Шаня также свидетельствуют части натурные измерения на рудниках и других объектах Кыргызстана. Измерения проводились с помощью методов разгрузки, геоакустики. Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что породные массивы, где были проведены эксперименты (месторождения: Джеруй, Кара-Кече – Северный Тянь-Шань; Сарыджазское, Терек, Токтогульский гидроузел – Срединный Тянь-Шань; Хайдаркан, Кадамжай – Южный Тянь-Шань) находятся в состоянии высоких горизонтальных напряжений, которые по величине превышают вертикальные в несколько раз и в основном ориентированы в субмеридиональном направлении.

Сопоставительный анализ схем и карт (рис.2 а,б), характеризующих новейшие и современные движения земной коры Тянь-Шаня, с геологогеофизической и сейсмической обстановкой Тянь-Шаня, а также с результатами натурных измерений, указывают на главенствующую роль горизонтальных движений в эволюции земной коры горной системы региона в новейший и современный периоды, направленных с юга на север. Соответственно в пределах Тянь-Шаня подтверждается наличие горизонтальных тектонических напряжений. Вместе с тем, анализ работы рудников показывает, ЧТО наличие горизонтальных тектонических напряжений не учитывается ни в процессе проектирования и ведения горных работ, ни в вопросе управления горным давлением. То есть, в исходных данных проектов разработки высокогорных месторождений нет сведений по основных геомеханических напряженному состоянию породного массива, которые и предопределяют проявления негативных

геомеханических процессов (обрушения, завалы, вплоть до горных ударов) при ведении горных работ.

Между тем, для оценки напряженно-деформированного состояния породного массива высокогорных месторождений разработаны ряд методов и опубликованы работы [7-10] под общим названием «Зональная и поэтапная оценка напряженно-деформированного состояния породного массива».



Рис.2 Сопоставительный анализ напряженного состояния породного массива Тянь-Шаня на основе данных о современном движении земной коры и натурных измерений: а) – 1-средние скорости горизонтальных перемещений земной коры за новейшее время (мм/год); 2,3-направления моновергентных движений земной коры, ориентированных: 2-на юг, 3-на север; 4-система моновергентных структур и их номера: І-Кара-Тоо-III-Чуйско-Киндиктакская. II-Аспаринская, IV-Таласская. Байбичесоурская, V-Транс-Тянь-Шаньская, VI-Джунгарско-Тенгритагская, VII-Кетментюбинская, VIII-Джумгальская, IX-Коскорская, X-Кокшаал-Заилийская, XI-Чаткало-Ферганская, XII-Нуратауская, XIII-Туркестанская, XIV-Гиссаро-Байсунтауская, XV-Памиро-Алайская; 5-глубинные разломы: а-Кокшаальский, б-Таласо-Ферганский, в-Гиссаро-Восточно-Алайский; 6направления максимальных горизонтальных напряжений измеренных методом разгрузки: І-месторождение Хайдаркан, ІІ-Улу-Тоо, ІІІ-Терек-Сай, IV-Токтогульская ГЭС; 7-направления максимальных напряжений сжатия по сейсмологическим данным: 1-Ташкентское 26.04.66, 2-Джамбульское 10.05.71, 3-Сарыкамышское 05.06.70, 4-Жаланаш-Тюпское 03.03.78. 5-Чаткальское 03.12.77, 6-Алайское 04.04.78, 7-Баткенское субгоризонтальных 02.02.77;б) _ распределение напряжений по измерениям в рудниках региона.

Первый этап оценки геомеханического состояния породного массива производится в пределах складчатой зоны, где размещено изучаемое месторождение, поскольку зона является основной единицей в схеме тектонического районирования Тянь-Шаня со структурами разновозрастных поднятий, обладающих единством форм дислокаций и специфическим типом разреза.

Основными информативными параметрами массива в пределах складчатой зоны служат элементы крупных тектонических складчатых и разрывных структур. Реконструирование которых позволяет установить азимуты направления тектонических сил. При этом можно использовать карту-схему вергентности [2].

Используя методические подходы О.Н. Гущенко [11], И. Садыбакасовым [2] осуществлен первый этап оценки – определены направления действия горизонтальных напряжений сжатия в складчатых зонах Тянь-Шаня (табл.1), которые могут быть использованы при проектировании горнотехнических комплексов, горно-капитальных и горно-подготовительных выработок.

Таблица 1

Азимуты направления действия горизонтальных напряжений сжатия в складчатых зонах Тянь-Шаня

<u>№№</u> п/п		Название складчатой области, зоны	Азимуты	
		musbuline exhigi futon oonuem, sonbi	направления	
Ι		Северный Тянь-Шань		
	1	Каратау-Таласская зона	CB 30°	
	2	Аспиринская зона		
	3	Чуйско-Киндиктасская зона	CB 50°	
	4	Байбиче-Скуринская зона	CB 150°	
	5	Транс-Тянь-Шаньская зона	ЮВ 120°	

	6	Джунгаро-Тенгритакская зона	ЮВ 165°
	7	Джумгальская зона	ЮВ 175°
	8	Кочкорская зона	CB 5°
II		Срединный Тянь-Шань	
	1	Кетментюбинско-Арпинская зона	C3 350°
	2	Чаткало-Ферганская зона	ЮВ 140°
III		Южный Тянь-Шань	
	1	Алайская зона	C3 320°
	2	Кокшала-Заилийская зона	C3 350°
	3	Гиссаро-Байсунтауская зона	ЮВ 170°
	4	Туркенстанская зона	C3 355°
	5	Памиро-Алайская зона	C3 325°

Следующий этап оценки производится в пределах изучаемого вблизи проводимой горной выработки. Такая месторождения И последовательность этапов выбрана исходя из определяющей области [12] ведения горных работ. Тем самым, как и в любой другой системной модели подобного рода, обеспечивается ее формализованность И априорная изоморфность природному объекту. И это будет геологической оценкой породного массива.

Основными информативными параметрами массива в пределах месторождения служат элементы распространенных тектонических структур среднего порядка (складки И разрывные нарушения). Определяется погоризонтно азимут направления действия тектонических напряжений реконструированием осей напряжений по элементам складок и разрывных нарушений в пределах месторождения. Устанавливаются зоны влияния рельефа и аналитически рассчитывается распределение напряжений в породном массиве с глубиной. По мере необходимости дополнительно могут быть применены другие экспериментальные методы определения напряжений: деформационные или геофизические. Это будет горно-геологической оценкой породного массива в пределах месторождения.

Так, месторождение Хайдаркан расположено в Туркестанской зоне с азимутом направления действия горизонтальных напряжений сжатия C3 355°. анализ тектонических структур (складки и сопряженные системы трещин различных порядков) на 14 участках месторождения подтвердили этот азимут с некоторыми допустимыми отклонениями [8].

На третьем этапе производится горно-технологическая оценка породного массива вблизи горной выработки. Показатели второго этапа корректируются применительно рассматриваемой горной выработке на основе применения деформационных, структурных и геофизических методов определения напряжений в породном массиве вблизи горной выработки и вне зоны ее влияния.

Изменение полей напряжений работ В динамике горных контролируется с помощью геоакустического метода. Отметим, что в предыдущих работах [7-9] основными информативными параметрами породного массива применены параметры скоростей продольной волны в В процессе исследований породном массиве. корреляционных зависимостей между прочностными характеристиками и акустическими свойствами установлено [10], что наибольший показатель информативности имеет акустический модуль – равный произведению объемной массы пород на скорости упругих продольных и поперечных волн, который принят как основной параметр породного массива [6].

Таким образом, тектонические структуры горной системы Тянь-Шань – складки и разрывные нарушения различных порядков несут информацию о характере деформационных процессов в породном массиве в прошлом.

Существует взаимосвязь между складчатыми и разрывными нарушениями, причем высшие формы тектонических структур в породном массиве по отношению к низшим являются определяющими.

Вергентность структурных форм региона, по существу является направлением действия неотектонических напряжений.

Сопоставительный анализ данных неотектоники региона и натурных измерений напряжений в породных массивах ряда месторождений показывают, что в регионе действуют горизонтальные тектонические силы неотектонической природы с зональным распределением по направлению действия.

Геометризацией и тектонофизическим анализом тектонических структур зонально и поэтапно оценивается геомеханическое состояние породного массива конкретного высокогорного месторождения, которое позволяет разработать меры по предотвращению различных проявлений негативных геомеханических процессов при ведении горных работ.

Литература

 Чедия О.К. Морфоструктура и новейший тектогенез Тянь-Шаня. – Фрунзе: Илим, 1986 – 314 с.

 Садыбакасов И. Неотектоника Высокой Азии. М.: Наука, 1990 – 180 с.

Современная геодинамика литосферы Тянь-Шаня/Ф.Н. Юдахина,
О.К. Чедия, Г.М. Сабитова и др./ – М.: Наука, 1991 – 192 с.

Айтматов И.Т. Геомеханика рудных месторождений Средней
Азии. – Фрунзе: Илим, 1987 – 246 с.

 Ялымов Н.Г. Теоретические основы управления давлением пород при разработке месторождений в горных районах. – Бишкек: Илим, 1992 – 184 с.

6. Мамбетов Ш.А., Абдиев А.Р., Мамбетов А.Ш. Горные работы в условиях Тянь-Шаня. – Бишкек: КРСУ, 2013 – 282 с.

7. Мамбетов Ш.А. Прогнозирование и контроль напряженнодеформированного состояния массива пород в высокогорных районах. – Фрунзе: Илим, 1988 – 187 с.

8. Мамбетов Ш.А., Абдиев А.Р., Мамбетов А.Ш. Зональная и поэтапная оценка напряженно-деформированного состояния породного массива Тянь-Шаня.//Горный журнал №10, 2002 – с.57-62.

9. Мамбетов Ш.А., Абдиев А.Р., Мамбетов А.Ш. Зональная и поэтапная оценка напряженно-деформированного состояния породного массива Тянь-Шаня. – Бишкек: КРСУ, 2003 – 359 с.

10. Мамбетов А.Ш. Взаимосвязь физических свойств и напряженного состояния породного массива с акустическими параметрами//Вестник КРСУ, 2007, т.1, №1 – с.16-19.

11. Очеретенко И.А., Трощенко В.В. Стереографические проекции в структурной геологии. – Л.: Недра, 1978 – 136 с.

12. Рац М.В. Структурные модели в инженерной геологии. – М.: Недра, 1973 – 215 с.

ДИФФЕРЕНЦИРОВАННАЯ ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ В ИЕРАРХИИ АКТИВНЫХ СТРУКТУР ТЯНЬ-ШАНЯ

Омуралиев М.

Институт сейсмологии, Национальная Академия Наук, Бишкек, Кыргызская Республика, mederbek@mail.ru

DIFFERENTIATED ASSESSMENT OF SEISMIC HAZARD IN THE HIERARCHY OF ACTIVE STRUCTURES OF THE TIEN SHAN

Omuraliev M.

Institute of seismology, National Academy of Sciences, Bishkek, Kyrgyz Republic, mederbek@mail.ru

Целью дифференцированной оценки сейсмической опасности является составление серии (слоев) карт среднего времени повторения землетрясений, вероятность возникновения каждого энергетического класса (класса магнитуды) с интенсивностью $I_0=6$ балл и далее 7, 8, 9, 10 и т.д. баллов в каждом иерархическом уровне активных блоков [1-3] с учетом ежегодного дополнения каталога землетрясений. Вместе с тем на основе времени повторения землетрясений строят карты повторяемости пикового ускорения (ПУ) в годах, повторяемости пиковой скорости (ПС) в годах и повторяемости интенсивности Іо в годах в пределах активных блоков определенной иерархии. При этом, базовыми данными являются серии карт иерархии активных блоков и закон Гутенберга-Рихтера в этих отдельно взятых блоках за определенный период времени, а также то, что отдельно взятому значению интенсивности Іо (энергетического класса К, магнитуды М) соответствует определенное значение пикового ускорения и определенное значение пиковой скорости колебаний [4-7] (табл.1)

т	_	1
	20 THIT	
	aomina	
_		

Интенсивность,	Пиковое ускорение, % д и	Пиковая скорость,
балл	см/сек ²	см/сек
Ι	<0,17 и < 1,6	<0,1
II - III	0,17 -1,4 и 1,6 - 13,7	0,1 -1,1
IV	1,4-3,9 и 13,7-38,2	1,1 – 3,4
V	3,9-9,2 и 38,2-90,2	3,4 - 8,1
VI	9,2-18 и 90,2-176,6	8,1 - 16
VII	18-34 и 176,6-333,5	16 – 31
VIII	34-65 и 333,5-667	31 - 60
IX	65 – 124 и 667 - 1216	60 - 116
Х	>124 и >1216	>116

В настоящее время имеющиеся научно-практические результаты сейсмологии указывают на необходимость составления карты дифференцированной сейсмической опасности. На традиционных картах сейсмического районирования обычно выделяют с малой точностью сейсмогенерирущие зоны с приблизительной максимальной магнитудой Ммах (или Кмах) и соответствующей интенсивностью (в баллах). Однако, в пределах этих зон часто происходят землетрясения с магнитудой M < Ммах и последствия (социально-экономические, экологические ущербы) таких "неучтенных" землетрясений достаточно большие. Так, некоторая сейсмогенрирушая зона, как Суусамырская (где 1992 г. произошло землетрясение М=7.3, Іо=10 балл), не выделялась до 90-х годов. В Заалайской зоне с Io>9 балл в 2008 г. произошло землетрясение Нура (Io=8 которого полностью разрушен одноименный балл), в последствие населенный пункт с многочилеными жертвами.

Область горобразования Тянь-Шаня собой представляет иерархически построенную "мозаику" блоков [8-11]. Тянь-Шань в целом ограниченный с юга областью горообразования Памира и плиты Тарима, а с севера Казахским щитом и Туранской плитой является блоком первого порядка. Данный блок делится секущими Таласо–Ферганским И Джунгарским региональными разломами северо-западного простирания сдвигового характера на Западный, Центральный и Восточный блоки второго порядка относительно малого размера. Западный блок Тянь – Шаня состоит из блоков третьего порядка Гиссаро – Алай (южный), Курама-Чаткал (срединный), Каржантау-Пскем (северный), разделенных системами впадин: (с юга на север): Таджикско – Алайской, Ферганской и Ангрен- Чаткальской, соответственно. Центральный блок Тянь-Шаня свою очередь состоит (в пределах системы поднятий) из блоков третьего порядка: Атбаши – Кокшаал (южный), Молдотоо-Терскей- Сарыджаз (срединный), Кыргызтоо- Кунгей- Кетмень (северный) ограниченных системами впадин (с юга на север): Кылкы-Таушкандарьянской, Алабуга-Нарын – Иныльческской, Талас– Иссык-Куль- Текеской, Чу-Илийской. Аналогично Восточный блок Тянь-Шаня состоит из трех блоков третьего порядка. Общее число блоков третьего порядка - девять. Количество в Западном блоке Тянь-Шаня (второго блоков четвертого порядка порядка) составляет 25, в Центральном блоке Тянь-Шаня (второго порядка) - 36, в Восточном блоке – 20.

В свою очередь, блоки третьего порядка разделены на блоки четвертого, пятого порядка и т.д. Основными структурными единицами блоков четвертого порядк являются зоны устойчивых поднятий (хребтыподнятия) и разделяющие их зоны устойчивых опусканий (впадины прогибания). Границы этих зон представлены, как правило, унаследованными краевыми разломами. Геометрия разломов, в целом имеющих падение под ограничивающие впадины хребты, меняется с

глубиной (по падению) и имеет множество перегибов. Характерной чертой развития активных структур является динамическая сегментация разломов и динамическая секторизация поднятий и впадин. Структурными единицами блоков пятого порядка являются зоны инверсионных высоких и низких предгорий на крыльях впадин.

В целом иерархия активных блоков Тянь-Шаня, где возникают очаги землетрясений, является дискретной геофизической средой и формируется геодинамическими процессами литосферы и мантии. Система активных блоков представляет собой открытой сложную динамическую систему, где развиваются нелинейные сейсмические процессы. Это положение является фундаментальной основой дифференцированной оценки сейсмической опасности.

Повторяемость землетрясений по Гутенбергу-Рихтеру [12] и время повторения землетрясений с энергетическими классами К=14, 15, 16, 17, 18 в области горообразования Тянь-Шань - в активном блоке первого порядка (в квадрате φ =38.0° - 45.5°, λ = 64.5° - 85.0°) за 1885-2009 гг. приведены в табл. 2.

Таблица 2.

	Повторяемос			Время повторения Т (лет)				ет)	
Название	е ть		Дост.	землетрясений энергетического					
активного	$\lg N = a - bK$		аппро		класса К=lgE, Дж				
блока	а	b	к. R ²	К=1 4	K=15	K=16	К=17	К=18	
Тянь-Шань	6.291	0.434	0.983	0.73	1.42	4.16	9.62	41.66	

Повторяемость землетрясений по Гутенбергу-Рихтеру [12] и время повторения землетрясений К=14, 15, 16, 17, 18 в активном Центральном блоке Тянь-Шаня второго порядка за 1885-2009 гг. приведены в табл. 3.

Таблица 3.

	Повторяемос			Время повторения Т (лет)					
Название	Т	Ъ	Дост.	земл	землетрясений энергетического				
активного	$\lg N = a - bK$		аппро	класса К=lgE, Дж					
блока	а	b	к. R ²	К=1 4	K=15	К=16	K=17	K=18	
Центральны й блок Тянь-Шаня	5.570 7	0.406 0	0.922	1.29	3.30	8.42	21.44	54.66	

Повторяемость землетрясений по Гутенбергу-Рихтеру [12] и время повторения землетрясений К=14, 15, 16, 17, 18 в активном Западном блоке Тянь-Шаня второго порядка за 1885-2009 гг. приведены в табл. 4.

Таблица 4.

Повторяемос				Время повторения Т (лет)					
Название	Т	ТЬ		земл	землетрясений энергетического				
активного	$\lg N = a - bK$		аппро	класса К=lgE, Дж					
блока	а	b	к. R ²	К=1 4	K=15	К=16	K=17	K=18	
Западный блок Тянь- Шаня	5.367 0	0.395 7	0.982	1.48	3.70	9.21	22.90	56.96	

Повторяемость землетрясений по Гутенбергу- Рихтеру [12] и время повторения землетрясений разного энергетического класса - K=12, 13, 14, 15, 16 за 1960-2014 гг. в активных блоках четвертого порядка (в качестве

примера блоки четвертого порядка Кыргызско-Кунгейского блока третьего порядка Северной части Тянь-Шаня) приведены в табл. 5

Таблица 5

	Повто	ряемос		Время повторения Т (лет)					
Название	Т	Ъ	Дост.	земл	землетрясений энергетического				
активного	$\lg N =$	a-bK	аппро		клас	cca K=lg	gE, Дж		
блока	а	b	к. R ²	К=1 2	К=13	К=14	K=15	К=15	
Западный	1.902	0.283	0.80	31.2	59.8	114.8	220.3	422.6	
кыргызтоо									
Центральны й Кыргызтоо	2.766	0.335	0.98	17.9	38.8	83.9	181.5	392.6	
Восточный Кыргызтоо	4.267	0.447	0.96	12.5	35	98	274.1	767.4	
Заили	4.400	0.440	0.98	7.6	20.8	57.5	158.4	436.5	
Западный Кунгей	3.262	0.382	0.99	20.9	50.6	121.8	293.7	707.9	
Восточный Кунгей	3.499	0.353	0.90	5.4	12.3	27.7	62.5	140.9	

Интересно отметить, что время повторения землетрясений разного энергетического класса относительно частое в активным блоке первого порядка и увеличиваетя по ряду активных блоков второго, третьего, четвертого и т.д порядков [13].

Повторяемость пикового ускорения (ПУ) в годах, повторяемость пиковой скорости (ПС, см/сек) в годах и повторяемость интенсивности Іо (балл) в годах, соответствующих времени повторения (см. табл.5) энергетических классов К=12, 13, 14, 15, 16 землетрясений за 1960-2014 гг.

в отдельно взятом активом блоке четвертого порядка (в качестве примера блоки четвертого порядка Кыргызско-Кунгейского блока третьего порядка Северной части Тянь-Шаня) приведены в табл.6.

Таблица 6.

	Повторяемость пикового ускорения (ПУ, % g) в годах,							
	повторяемость пиковой скорости (ПС, см/сек) в годах и							
Царраниа	повторяемость интенсивности Іо (балл) в годах							
Пазванис	землетрясений							
блока	ПУ=9.2-	ПУ=18-	ПУ=34-	ПУ=65-	ПУ>124			
USTROPTOFO	18	34	65	124	ПС>116			
четвертого	ПС=8.1-	ПС=16-31	ПС=31-	ПС=60-	Io =X+			
порядка	16	Io =VII	60	116				
	Io =VI		Io =VIII	Io =IX				
Западный	31.2	50.8	114.8	220.3	122.6			
Кыргызтоо	31.2	57.0	114.0	220.3	722.0			
Центральный	17.9	38.8	83.0	181 5	302.6			
Кыргызтоо	17.9	50.0	05.7	101.5	392.0			
Восточный	12.5	35	98	274-1	767 4			
Кыргызтоо	12.5	55	70	277.1	707.4			
Заили	7.6	20.8	57.5	158.4	436.5			
Западный	20.9	50.6	121.8	293 7	707.9			
Кунгей	20.7	50.0	121.0	273.1	101.7			
Восточный	5 /	12.3	27.7	62.5	140.9			
Кунгей	5.4	12.3	21.1	02.5	140.7			

Средняя вероятность Р (%) проявления каждого класса K=12, 13, 14, 15, 16 землетрясений за 1960-2014 гг. в отдельно взятом активом блоке четвертого порядка (в качестве примера блоки Северной части Тянь-Шаня) при заданном времени (t, год) ожидания приведена в табл.7.

Таблица 7.

Средняя вероятность Р (%) проявлени								
Haaraanaa	землетрясений энергетического класса K=lgE,							
пазвание	Дж при заданном времени ожидания t, год							
актириого	К=12	К=13	К=14	К=15	К=16			
блока	при t=2	при t=3	при t=5	при	при			
блока	года	года	лет	t=15	t=30			
				лет	лет			
Западный								
Кыргызтоо	6.4	5.0	4.4	6.8	7.1			
Центральный								
Кыргызтоо	11.2	7.7	6.0	8.3	7.6			
Восточный								
Кыргызтоо	16.0	8.6	5.1	5.5	3.9			
Заили	26.3	14.4	8.7	9.5	6.9			
Западный								
Кунгей	9.6	5.9	4.1	5.1	4.2			
Восточный								
Кунгей	37.0	24.4	18.1	24.0	21.3			

Заключение

- Разработана методика дифференцированной оценки сейсмической опасности в иерархии активных блоков (где возникают очаги землетрясений) на примере Тянь-Шаня, представляющего сложную динамическую систему. При этом учитываются ежегодно дополненные данные вновь проявленных землетрясений.
- Предложенная методика повышает точность и расширяет функциональную возможность составления карты (общей, детальной, локальной) сейсмической опасности в соответствии с категорией ответственности и сроком службы строительных объектов.

Литература

- Омуралиев М., Абдрахматов К. Е., Омуралиева А. Методика составления дифференцированной карты вероятной сейсмической опасности на примере территории Кыргызской Республики. Кыргызпатент, Авторское свидетельство № 2626.
- Абдрахматов К.Е., Омуралиев М., Омуралиева А., Молдобекова С. Новые подходы к оценке сейсмической опасности территории Кыргызской Республики. Вестник Института сейсмологии НАН КР, 2014, №4, СС 22-36.
- Омуралиев М. Новая методика составления карты дифференцированной сейсмической опасности. Материалы Международной научной конференции «Наука, Техника и Инновационные технологии в эпоху могущества и счастья» (11-13 июня 2015 года). Ашхабад: Илим, 2015. -С. 260-262.
- 4. Seismic Hazard and Building Vulnerability in Post-Soviet Central Asian Republics/ NatoASI Series, 1999, vol 52.

- Омуралиев М., Омуралиева А., Ачакеев Э. Атлас пиковых ускорений землетрясений и законы затухания пиковых ускорений сейсмогенных зон в пределах Кыргызстана и прилегающих районов стран Центральной Азии. Бишкек. 2009, -164 с.
- 6. Grunthel, G., Musson, R., Schwarz, J., and Stucchi, M., 1998, European Macroseismic Scale (EMS-98): Luxembourg, Conseil de l'Europe, v. 7.
- Wald, D.J., Quitoriano, V., Heaton, T.H., and Kanamori, H. Relationships between peak ground acceleration, peak ground velocity, and modified Mercalli Intensity in California: Earthquake Spectra, 1999, v. 15, no. 3, p. 557–564.
- Omuraliev M., Omuralieva A. Late Cenozoic tectonics of the Tien Shan. Bishkek, 2004, 166 p.
- 9. Садовский М.А., Писаренко В.Ф. Сейсмический процесс в блоковой среде. М., Наука, 1991, 96 с.
- 10.Абдрахматов К.Е., Уилдон Р., Томпсон С., Бурбанк Д., Рубин Ч., Миллер М., Молнар П. Происхождение, направление и скорость современного сжатия Центрального Тянь-Шаня (Киргизия). //Геология и геофизика, 2001, т.42, №10, с.1585-1610.
- 11.Абдрахматов К.Е. Внутриконтинентальное горообразование и сейсмическая опасность (на примере Тянь-Шаня). Бишкек, «Инсанат», 2013, 120 с.
- 12.Gutenberg B., Richter C.F. Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration. //BSSA, 1956, v. 46, pp. 105-45.
- 13.Омуралиев М,, Омуралиева А. М., Ачакеев Э.А. Масштабный закон периодичности проявления и повторяемость землетрясений. Кыргызпатент. Авторское свидетельство №2037.

ДИНАМИКА СЕЙСМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА СОЧЛЕНЕНИИ ОБЛАСТИ ГОРООБРАЗОВАНИЯ ТЯНЬ-ШАНЬ И КАЗАХСКОГО ЩИТА

Омуралиева А.

Институт сейсмологии, Национальная Академия Наук, Бишкек, Кыргызская Республика, omuraika@mail.ru

DINAMICS OF SEISMIC PROCESSES AT THE JUNCTION OF THE TIEN SHAN MOUNTAIN BUILDING AREA AND THE KAZAKH SHIELD

Omuralieva A.

Institute of seismology, National Academy of Sciences, Bishkek, Kyrgyz Republic, omuraika@mail.ru

На основе изучения методом детальной сейсмической томографии Кыргызского Тянь-Шаня [1, 2] отмечено, что литосферная плита Казахского щита поддвигается под литосферу Тянь-Шаня на севере, а на юге литосферная плита Тарима поддвигается под литосферу Тянь-Шаня (рис.1). Под этими зонами имеются два потока низкоскоростных аномалий в мантии, которые внедряются в литосферу Тянь-Шаня. В этих геодинамических условиях проявляются землетрясения в рассматриваемом регионе. График повторяемости землетрясений с К=8-16 рассматриваемого региона за 1960-2015 гг. по закону Гутенберга-Рихтера на основе каталога ИС НАН КР выражается формулой:

$$\lg N = -0.427823477 \lg E + 5.081718870, \quad R^2 = 0.983153287, \quad (1)$$

где lgN – среднегодовая частота, lgE (Дж) = K – энергетический класс, R^2 - достоверность аппроксимации.



Рис.1. Модель поддвигания литосферы Казахского щита и Тарима под Тянь-Шань [2].

В последовательность проявления землетрясений с К≥8 отмечались сейсмические циклы разного (третьего, второго и первого) порядка. Так,в цикле первого порядка в 1960 г. наступил период сейсмической активизации. В 1970 г. и 1978 г. произошли Сарыкамышское и Жаланаш-Тюпское землетрясения с К=15.6. В дальнейшем отмечался спад активизации и в 1990 г. и 1996 г. произошли землетрясения с К=15 (Байсорунское), К=13.2., В дальнейшем наступил период затишья. С 2006 г. снова наступил период сейсмической активизации и произошло Кочкорское землетрясение с К=14.2, а в 2013 г. проявилось Каркыра-Сарыджазское землетрясение с К=15. После отмечался спад активизации и в 2014 г. произошло Каджысайское землетрясение с К=13.7. График изменения кумулятивной сейсмической энергии неровный, ступенчатый. Линейный тренд графика выражается эмпирической формулой: *E*_{*k*} = (0.207161529 – 404.977771989)*10¹⁵, Дж, (2) где Ек – кумулятивная сейсмическая энергия, Дж, t –время, коэффициент 0.207161529*10¹⁵ имеет размерность мощности (Дж/год). Верхний и нижний пределы флуктуации кумулятивной сейсмической энергии очерчиваются парой прямых, параллельных средней линии.

В распределении землетрясений во времени вдоль (по долготе) активных структур на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита отмечаются векторы сейсмической активизации [3,4]. Векторы активизации направлены с запада на восток и с востока на запад навстречу друг другу в пределах полосы $\lambda = 77.3 - 78.7^{\circ}$ (рис.2).



Рис.2. Распределение землетрясений вдоль (с запада на восток) зоны сочленения Тянь-Шаня и Казахского щита во времени за 1960-2015 гг. Пунктирными линиями обозначены векторы сейсмической активизации

Результаты изучения сейсмических процессов В активных позволяют отметить, что на сочленении Тянь-Шаня и структурах Казахского щита, где литосфера Казахского щита поддвигается под область горообразования, а литосфера Тянь-Шаня надвигается на щит, формировалась сейсмогенерируюшая зона. Данная зона состоит из северного (передового) - Заилийского, срединного - Кунгейского и южного Терскейского сейсмогенерирущих секторов. _ Эти сектора имеют различные скорости векторов активизации (табл.1).

Таблица 1. Векторы сейсмической активизации на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита

		Скорость в	екторов сейс	смической		
		активизации (км/год), направленных				
	Иерархия активных структур на	поперек				
No	сочленении Тянь-Шаня и	активных	CTDI	KTWD KTWD		
512	Казахского шита	структур	cipy	ктур		
	Rusukekoro Ighru	с севера на	с запада	с востока		
		е севера на	на восток	на запад		
		101	до центра	до центра		
	Заилийское, Кунгейское,					
	Терскейское поднятия и					
1	сопряженные части Илийской,		8	12-16		
	Кеминской, Чиликской, Иссык-		0	12 10		
	Кульской впадин					
	Заилийское, Кунгейское					
	поднятия и сопряженные части					
2	Илийской, Кеминской,	1.0	82	12.5		
	Чиликской, Иссык-Кульской	1.0	0.2	15.5		
	впадин					
	Заилийское поднятие и					
3	сопряженные части Илийской,	1 1	11.0	13.0		
	Кеминской, Чиликской, впадин	1,1	11.0	15.0		
Δ	Кунгейское поднятие и					
4	сопряженные части Кеминской,	0.5	8.2	18		

	Чиликской, Иссык-Кульской			
	впадин			
	Терскейское поднятие и			
5	сопряженные части Иссык- Кульской впадины	0.9	8.2	11.0

В пространственно-временном распределении землетрясений поперек активных структур отмечается динамическая секторизация. В изучения пространственно-временного результате распределения землетрясений поперек активных структур Заилийского, Кунгейского поднятий и сопряженных частей Илийской, Кеминской, Чиликской, Иссык-Кульской впадин на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита «дорожки». установлены сейсмические Они выражают процессы динамической секторизации дискретной геофизической среды. Отмечено, что перед землетрясениями, как Жаланаш-Тюпское (1978, К=15.6), (1990,K=15.3), Байсорунское проявления сейсмических дорожек прерывались.

Заключение

- Активные структуры характеризуются свойственными графиками повторяемости землетрясений, изменениями кумулятивной сейсмической энергии, последовательностями проявления землетрясений - сейсмическими циклами третьего, второго, первого порядка.
- 2. Вдоль активных структур установлены векторы сейсмической активизации направленные с запада на восток и с востока на запад с разными скоростями. Поперек активных структур наблюдаются векторы сейсмической активизации, направленные с севера на юг и с юга на север с разными скоростями.
- 3. На сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита, где литосфера Казахского

щита поддвигается под литосферу Тянь-Шаня, а литосфера Тянь-Шаня надвигается на литосферу Казахского щита формируются сейсмогенерирующие зоны в пределах Заилийского, Кунгейского и Терскейского поднятий.,

4. В результате изучения пространственно-временного распределения землетрясений поперек активных структур Заилийского, Кунгейского поднятий и сопряженных частей Илийской, Кеминской, Чиликской, Иссык-Кульской впадин на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита установлены сейсмические «дорожки». Они выражают процессы динамической секторизации дискретной геофизической среды. Отмечено, что перед землетрясениями, как Жаланаш-Тюпское (1978, К=15.6), Байсорунское (1990, К=15.3), проявления сейсмических дорожек прерывались.

5.

Литература

- Lei J., Zhao D. Teleseismic P-wave tomography and the upper mantle structure of the Central Tien Shan orogenic belt. //Physics of the Earth and Planetary Interiors, 2007, v.162. –p.165-185. http://dx.doi.org/10.1016/j.pepi.2007.04.010
- Omuralieva A., Nakajima J., Hasegawa A. Three-dimensional seismic velocity structure of the crust beneath the central Tien Shan, Kyrgyzstan: Implications for large- and small-scale mountain building. //Tectonophysics, 2009. -v.465. -p.30-44. http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2008.10.010
- Шерман С.И. Сейсмический процесс и прогноз землетрясений: тектонофизическая концепция. Новосибирск: Академическое издательство «ГЕО», 2014. -359 с.
- 4. Омуралиев М., Омуралиева А. Сегментация и сейсмическая опасность зоны Таласо-Ферганского разлома Тянь-Шаня. //Наука и новые технологии, 2012. -№3. -С.70-83.

ИЗМЕНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ СРЕДЫ ЗЕМНОЙ КОРЫ В РЕАЛЬНОЕ ВРЕМЯ ВБЛИЗИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ (КУМТОР, ОРЛОВКА)

Омуралиев М., Омурбек кызы К., Мамбетова Г.А.

Институт сейсмологии, Национальная Академия Наук, Бишкек, Кыргызская Республика, mederbek@mail.ru

CHANGE IN THE STATE OF THE CRUST IN REAL TIME NEAR LOCATION OF THE INDUSTRIAL EXPLOSIONS (KUMTOR, ORLOVKA)

Omuraliev M., Omurbek kyzy K., Mambetova G.A.

Institute of seismology, National Academy of Sciences, Bishkek, Kyrgyz Republic, mederbek@mail.ru

Изучение состояния среды слоев земной коры и верхней мантии Тянь-Шаня по изменению скоростей распространения сейсмических волн в реальное время является актуальным. Временная изменчивость годовых скоростных свойств литосферы изучена по данным ядерных взрывов на Семипалатинском полигоне, крупномасштабного a также Камбаратинского взрыва, регистрируемых, В частности, сетью сейсмических станций Кыргызстана [1-4]. Отмечены ритмы 1,3 года, 2 года и 4-6 лет. При изучении Агалатасских взрывов (на южном склоне Киндыктасского хребта), повторно произведенных через сутки и более, анализировалось изменение амплитуд продольных и поперечных волн (Ар, As, As/Ap) по направлениям к сейсмическим станциям Ананьево, Боом,

Карагай-Булак, Ала-Арча И другие для поиска предвестников землетрясений [5, 6]. Отмечено, что графики изменения амплитуд имеют колебательный характер. Выделены определенные гармоники co свойственными периодами, амплитудами И фазами. Изменчивость состояния земной коры и верхней мантии в реальное время отмечена в результате изучения сейсмических волн ряда Кумторских взрывов за 2012 г. [7, 8]. Уникальное золоторудное месторождение Кумтор, расположенное на северном склоне Акшийракского хребта, разрабатывается уже более 20 взрывным способом. Сейсмические волны взрывов лет открытым записываются цифровыми сейсмическими станциями **KRNET** сети (Каракол - PRZ, Каджисай - KDJ, Нарын - NRN, Боом - BOOM), KNET (Улахол - ULHL, Токмок- ТКМ, Карагайбулак - КВК), CAREMON (Подгорный - PDGK) и станцией Тарагай – TARG.

В районе золоторудного месторождения Талдыбулак (на северном склоне Восточно - Кыргызского поднятия) взрывы Орловки производились в течение 2014 г. Сейсмические волны взрывов записывались цифровыми сейсмическими станциями сети KRNET (Боом – ВООМ, Каджи-Сай – KDJ, Арал - ARLS), KNET (Улахол - ULHL, Токмок- ТКМ, Карагайбулак – KBK, Кызарт – KZA, Ала-Арча – ААК, Эркин-Сай – EKS, Чумыш – CHM, Успеновка – USP). Сейсмическая энергия взрывов колеблется от 1.8х10³ Дж до 10⁷ Дж. Магнитуда их составляет М_{рv}=1.1-3,1 (по данным Института сейсмологии НАН КР).

Основными доступными параметрами, характеризующими состояние среды земной коры и верхней мантии, являются: скорость сейсмических продольных и поперечных волн, их отношение (Vp, Vs, Vp/Vs); максимальные амплитуды и периоды этих амплитуд, их отношения (Ap, Tp, As, Ts, As/Ap, Ap/Tp, As/Ts, (As·Tp)/(Ap·Ts). Скорость сейсмических волн определялась составлением годографов для каждого взрыва. Анализ показал, что годограф состоит из различных отрезков на эпицентральных

расстояниях в соответствии с данными сети сейсмических станций: первый отрезок - до 100 км, второй - более 100 км. Эти отрезки на годографах, очевидно, выражают скорость волн в верхнем, нижнем слоях земной коры и верхней мантии.

Временная вариация значений Vp, Vs участков земной коры вблизи Кумторских взрывов изучена за 2011-2015 гг. Значения скоростей часто изменяются. Вариация величин Vp имеет среднее значение 6.93 км/сек со стандартным отклонением 0.47, что составляет 6.7 % от среднего значения. Вариация величин Vs имеет среднее значение 4.0 км/сек со стандартным отклонением 0.26, что составляет 6.7 % от среднего значения. Величина Vp/Vs изменяется от 1,53 до 2, имеет среднее значение 1,727 со стандартным отклонением 0,047, что составляет 2,7 % от среднего значения.

На участках земной коры вблизи Орловских взрывов (за 2014 г.) вариация величин Vp находилась между значениями 5.58 – 7.48 км/сек , среднее значение 6.35 км/сек. Стандартное отклонение составляло 0.42. Вариация величин Vs изменялась от 3.22 до 4.,44 км/сек, среднее значение 3.65 км/сек. Стандартное отклонение значений равно 0.22. Величина Vp/Vs колеблется от 1.58 до 2.07, имеет среднее значение 1,73 со стандартным отклонением около 0.07.

Соотношение величин Vp, Vs, Vp/Vs выражает состояние среды [9-13]. А именно, малые значения Vp, Vs, Vp/Vs выражают проявление флюидов, малые значения Vp, Vs, но большое значение Vp/Vs - частичное плавление, большие значения Vp, Vs – относительно высокие давления. В табл. 1 приведены параметры, указывающие на проявления флюидов, частичного плавления и условия высоких давлений в земной коре за январь- ноябрь 2014 г. по данным Vp, Vs, Vp/Vs сейсмических волн во время Кумторских взрывов. В нижней части земной коры вблизи Кумторских взрывов перед Каркыра–Сарыджазским землетрясением 6 декабря 2012 г. проявлялись флюиды, а 8 декабря отмечалось частичное плавление. 4, 13 и 20 января проявлялись флюиды. 24 и 28 января перед главным толчком отмечалось частичное плавление. 30 января после главного точка отмечалось проявление флюидов. В это время (например, в январе 2013 г.) в верхней части земной коры проявились флюды и условия высоких давлений (табл.1).

Таблица 1. Время проявления флюдов и условий высоких давлений в верхней части земной коры в близи Кумторских взрывов, например перед Каркыра-Сарыджазским землетрясением (28.01.2013г., К=15).

год	мес	число	час	МИН	сек	Vs.,	Vp,	Vp/Vs	Состояние
						км/сек	км/сек		среды
2013	1	12	6	17	52	3,57	5,67	1,58	Флюиды
2013	1	13	7	13	25	3,47	5,81	1,67	Флюиды
2013	1	13	7	14	18	3,69	5,98	1,62	
2013	1	19	9	1	44	3,64	5,88	1,61	
2013	1	19	9	2	18	3,48	5,94	1,7	Флюиды
2013	1	20	7	36	18	3,46	5,93	1,71	Флюиды
2013	1	20	7	36	47	3,81	6,1	1,6	
2013	1	25	7	2	12	3,6	5,99	1,66	Флюиды
2013	1	25	7	3	20	3,55	6,4	1,7	
2013	1	27	7	3	43	3,44	5,37	1,56	Флюиды
2013	1	27	7	4	24	3,94	6,77	1,71	Давление
2013	1	28	7	4	49	4,12	6,89	1,67	Давление
2013	1	30	7	5	48	3,61	5,35	1,48	Флюиды

В табл. 2 приведены параметры, указывающие на проявления флюидов, частичного плавления и условий высоких давлений в земной коре за

январь-ноябрь 2014 г. по данным Vp, Vs, Vp/Vs сейсмических волн во время Орловских взрывов.

Таблица 2. Прояления флюидов, частичного плавления и условий высокого давления в земной коре за январь- ноябрь 2014 г. по данным Vp, Vs, Vp/Vs сейсмических волн во время Орловских взрывов.

Год	Месяц	Число	Час	Мин	Сек	Vp,	Vs,	Vp/Vs	Состояние
						км/сек	км/сек		среды
2014	1	3	11	52	50,03	6,94	3,9	1,77	Давление
2014	1	4	10	53	42,52	5,99	3,5	1,71	
2014	1	11	10	11	22,52	5,8	3,35	1,73	
2014	1	15	9	36	15,08	6,61	3,67	1,8	Давление
2014	1	20	10	12	51,79	5,84	3,42	1,7	Флюиды
2014	3	3	11	14	47,02	6,58	3,68	1,78	
2014	3	8	9	3	56,48	6,29	3,59	1,75	
2014	3	23	11	51	18,14	6,44	3,69	1,74	
2014	3	27	12	57	38,7	5,97	3,47	1,72	
2014	3	29	6	22	17,68	6,31	3,74	1,68	
2014	3	30	6	17	1,27	6,4	3,68	1,73	
2014	3	31	6	26	29,33	6,21	3,64	1,7	
2014	4	4	7	7	15,58	6,81	3,85	1,76	Давление
2014	4	7	5	16	59,8	6,3	3,67	1,71	
2014	4	18	11	54	45,44	6,18	3,6	1,71	
2014	4	21	6	30	8,34	5,95	3,49	1,7	Флюиды
2014	4	24	6	28	34,9	6,07	3,43	1,76	
2014	5	2	12	43	31,65	7,12	4,08	1,74	Давление
2014	5	3	12	37	28,51	5,58	3,52	1,58	Флюиды
2014	5	4	12	45	36,17	6,87	3,9	1,76	Давление
2014	5	5	6	52	30,68	7,03	3,96	1,77	Давление
2014	5	6	6	46	23,28	5,74	3,37	1,7	Флюиды
2014	5	7	7	1	47,23	6,32	3,53	1,79	
2014	5	9	12	29	31,27	5,9	3,36	1,75	
Флюиды	1,66	3,48	5,8	10,88	32	12	11	5	2014
-----------	------	------	------	-------	----	----	----	---	------
	1,75	3,64	6,37	57,32	54	12	16	5	2014
	1,67	3,71	6,23	6,64	29	6	19	5	2014
Частичное	1,76	3,42	5,72	48,3	52	12	19	5	2014
плавление									
Давление	2,07	3,49	7,23	7,37	20	6	20	5	2014
	1,72	3,76	6,5	15,59	23	12	20	5	2014
	1,66	3,8	6,31	58,37	32	6	21	5	2014
	1,72	3,7	6,37	56,11	14	13	21	5	2014
	1,77	3,79	6,72	44,98	43	12	23	5	2014
Давление	1,78	3,81	6,81	22,86	55	6	25	5	2014
	1,71	3,64	6,26	31,34	10	7	25	5	2014
	1,7	3,73	6,37	52,17	22	6	27	5	2014
	1,76	3,6	6,36	1,48	4	12	28	5	2014
	1,75	3,76	6,59	19,52	22	12	29	5	2014
	1,77	3,54	6,27	5,23	43	12	29	5	2014
	1,75	3,67	6,43	48,99	16	12	4	6	2014
	1,72	3,56	6,13	37,99	25	12	5	6	2014
	1,77	3,45	6,13	8,13	42	12	12	6	2014
Флюиды	1,69	3,5	5,93	29,88	37	6	15	6	2014
Давление	1,68	4,13	6,94	5,29	43	12	15	6	2014
Флюиды	1,65	3,51	5,81	44,03	14	12	19	6	2014
	1,74	3,54	6,18	33,71	10	6	20	6	2014
Давление	1,68	4,03	6,81	5,62	28	12	21	6	2014
Частичное	1,74	3,22	5,61	51,73	43	12	21	6	2014
плавление									
	1,72	3,54	6,09	16,74	24	12	23	6	2014
	1,71	3,65	6,25	31,37	45	12	27	6	2014
	1,66	3,73	6,2	52,61	54	6	2	7	2014
	1,75	3,7	6,51	44,28	11	12	3	7	2014
Давление	1,68	4,44	7,48	55,54	22	12	3	7	2014
	1,7	3,69	6,28	26,98	3	7	7	7	2014

2014	7	7	12	31	36,52	7	4,14	1,69	Давление
2014	7	8	6	56	1,71	6,36	3,71	1,71	
2014	7	13	12	31	38,73	6,9	4,08	1,69	Давление
2014	7	15	6	36	17,18	6,06	3,45	1,75	
2014	7	23	12	33	57,89	6,03	3,55	1,69	
2014	7	24	12	26	6,91	7,34	3,95	1,85	Давление
2014	8	14	12	8	14,98	6,41	3,72	1,72	
2014	8	29	6	3	16,35	6,01	3,36	1,78	
2014	9	8	12	5	40,9	6,49	3,76	1,72	
2014	9	16	12	12	27,55	6,31	3,45	1,82	
2014	9	25	6	7	52,39	6,14	3,54	1,73	
2014	10	20	11	54	6,32	5,81	3,45	1,68	Флюиды
2014	10	20	12	10	22,92	6,48	3,76	1,72	
2014	11	6	10	48	22,87	6,95	3,43	2,02	Давление

Заключение

На основании вышеизложенных результатов исследования можно отметить:

- Промышленные взрывы являются источниками сейсмических волн, позволяющих проследить за состоянием среды земной коры и верхней мантии Тянь-Шаня в реальное время;
- На годографах взрывов выделяются отрезки, которые в отдельности отражают скоростные свойства верхней и нижней частей земной коры, соответственно;
- 3. Установлено, скорости распространения что значения сейсмических волн взрывов Vp, Vs и отношения Vp/Vs земной И верхней мантии изменяются BO времени резко коры (скачкообразно) и часто. Наблюдаются проявления флюидов и частичного плавления. Активизация проявления флюидов, частичного плавления и условия высоких давлений повторяются во времени. Время проявления флюидов в нижней и верхней

частях земной коры частично совпадает. Аномально повышенные и пониженные значения Vp, Vs в земной коре, вероятно, обусловлены геодинамическими и сейсмическими процессами Тянь-Шаня, а также повторяющимися промышленными взрывами.

Литература

- Адушкин В.В., Ан В.А., Каазик П.Б., Овчинников В.М. О динамических процессах во внутренных геосферах Земли по временам пробега сейсмических волн //Докл. РАН. 2001. т.381. №6. с.822-824.
- Гамбурцева Н.Г., Люкэ Е.И., Николаевский В.Н. и др. Периодические вариации параметров сейсмических волн при просвечивании литосферы мощными взрывами //ДАН СССР. 1982. т.266. с.1349-1353.
- Гамбурцева Н.Г. Временная изменчивость скоростных свойств среды по данным Семипалатинских ядерных взрывов. // Кн. Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью. Бишкек: Илим, 2006. с.94-104.
- Омуралиев М., Омуралиева А. Явление скачкообразного изменения строения литосферы во время и после крупномасштабного взрыва. Кыргызпатент, №1616, 2011.
- Меджитова З.А. Временные вариации параметров сейсмических волн от промышленных взрывов.//Кн. Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью. Бишкек: Илим, 2006. с.81-87.
- Омуралиев М. Гармонический анализ параметров сейсмических волн от промышленных взрывов. // Кн. Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью. Бишкек: Илим, 2006. с.88- 94.

- Омуралиева А., Омуралиев М. Кумторские взрывы и изменение состояния среды земной коры и верхней мантии в реальное время. //Известия ВУЗов, ISSN 1026-9045, №6, 2012, с.70-77.
- Омуралиев М., Омуралиева А., Омурбек кызы К. Изменение состояния среды земной коры в реальное время вблизи Кумторских взрывов. //Вестник Института сейсмологии НАН КР. -2016. -№7. С.76-86 (Электронный журнал http://www.journal.seismo.kg/index.php/arkhiv/zhurnal-2016-1-7).
- Nakajima J., Matsuzawa T., Hasegawa A., Zhao D. Three-dimensional structure of VP, VS and VP/VS beneath northeastern Japan: Implications for arc magmatism and fluids. //Journal of Geophysical Research. 2001. v.106. p.21843-21857
- 10.Omuraliev M., Omuraleva A. Late cenozoic tectonics of the Tien Snan Kyrgyzstan, Central Asia. Bishkek: «Ilim». 2004. -166 p.
- 11.Омуралиева А. Омуралиев М. Вероятные участки проявления флюидов и частичного плавления в земной коре Центральной части Тянь-Шаня по данным сетей «GHENGIS" и "KNET".// Кн. проблемы геодинамики Современные И геоэкологии V внутриконтинентальных орогенов (тезисы докл. на международном симпозиуме). Бишкек, 2011. с.73-76.
- 12. Абдрахматов К.Е., Омуралиев М., Омуралиева А. Распределение флюидов, температуры в зонах Центрального Тянь-Шаня и подготовка сильных землетрясений. Бишкек: «Триада принт». 2015. 206 с.
- 13.Омуралиев М. О роли термо-акустического и массопереносоакустического эффектов в геологических процессах литосферы // Известия АН Киргизской ССР. 1987. № 5.С. 11-14.

ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ СКОРОСТНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ ПО ХОДУ ПРОЯВЛЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Омуралиева А.

Институт сейсмологии, Национальная Академия Наук, Бишкек, Кыргызская Республика, omuraika@mail.ru

DINAMICS OF SEISMIC VELOCITY HETEROGENEITIES' CHANGES IN THE CRUST AND UPPER MANTLE OF THE NORTHERN TIEN SHAN DURING EARTHQUAKES' MANIFESTATION

Omuralieva A.

Institute of seismology, National Academy of Sciences, Bishkek, Kyrgyz. Republic, <u>omuraika@mail.ru</u>

Исследование динамики (изменение во времени и в пространстве) неоднородностей на основе изучения сейсмических волн скоростных землетрясения актуальной проблемой. очагов каждого является Скоростная неоднородность среды обычно определяется сейсмическим зондированием [1] и сейсмической томографией [2]. Сейсмическое зондирование основано на изучении волн, вызванных взрывом или ударом, а сейсмическое томография – на изучении волн (сейсмических лучей), излучаемых множеством землетрясений и взрывов. Скоростная неоднородность, определенная с помощью сейсмической томографии, является осредненной характеристикой среды. Изучение объемных сейсмических волн землетрясений показало [3-6], что скорости волн каждого землетрясения на эпицентральном расстоянии до 100 км выражает свойство реальной среды в пределах очага. Имеющиеся годографы указывают, что начальные скорости волн остаются мало измененными при их распространении на близкие расстояния. Скорости волн множества гипоцентров в объемной модели позволят выделить детальные, дифференцированные скоростные неоднородности в пределах очагов и проследить динамику их изменения в геофизической среде.

Рассмотрим скорости сейсмических волн очагов близких землетрясений в квадрате φ =41.5-43.5°, λ =72,5-80° Северного Тянь-Шаня, например за апрель 2015 г., записанных сейсмическими станциями сетей KNET (Kyrgyzstan Telemetered Network) и KRNET (Kyrgyz Republic Digital Network). В пределах долгот: 73.5°, 74.5°, 76.5-77°, 78.5° отмечаются высокоскоростные (Vp≥6.4 км/сек, Vs≥3.7 относительно км/сек) неоднородности, а между ними в пределах долгот: 74°, 75°, 76°, 77.5°, 79° низкоскоростные неоднородности. В пределах долгот: 73°, 74-75°, 76°, 77°, 78,5° отмечаются области относительно низких значений Vp/Vs, а между ними - области с высокими значениями. Особо отличается область в пределах долготы 74° между широтами 42.5-43°, где отмечается область с высоким значением Vp/Vs> 1.77.

В низкоскоростных неоднородностях соотношения величин Vp, Vs и Vp/Vs указывают [4, 5, 6] на места возможного проявления флюидов (западная часть Заилийского поднятия) и частичного плавления (западная часть Восточно-Кыргызского поднятия в пределах долины р. Аксу).

Распределения скоростей Vp, Vs и отношения Vp/Vs по глубинам по меридиональному разрезу в полосе λ =76.5-77° имеют свои особенности. В южной части разреза (профиля) на глубинах 30-60 км выделяется круто залегающая высокоскоростная неоднородность. Верхняя часть ее сужена, а нижняя часть - широкая до 10 км. На глубинах 50-60 км она приобретает пологое северное падение, протягивается на расстояние около 80 км и далее приобретает снова южное падение под углом около 50°. Данная

высокоскоростная неоднородность низкоскоростной подстилается неоднородностью. Севернее круто падающей высокоскоростной неоднородности наблюдается низкоскоростное тело на глубинах 15-40 км, которое вверх по разрезу расширяется до 10 км. На глубинах 20-40 км под низкоскоростной неоднородностью высокоскоростная выделяется неоднородность с пологим южным падением протяженностью около 30 км. Следует отметить, что высокоскоростные неоднородности имеют большие значения Vp/Vs, а низкоскоростные неоднородности характеризуется малыми значениями Vp/Vs. В низкоскоростных неоднородностях, на основе соотношении между Vp, Vs, Vp/Vs, отмечается [4, 5, 6] возможность проявления флюидов в пределах Иссык-Кульской впадины и вероятность частичного плавления на сопряжении Кунгейского поднятия и Иссык-Кульской впадины.

Интересно проследить изменение скоростной неоднородности во времени и с глубиной очагов. Рассмотрим изменение скоростных неоднородностей в ячейке – квадрате φ=42-42.5°, λ=76.5-77° (западная часть Иссык-Кульской впадины и ее горного обрамления) Северного Тянь-Шаня. В начале апреля 2015 г проявились на глубинах около 10-15 км и 20-30 км высокоскоростные (Vp, Vs) неоднородности, которые в середине апреля постепенно сменялись низкоскоростными неоднородностями (рисунки 1,2). Далее после 20 апреля на глубинах 10-20 км проявилась относительно высокоскоростная субвертикальная неоднородность, которая свою очередь 25 апреля сменилась низкоскоростной неоднородностью. На 20 глубинах 35-40 с апреля КМ отметилась низкоскоростная неоднородность. Вышеотмеченные низкоскоростные неоднородности Vp/Vs, характеризуются малыми значениями а высокоскоростные неоднородности характеризуются относительно большими значениями Vp/Vs (рис.3). Соответственно, в низкоскоростных неоднородностях [4, 5, 6] проявились флюиды.



Рис.1. Изменение скоростной (Vp) неоднородности во времени и с глубиной очагов землетрясений в квадрате ϕ =42-42.5° λ = 76.5-77° Северного Тянь-Шаня.



Рис.2. Изменение скоростной (Vs) неоднородности во времени и с глубиной очагов землетрясений в квадрате ϕ =42-42.5° λ = 76.5-77° Северного Тянь-Шаня.



Рис.3. Изменение скоростной (Vp/Vs) неоднородности во времени и с глубиной очагов землетрясений в квадрате φ =42-42.5° λ = 76.5-77° Северного Тянь-Шаня. Стрелками обозначены места возможного проявления флюидов.

Построенная пространственная модель распределения скоростей сейсмических волн на эпицентральном расстоянии 100-220 км характеризует, очевидно, нижнюю часть земной коры. В пределах долгот: 73°, 75°, 76.5°, 77.5°, 78.5°. наблюдаются относительно высокоскоростные (Vp≥6.35 км/сек) неоднородности, а между ними - относительно низкоскоростные неоднородности. При этом на северо-западной части территории преобладают высокоскоростные неоднородности.

Аналогично, в распределении скоростей поперечных волн Vs в пределах долгот: 73°, 75°, 76.5°, 77.5°, 78.5° наблюдаются относительно высокоскоростные (Vs≥3.65км/сек) неоднородности, а между ними - относительно низкоскоростные неоднородности, а на северо-западной части территории преобладают высокоскоростные неоднородности

В распределении значений Vp/Vs выделяются области со значениями Vp/Vs≤1.70 на южной части территории в пределах долгот:73.5°, 74.5°, 75.5° и на северо-восточной части территории в пределе долготы 78°. На основе соотношения между Vp, Vs, Vp/Vs в нижней части земной коры отмечается возможность проявления флюидов в восточной части Чилийского поднятия, на сочленении Западно-Кунгейского поднятия и Иссык-Кульской впадины, а также вероятность частичного плавления - южнее Восточно-Кыргызского поднятия, на сочленении Центрально-Кунгейского поднятия и Иссык-Кульской впадины и Иссык-Кульской впадины [4, 5. 6].

Построенная пространственная модель распределения скоростей сейсмических волн на эпицентральном расстоянии более 220 км характеризует верхнюю часть мантии. В пределах долготы 74-75.5° южнее Восточно-Кыргызского поднятия и долготы 78-79.5° около Восточно-Кунгейского поднятия выделяются высокоскоростные (Vp≥8км/сек) области, а между ними в пределах Кунгейского и Заилийского поднятий низкоскоростная область. Аналогичная картина отмечена в распределении пределах долгот 73,5-75° и 78° скоростей Vs. В выделяются высокоскоростные (Vs>4.55км/сек) области, а между ними в пределах Кунгейского и Заилийского поднятий - низкоскоростная область. В значений Vp/Vs выделяются области с распределении высокими значениями (Vp/Vs≤1.79) в пределах долгот:74°-75° южнее Восточно-Кыргызского поднятия, 75°-76° около Западно-Кунгейского поднятия и 78.5°-79.5° около Восточно-Кунгейского поднятия. В пределах долготы 77°-78° отмечается область с низкими значениями Vp/Vs<1.72.

На основе соотношения скоростей сейсмических волн Vp, Vs, Vp/Vs в верхней мантии отмечается вероятность проявления флюидов и частичного плавления в области Кунгейского и Заилийского поднятий в пределах долгот 76 - 77° [4, 5. 6].

Заключение

На основе данных сетей цифровых сейсмических станций KNET, KRNET и предложенной методики изучения сейсмических волн очагов землетрясений Северного Тянь-Шаня (в квадрате φ=41.5-43.5°, λ=72,5-80°) за апрель 2015 г. получены нижеследующие результаты:

- Построены модели детальных скоростных неоднородностей Vp, Vs, Vp/Vs по сейсмическим волнам очагов близких землетрясений за апрель 2015 г. в координатах: долгота – широта – скорость сейсмических волн; широта - глубина - скорость сейсмических волн; время – глубина - скорость сейсмических волн. Отмечено, что высокоскоростные и низкоскоростные неоднородности чередуются вдоль активных структур в широтном направлении. Установлено изменение скоростных неоднородностей с глубиной и во времени. В пределах ряда очагов выделены места возможного проявления флюидов и частичного плавления.
- 2. Построены модели распределения скоростей Vp, Vs, Vp/Vs сейсмических волн на эпицентральных расстояниях 100 - 220 км и более 220 км, соответственно, нижней части земной коры и верхней мантии. Наблюдается чередование высокоскоростных И низкоскоростных неоднородностей в нижней части земной коры и верхней Установлено, мантии В широтном направлении. ЧТО высокоскоростная неоднородность южнее Восточно-Кыргызского поднятия характеризуется высокими скоростями сейсмических волн Vp=9-10 км/сек и Vs=4.7-5.0 км/сек. В отдельных низкоскоростных неоднородностях выделены участки возможного проявления флюидов и частичного плавления.

Литература

- Гамбурцев Г.А. Избранные труды, том 2. Основы сейсморазведки.
 М.: Наука, 2003. -442 с.
- 2. Андерсон Д.Л., Дзевонский А.М. Сейсмическая томография. //В мире науки, 1984, №12. С. 16-25.
- Aki K. Lee W. H. K. Determination of Three-Dimensional Velocity Anomalies under a Seismic Array using fist P Arrival Times from Local Earthquakes, 1 A Homogeneous initial model. //J. Geophys. Res., 1976, vol.81, pp.4381-4399.
- Омуралиев М., Омуралиева А. Способ определения глубин землетрясений вблизи цифровых сейсмических станций и тонких скоростных 3D неоднородностей участка литосферы в области очагов. Патент KG 661 C1. 2004.
- Omuraliev M., Omuralieva A. Late Cenozoic tectonics of the Tien Shan, Central Asia.-2004. -166 p.
- Омуралиева А., Омуралиев М., Джумабаева А. Локальная скоростная неоднородность зоны Южно-Кочкорского разлома, ее сейсмичность и Кочкорское землетрясение Тянь-Шаня 2006 г. // Известия НАН КР , -2009, -№2, -С.32-46.

КОРОВЫЕ ЗОНЫ НИЗКИХ СКОРОСТЕЙ – ОБЛАСТИ СОВРЕМЕННОЙ РЕЛАКСАЦИИ СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Корчин В.А.

Институт геофизики им. С.И.Субботина НАН Украины, Киев, Украина; <u>korchin@igph.kiev.ua</u>

EARTH'S CRUST LOW VELOCITY ZONES ARE MODERN RELAX AREAS OF SEISMIC-TECTONIC PROCESSES

Korchin V.

S.I.Subbotin Institute of Geophysics of NASU, Kiev, Ukraine; <u>korchin@igph.kiev.ua</u>

Глубинными сейсмическими литосферы исследованиями установлены аномалии упругого поведения минеральной среды на различных глубинах в виде, так называемых, зон низких скоростей (3HC). Зоны выявлены в континентальной и океанической коре, в районах различной тектонической активности на глубинах 3-25 км (рис. 1, а). Эти зоны имеют мощность от нескольких метров до 20 км с уменьшением скорости в них от десятков метров на секунду до 0,4÷0,6 км/с. Абсолютные значения скорости в зоне обычно 6,1±0,4 км/с. (в тектонически активных регионах $V_{Pmin} \approx 5,6 \div 6,6$ км/с) [1]. Коровые ЗНС, как правило, ограничены по площади и вертикали. Природа зон недостаточно изучена. Ряд исследователей полагает, что они вещественного происхождения, другие связывают их с тектоническими нарушениями сплошности коры (зоны повышенной трещиноватости, подобие горизонтальным разломам). Есть

мнение, что в области ЗНС происходит понижение литостатического давления, обусловленное воздыманием верхней части пород земной коры над зоной за счет тектонических сил, направленных навстречу друг к другу и образованием упругой «арки». Каждый из предложенных вариантов образования зон низких скоростей в земной коре может существовать, объяснимы однако трудно условия возникновения И механизмы реализации повсеместно на глубинах 5-25 ИХ КМ В различных геологических, тектонических и геотермических условиях.

Многолетними экспериментальными исследованиями горных пород различного минерального состава в условиях высокого давления и температуры, нами установлены сложные зависимости изменения их параметров глубиной [1-3]. Суть упругих С экспериментальных исследований сводится к определению упруго-плотностных параметров пород в зависимости от программного изменения в аппарате высокого РТ-параметров, соответствующих давления конкретным значениям давления (P) и температуры (T) на различных глубинах литосферы. Образец породы в эксперименте как бы «погружается» на определенную глубину, при этом контролируются его характеристики (рис. 1, б, в).



Рис. 1. а – изменение распространения скорости сейсмических волн некоторых участков УЩ, б – изменения скорости экспериментальных значений Vp=f(PT), в – средние значения $\rho=f(H)$ в различных гранитах УЩ.

На экспериментальных кривых $V_{P,S}=f(PT)=f(H)$ и $\rho=f(H)$ выявлены области инверсии скоростей. С увеличением глубины, другими словами, термобарических параметров опыта (РТ), воздействующих на образец породы после некоторого увеличения V_{P.S} и ρ наблюдается область их уменьшения. Затем скорости и плотности вновь возрастают. Таким образом, на зависимости $V_{P,S} = f(PT) = f(H)$ образуется зона низких скоростей и плотносги. Эти экспериментальные зоны хорошо коррелируются по своей конфигурации и местоположению со скоростными аномалиями, выявленными в земной коре методом ГЗС (рис. 1, а) [1-4].

Независимо от методик, экспериментально по нескольким РТпрограммам или расчетами по изобарам и изотермам скоростей установлено, что существует пороговое значение изменения с глубиной температуры $\left(\frac{\partial T}{\partial H}\right)$ при котором возникают области аномального упругого состояния минерального вещества – зоны низких скоростей. Изменения с глубиной скорости распространения упругих волн (V_P) в породе минерального состава быть постоянного может рассчитано по соотношению: $\frac{\partial V}{\partial H} = \left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_{T} \frac{\partial P}{\partial H} + \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_{T} \cdot \frac{\partial T}{\partial H}$. Зоны низкой скорости в земной определяются условием: $\frac{\partial V}{\partial H} < 0$. Поскольку $\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T, \frac{\partial P}{\partial H}, \frac{\partial T}{\partial H}$ коре положительны, а $\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_{p} < 0$, то для образования зоны необходимо выполнение условия для абсолютных величин:

$$\left| \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T \cdot \frac{\partial P}{\partial H} \right| < \left| \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P \cdot \frac{\partial T}{\partial H} \right|$$
(1)

В земной коре, в большинстве случаев, изменение литостатического давления с глубиной можно считать постоянной величиной. Так, на глубинах от 3 до 40 км для древних щитов $\left(\frac{\partial P}{\partial H}\right) \approx 0.24 \div 0.32 \kappa \delta a p / \kappa M$. Градиент изменения температуры на этих глубинах варьирует в широких 123

пределах – от 5 до 25 °С/км [3]. Исследования показали, что относительные увеличения скоростей от давления при комнатных Т характеризуются двумя участками: Р=0-2кбар – область максимального увеличения скорости, P>2 кбар – градиент изменения скорости минимальный. Как правило изменение скорости от температуры при атмосферном давлении имеет три участка: T<80-100°C (минимальные изменения), $T \approx 80-250^{\circ}$ С (максимальные изменения V_P). Дальнейший нагрев в интервале (T=250÷600°C) приводит к невысокому уменьшению скорости. Относительные изменения скорости при компенсирующем постоянном давлении (изобары) и постоянной внешней температуре (изотермы) отличаются по абсолютным величинам. В интервале 20-70 °C при *P*<0,7 кбар изменения скоростей от температуры незначительны; т.е с глубиной до 2-3 км скорости всегда интенсивно возрастают. Это обусловлено увеличением V_P от давления за счет уплотнения породы. Интервал T=100÷250°C – область наиболее интенсивных изменений $V_{P} = f(T)$. Здесь возможно уменьшение скорости за счет действия температуры в два раза при атмосферном давлении и порядка 30-10 % при компенсирующем давлении $P \approx 1 \div 4 \kappa \delta a p$. Именно в этом интервале давлений и температур ($P\approx 1,2-3,5$ кбар; $T\approx 110\div 250^{\circ}$ C) наблюдаются наибольшие отрицательные изменения скорости распространения упругих обнаруживаются волн В породах И ЗОНЫ низких скоростей. Экспериментальными исследованиями установлен: $\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_{r} = -2.7 \pm 0.5$ (P \approx 0,5) кбар); -0,7±0,3 (*P*=2 кбар); -0,33±0,1 м/с.°С (*P*=5кбар) и *V*_P от давления при различных постоянных температурах $\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_{T} = 0.8 \pm 0.3$ (интервал давления 0-2 кбар, температура 20÷80°С); 0,01±0,005 (при *Р*≈2÷5 кбар, *T*≈20÷80°С); 0,04 \pm 0,01 (при $P\approx 2\div 5$ кбар, $T\approx 265^{\circ}$ C). На основании этих данных и опытов, выполненых по программам (низко и высокотемпературным

режимам), расчетами установлено, что случае реализации В низкотемпературного режима опытов $\left(\frac{\partial T}{\partial H} < 9 - 11 \frac{{}^{o}C}{\kappa_{M}}\right)$ зоны инверсии $V_P = f(PT) = f(H)$ не проявляются. скоростей зависимостях Если на температурный градиент $\frac{\partial T}{\partial H} > 15 \div 20 \frac{{}^{o}C}{m}$ в интервале давлений 1,8÷3,5 кбар на зависимостях V_P=f(PT) зоны низких скоростей проявляются четко. Уменьшение скоростей в зонах для различных образцов пород варьируют от -10 до -250 м/с (рис. 1, б) [1, 2]. Мощность слоев с понииженой скоростью от 2 до 20 км (60 % в интервале 6-12 км). Как правило, глубины минимальных значений V_P расположены в интервале суперпозиции давлений и температур, соответствующих 5-22 км. Как видим (рис. 1, б; 2, а, б), конфигурация экспериментальных зон низких скоростей (глубина залегания, мощность, занижение скорости) подобны обнаруженным в ходе глубинного сейсмического зондирования земной коры (рис. 1, а). Это дает нам право предполагать, что вероятнее всего, в земной коре на указанных глубинах зоны низких скоростей имеют термодинамическую природу [1, 2].



Рис. 2. Гистограммы распределения по глубине: а – минимальных значений экспериментальных скоростей $V_{P_{3KC}}=f(PT)$ в ЗНС [1]; б – центров ЗНС сейсмических скоростей для щитов [4]; в – фокусов землетрясений, зарегистрированных на территории Финляндии в интервале H=5-25 км [4 (стр. 106)].

Обобщая результаты комплексного структурного исследования различных пород при высоких давлении и температуре или после их воздействий [1] оптическими, рентгеноструктурными, электрономикроскопическими методами, анализируя материалы изучения упругих характеристик пород, можно сделать ряд предположений о природе вертикальной упругой зональности минерального вещества отдельных горизонтов земной коры. Прежде всего, в зоне низких скоростей (H=3÷15) км, $P=1,5\div3$ кбар, $T=150\div250^{\circ}$ С) уменьшаются упругие константы пород (E, G, K). Значительно увеличивается двойникование минералов, межзерновые милонитизации, расширяются границы 3a счет ИХ увеличивается количество магистральных микротрещин. Происходит растрескивание и разрушение газово-жидких включений. Уменьшаются блоки мозаики отдельных зерен минералов. Увеличивается плотность дислокаций В блоках И уменьшается в межзерновых границах. Увеличивается относительная деформация зерен. Увеличиваются дефекты упаковки минералов и число центров генерации дислокаций, которые перемещаются в основном за счет трансляционного скольжения.

Совокупность обнаруженных микроструктурных изменений породы свидетельствует о низкотемпературном упругом упрочнении и хрупком разуплотнение минеральных элементов, что характерно катакластическому преобразованию [1]. В интервале РТ-изменений породы данном происходит разуплотнение минеральной среды – явление дилотансии. Основной механизм этого – совместное действие развивающихся в среде неравномернораспределяющихся неоднородных напряжений по объёму образца, иногда достигающих в локальных контактах значений больше предела прочности отдельных минералов, приводящих к хрупким на микроуровне разрушениям среды. Такому разуплотнению способствуют коэффициенты разноориентированные анизотропные линейного

расширения отдельных минералов, эффект разрушения газово-жидких включений, миграция свободной воды и газа по микротрещинам породы.

При дальнейшем увеличении глубины «погружения» породы, т.е. программного воздействия на образец *РТ*-параметров (H>15 км, P>5.5 кбар, T>300°C) наблюдается интенсивный рост упругих параметров породы. После постепенного уплотнения породы включаются механизмы, характерные пластическим преобразованиям среды, происходит ee совершенствование за счет вещественных и структурных (на уровне дефектов) перестроек. Пользуясь элементарных геологической терминологией, в интервале глубин 20-40 км наблюдается процесс регионального метаморфизма.

Таким образом, зоны низких скоростей в земной коре возникают в тех случаях, когда градиент температуры на соответствующих глубинах превосходит определенный порог, а давление не способно компенсировать нарушение минеральной среды, вызванное действием температуры. Они вещества определенных глубинах весьма чувствительна на К температурам. Флуктуации температуры на глубинах 7-20 км могут изменять параметры зоны вплоть до их исчезновения. Причиной такого явления может быть изменеие теплового режим за счет изменения Нами физических характеристик пород в зоне. экспериментально подтверждено, что существует тесная связь в различных РТ-условиях между теплопроводностью пород и их упругими характеристиками.

Изменение теплопроводности в земной коре в каком-то интервале глубин прямопропорционально изменению упруго-плотностных характеристик минеральной среды и обратнопропорционально температуре. Расчетами и экспериментальными данными $V_P = f(PT)$, $\lambda = f(PT)$ было показано [2], что на зависимости $\lambda = f(H)$ выделяются области минимальных значений, совпадающие с подобными для скоростей .Таким образом, зона низких скоростей в земной коре характеризуется пониженными значениями λ и

является отражающим горизонтом для теплового потока, источником которого являются термоактивные процессы на больших глубинах. По классическим законам термодинамики и теплофизики наличие слоя с пониженной теплопроводностью на пути распространения тепловой энергии, приводит к повышению температуры на нижнем участке слоя и понижению ее на верхнем. Таким образом, нарушается равновесное РТусловие существования зоны низких скоростей (1). С понижением температуры верхней области зоны состояние пород верхнего слоя выравнивается с состоянием вышележащих пород и верхняя кромка зоны Одновременно, пропорционально опускается ВНИЗ. разнице теплопроводности минеральной среды зоны В нижней части подстилающих ее пород происходит перегрев подошвы зоны, что приводит к нарущению опять же условия (1) и нижняя кромка зоны опускается вниз. Более высокое давление останавливает рост зоны за счет компенсации термических структурных нарушений пород давлением. Таким образом, зона изменяет свою конфигурацию – ее мощность может увеличиваться (с увеличением интенсивности глубинного теплового потока) или она исчезнет (с понижением поступления достаточного тепла с глубины). Подобная термодинамическая нестабильность зоны низкой скорости обуславливает их эпизодичность проявления в земной коре, а также их миграцию по глубине и горизонтали в зависимости от флуктуации температурного поля в земной коре.

Термобарическое петрофизическое моделирование участков литосферы УЩ с коровыми зонами низких сейсмических скоростей (на примере Приднепровья и Западно-Ингулецкой зоны) показало, что ЗНС в коре слабо зависит от минерального состава пород на соответствующих глубинах, а в первую очередь, связаны с геотермической обстановкой изучаемой площади (q – теплового потока вдоль профиля) [2, 3].

Зоны низких скоростей наиболее активные горизонты современного преобразования минеральной среды, изменения структурных особенностей земной коры, даже в тектонически спокойных регионах (например, кристаллических щитах). Это области наиболее выраженной самоорганизации корового материала нашей планеты. Она претерпевает постоянные динамические изменения. Наличие зон низких скоростей в земной коре является ее неотъемлемой частью, стабилизирующей ослабленных устойчивость литосферы. В силу здесь упругих характеристик пород – это область релаксации интенсивных полей напряжений тектонически активных процессов. Здесь, на определенных включаются глубинах коры активно механизмы дилатаксионного разрушения минеральной среды [5]. Термобарические зоны низких сейсмических скоростей (область пониженных упругих параметров пород, их плотности и повышенной пористости) являются спусковым механизмом интенсивных релаксационых процессов в земной коре тектонически активных регионах в виде образования здесь очагов землятресений и разломов различной направленности, а такж образования некоторых сейсмических регистрируемых сеймическими границ. методами. Подтверждением этому служит наличие на глубинах ЗНС наибольшего количества очагов коровых землетрясений (рис. 2, в). Зона низких скоростей является геоактивной областью коры за счет миграции глубинных флюидов и других форм массопереноса газообразных и жидких сред, дифференциации глубинных растворов, формируя в отдельных областях локализации полезных ископаемых. Таким образом, коровые зоны низких скоростей могут являться глубинным поисковым критерием полезных ископаемых.

Литература

1. Корчин В.А. Термодинамика коровых зон низких сейсмических скоростей (новая научная гипотеза). Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing, 2013. 280 с.

 Корчин В.А., Буртный П.А., Коболев В.П. Термобарическое петрофизическое моделирование в геофизике. Киев: Наукова думка, 2013.
 312 с.

3. Буртный П.А., Корчин В.А., Карнаухова Е.Е. Моделирование вещественного состава глубинных горизонтов земной коры (новая концепция интерпретации геофизических данных). Saarbrücken: LAP Lambert Akademic Publishing, 2013. 188 с.

4. Трипольский А.А., Шаров Н.В. Литосфера докембрийских щитов северного полушария земли по сейсмическим данным. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2004. 159 с.

5. Николаевский В.Н. Геомеханика и флюидодинамика. Москва: Недра, 1996. 44

СЛОЖНОНАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПЛАГИОГРАНИТОВ КРИВОРОЖСКОЙ СВЕРХГЛУБОКОЙ СКВАЖИНЫ В ЗОНАХ ТЕРМОБАРИЧЕСКОГО РАЗУПЛОТНЕНИЯ

Корчин В.А., Карнаухова Е.Е.

Институт геофизики им. С.И.Субботина НАН Украины, Киев, Украина; <u>korchin@igph.kiev.ua</u>

A COMPLEXTENSE STATE OF PLAGIOGRANITES OF THE KRIVOROZHSKAYA DEEP BOREHOLE IN ROCKS THERMOBARIC DISCOMPACTED ZONES

Korchin V., Karnaukhova E.

S.I.Subbotin Institute of Geophysics of NASU, Kiev, Ukraine; korchin@igph.kiev.ua

С целью прогноза упругого состояния пород при проходке СГ-8 была отобрана коллекция из 50 проб плагиогранитов (архейские гранитоиды сурско-токовского комплекса) из зоны разрушения ствола или зоны мощных тектонических разрушений (интервалы 3620-3550 и 3804-3820 м) малодеформированного массива (2630-2690 И 3025-3356 м). И Исследованные плагиограниты представляют собой продукт катакластического метаморфизма. Структура их лепидогранобластовая, бластомилонитовая, бластокатакластическая. Главные породообразующие минералы: полевой шпат, кварц, биотит. В некоторых шлифах встречается вторичный микроклин. Акцессорные минералы представлены апатитом, цирконом, рудным минералом. Плагиоклаз часто серицитизирован и альбитизирован. В породах присутствуют вторичные минералы: хлорит, карбонат, эпидот.

Для исследуемых плагиогранитов характерно присутствие линзовидных участков мелких зерен или отдельных более крупных зерен полевого шпата, промежутки между которыми выполнены тонкозернистой основной массой, возникшей в результате милонитизации и последующего бластеза (перекристаллизации). Основным минералом последних является кварц, образующий чаще всего, мономинеральные ориентированные линзы или прослои. Параллельно последним расположены чешуйки биотита и мусковита, собранные в цепочки. Наличие таких слюдистых прослоев параллельной ориентировки и линз кварца определяет сланцеватую текстуру породы. Уцелевшие от раздробления индивиды плагиоклаза часто окружены и огибаются слоями слюдистых минералов, что придает породе волнисто-сланцевую текстуру. По степени катаклаза плагиогранитов образцы были разделены на катаклазированные, сильно катаклазированные с интенсивным развитием продуктов бластеза и милониты. Основная масса исследуемых пород испытала (судя по изученным шлифам) повторный катакластический метаморфизм. Процессы катаклаза проявляются, прежде всего, в появлении трещин, по которым образование агрегата шло тонкозернистого дробления. Ориентировка таких трещин совпадает со сланцеватостью породы и еще больше ее подчеркивает. Это относится к образованиям, в составе которых преобладает мелкозернистый продукт бластеза и в которых более четко проявляется сланцеватая текстура, что характерно для образцов массива.

У образцов зоны дробления, как показывает петрографический анализ, в большей мере сохранились минералы исходной породы. Здесь более четко проявляется повторный катаклаз в виде трещин, выполненных тонкозернистым агрегатом продуктов дробления, ориентированных согласно сланцеватости. Однако, при более детальном рассмотрении, в этих породах можно наблюдать еще одну систему неоднородностей, которые, очевидно, служили плоскостями скольжения при релаксации современных напряжений. Ориентированы они примерно под углом 40-45° к сланцеватости породы и проявляются в виде трещин, пересекающих шлиф, выполненных тонкоперетертым минералом. В крупных линзах новообразованного кварца это хорошо видно как по развитию мелких трещин, так и по проявлению блокового угасания в зернах, причем такая «блокировка» имеет четкую ориентировку под углом к длинной оси линзы. Эти разновидности относятся к милонитизированным плагиогранитам.

Для экспериментального изучения упругих параметров, в том числе анизотропии, из каждой пробы подготавливались параллелепипеды и по соответствующим срезам изготавливались шлифы. Из керна (образцы массива) выпиливалось по два кубических образца: один перпендикулярно образующей керна, второй – в соответствии с видимой текстурой. Исследование упругого состояния плагиогранитов ИЗ различных интервалов включало в себя следующий комплекс измерений. В первую очередь, на кубических образцах, предварительно сориентированных по петрографическим признакам, в трех направлениях были измерены скорости распространения упругих волн продольной поляризации V_P на частотах 0,15 и 1,2 МГц и в шести направлениях сдвиговых волн (V_S). Погрешность вычислений V_P , V_S составляла не более 0,5-0,1 %. Результаты высокочастотных измерений использовались для расчета средних упругих констант пород. Для более четкого определения сингонии исследованных плагиогранитов и выделения направлений осей слабой и сильной анизотропии часть образцов была представлена для измерений V_P и V_S в виде многогранников. Кроме того, для отдельных плоскостей кубических образцов определялось относительное изменение затухания распространения поперечных упругих волн в зависимости от направления смещения в волне. Третья часть образцов (наиболее

дробления была характерных) ИЗ 30H И массива изучена при гидростатическом давлении, а также в модельных *РТ*-условиях. Для этого скорости распространения упругих волн продольной поляризации (V_P) измерялись в 9 направлениях ориентированных многогранников породы, а скорости распространения упругих волн поперечной поляризации ($V_{\rm S}$) в 18 гидростатическом давлении и в программных РТ-условиях, при соответствующих месту отбора образцов. Для текстурированных пород обычно выполняются следующие требования к отбору и ориентации образцов. Главная ось симметрии среды выбирается перпендикулярно к напластованию, а два других взаимно ортогональных направлений лежат в плоскости слоистости. Детально с методикой измерений и рассчетов можно ознакомиться в [1-3].

Текстура пород – это своеобразная летопись тектонических событий, а ее изменения – это своеобразный переход, отражающий необратимые деформационные изменения внутреннего строения горных пород на микро макро уровнях, обусловленные геодинамическими процессами. И Кристаллическим породам присуще образование текстур вследствие необратимых изменений минерального вещества под влиянием полей напряжений, температур и различных геохимических процессов. Породы могут «течь» при различнных *РТ*-параметрах в процессе деформации, образуя линейной, плоскостной при ЭТОМ структуры c И линейноплоскостной ориентацией зерен, межзерновых границ. локализации дефектов. Структурно-текстурные характеристики пород тесно связаны с упругой анизотропией. Текстурированные среды по характеру анизотропии физических параметров можно дифференцировать по классам симметрии, которые связаны с историей их образования и симметрии векторности внешних воздействий. Как следствие, можно анизотропии физических предусмотреть характер ee И физикомеханических свойств. Возможен и обратный путь. Исследуются

физические и физико-механические свойства, устанавливается симметрия внешних физических воздействий. Определив упругую симметрию породы можно восстановить направления полей внешних воздействий. Сложность этих исследований заключается В разделении причин исходной анизотропии пород и неоднородности изменения их упругих параметров в направлениях, обусловленных наведенными вторичными различных структурными преобразованиями. Эти задачи разрешимы путем комплексного исследования упруго-анизотропных свойств образцов пород исследуемого массива в различных термодинамических условиях опытов. В работе представлены материалы изучения упругой анизотропии и структурно-текстурных особенностей образцов керна пород криворожской сверхглубокой скважины из зон разрушений и не нарушенных участков. Сделано обоснование влияния палеотектонических и технологических напряжений в породах на их структуру, физические свойства.

Район бурения СГ-8 характеризуется значительной палеотектонической активностью и интенсивными современными горизонтальными и вертикальными движениями отдельных участков и блоков, сопряженных с ним. Последние, очевидно, развивались на глубину и способствуют локальному разрушению ствола скважины в процессе бурения на отдельных наиболее благоприятных этому участках проходки.

На основании полученных при исследованиях данных, можно утверждать, что породы из зоны дробления характеризуются более низкими скоростями распространения упругих волн, чем их аналоги из массива (рис. 1). Характер оптических нарушений исследованных образцов был уточнен путем анализа анизотропии распространения упругой волны продольной поляризации. Анизотропия V_P более высокая в образцах из массива, где она обусловлена слоистой текстурой и преобладанием определенной ориентации породообразующих минералов.



Рис. 1. Вариационные кривые распределения V_P , V_S и анизотропии V_P (A) для пород массива (1) и зоны дробления (2), а также зависимости для V_P , измеренные на низких частотах (кривые 3, 4).

Последнее подтверждено изучением шлифов. Более низкие значения анизотропии ИЗ зоны дробления, очевидно, связаны с эффектом разориентации исходной структуры за счет разуплотнения межзерновых границ и наличия дополнительной сетки микротрещин, присущей этим зонам. Микроструктурные неоднородности минерального вещества вносят существенный вклад в характер его упругой анизотропии (уменьшая или увеличивая ее). Поэтому невысокая анизотропия некоторых образцов плагиогранитов из зоны дробления может быть обусловлена суммарным ориентированной эффектом исходной текстуры И сетки трещин, скоростную неоднородность Следовательно, осложняющих породы. породы в рассматриваемой зоне имеют более низкие упругие параметры и (или находились) в поле дополнительных находятся интенсивных напряжений, достаточных для структурного микроразрушения плагиогранитов массива. Дополняют этот вывод результаты расчетов анизотропии скорости распространения упругой волны продольной и поперечной поляризации, изученных образцам, ПО В трех взаимноперпендикулярных направлениях.

Было установлено, что породы массива относятся, в основном, к поперечно-изотропным средам (15 проб), частично к условно поперечно-

изотропной или ортотропной (соответственно 2 и 3 пробы). Породы зоны дробления относятся преимущественно к ортотропной среде (13 проб). Лишь один образец можно отнести к поперечно-изотропной среде.

В ходе геологического развития в плагиогранитах под воздействием сформировались текстурированные напряжений структуры С ЯВНО выраженными упругоанизотропными характеристиками, присущими поперечно-изотропным средам. Далее, под воздействием современных тектонических процессов, характерных для синклиналей, происходило структурное преобразование гранитов, которое просматривалось при петрографическом их изучении в виде вторичных изменений исходной структуры или текстуры. Эти изменения происходили, а возможно, и происходят в настоящее время под воздействием направленных не скомпенсированных литостатическим давлением тектонических сил. Их действия проявляются В виде направленного механического деформирования породы.

Анализ материалов инженерно-геологических исследований пород, вскрытых СГ-8, показал, что характер распределения их прочностных, плотностных и упругих свойств зависит от конкретной тектонической обстановки и напряженного состояния в массиве, а также выражается в нарушении его сплошности и образовании систем трещин [2-5].

Ортотропная среда характеризуется двумя плоскостями симметрии. Наличие двух плоскостей анизотропии (сильной и слабой) в слоистых средах, очевидно, обусловлено влиянием ориентированных механических дефектов (трещин, сдвигов и разуплотненных границ зерен) на исходную анизотропную структуру, которая сформирована ориентацией породообразующих минералов. Ось слабой анизотропии указывает на плоскость с минимальными значениями скоростей упругих волн (т.е. с ослабленными механическими свойствами) и возможного направления действующих современных тектонических напряжений. Анализ матриц

скорости в основном подтверждает предварительные предположения, основанные на данных многочисленных измерений и петрографического анализа пород.

Полагаем, ЧТО ось симметрии поперечно-изотропных структур определяется направлением минимальных значений скорости распространения упругой волны продольной поляризации. Для пород массива оказалось, что она направлена перпендикулярно слоистости образца и находится в плоскости образующей керна. Как правило, на этом участке скважины слоистость пород ориентирована к оси керна под углом от 45° до 20°. Была обнаружена тенденция: с увеличением угла падения (т.е. уменьшением угла между осью керна и плоскостью слоистости) по упругим параметрам породы изменяются от поперечно-изотропной среды к ортотропной.

Таким образом, изучение упругой симметрии пород показало, что наиболее направление дефектообразующих вероятное СИЛ В плагиогранитах ориентировано под углом 45° к стволу скважины (рис. 2). Максимальный разрушительный эффект они производят, когда слоистость плагиогранитов ориентирована вдоль образующей керна (вертикальное падение слоистости), а напряжения в основном релаксируют в плоскости расслоения. Сопоставление данных исследований зависимостей скоростей упругих волн от давления для пород из зоны дробления и массива позволило установить, что более интенсивно компенсируются наведенные напряжения у пород из зоны дробления. Влияние структурных нарушений действием гидростатического давления снижается и под упругая анизотропия образцов уменьшается или вообще исчезает. Полагаем, что значение дополнительных современных напряжений, способствующих разуплотнению породы, соответствует этому давлению. Этого нет у пород массива. Итак, в зонах дробления породы находятся под воздействием, вероятнее всего, растягивающих напряжений в отличие от вышележащих

слоев, за счет подвига юго-западного направления, что способствует разуплотнению пород и разрушению ствола скважин при вскрытии этих горизонтов бурением (рис. 2). Можно предположить, что на этих глубинах верхние слои плагиогранитов как бы сползают вниз под углом 45° к оси скважины, а нижние поднимаются под тем же углом. Причем, зоны дробления проявляются лишь там, где ориентация слоистости пород наиболее приемлема разрушению (вертикально к оси керна) и под углом 30-60° к действию тектонических напряжений.



Рис. 2. Ориентация плагиогранитов и изменения их дефектной структуры в зонах разрушения при проходке скважины: 1 - палеоструктура, 2 - следы катакластического метаморфизма, 3 - трещины современных тектонических напряжении, 4 - линии сброса и скольжения на границах зон дробления, $\sigma_{\rm r}$ и $\sigma_{\rm p}$ - тектонические напряжения разгрузки.

Необходимо дополнить, что в интервале глубин 3-8 км возможно снижение упругих параметров залегающих здесь пород за счет глубинных *PT* условий. Установлено, что в интервале 3-8 км (*P*=0,075-0,22 ГПа; *T*=65-95°С) зависимости упругих параметров плагиогранитов от глубины характеризуются аномально низкими значениями (уменьшаются значения V_P , V_S , модулей Юнга и сдвига) [1-5]. Повышается хрупкость пород (коэффициент Пуассона уменьшается), возрастает их разуплотнение

(сжимаемость увеличивается) и уменьшается плотность. Все это способствует снижению устойчивости ствола скважины при бурении. Именно термобарические аномалии упругого состояния большинства пород на этих глубинах объясняют весьма сложную в структурном отношении обстановку, фиксируемую при проходке СГ-8. Подтверждением последнего может служить обнаруженная в разрезе общирная зона интенсивного кавернообразования в интервале глубин 5100-5500 м.

Эта информация может служить предвестником обнаружения возможных аналогичных зон разрушения при проходке сверхглубоких скважин в кристалических массивах.

Литература

1. Корчин В.А. Термодинамика коровых зон низких сейсмических скоростей (новая научная гипотеза). Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing, 2013. 280 с.

2. Буртный П.А., Корчин В.А., Карнаухова Е.Е. Моделирование вещественного состава глубинных горизонтов земной коры (новая концепция интерпретации геофизических данных). Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing, 2013. 188 с.

3. Корчин В.А., Буртный П.А., Коболев В.П. Термобарическое петрофизическое моделирование в геофизике. Киев: Наукова думка, 2013. 312 с.

4. Корчин В.А., Буртный П.А., Карнаухова Е.Е. Прогнозная оценка напряженного состояния плагиогранитов по СГ-8 на глубинах термобарического разуплотнения пород // Материалы Международной конференции «Геоинформатика: теоретические и прикладные аспекты». Киев, 14-17 мая 2012. CD.

5. Корчин В.А., Карнаухова Е.Е. Петрофизическое моделирование напряженно-деформационного и упругого состояния земной коры района Криворожской СГ-8 // Материалы III тектонофизической конференции в ИФЗ РАН «Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле». Москва, 8-12 октября 2012. Т. 2. С. 317-321.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В КРАЕВЫХ ЧАСТЯХ СТРУКТУРНО-НЕОДНОРОДНОГО СКАЛЬНОГО МАССИВА

Асанов В.А., Токсаров В.Н., Бельтюков Н.Л, Ударцев А.А.

Горный институт УрО РАН, г. Пермь, Россия, ava@mi-perm.ru

EXPERIMENTAL STUDIES OF STRESSES AT THE EDGES OF HETEROGENEOUS ROCK MASS

Asanov V.A., Toksarov V.N., Beltukov N.L., Udarshev A.A.

Mining Institute Ural Branch Russian Academy of Sciences, Perm, Russia, ava@mi-perm.ru

При разработке подземной рудных месторождений широко используются различные варианты камерных и камерно-столбовых систем разработки с поддержанием вышележащих пород на целиках. Предсказать расчетным путем срок службы целиков достаточно сложно из-за факторов: особенностей многочисленности влияющих строения, механических свойств рудных тел и вмещающих пород, степени трещиноватости, геометрических размеров конструктивных элементов системы разработки, характера напряженного состояния массива и т.д. Следует отметить, что геомеханические модели поведения горных пород во многих случаях не позволяют определить время разрушения краевых частей подземных конструкций, чтобы своевременно предусмотреть меры по предотвращению катастрофических проявлений горного давления. В значение приобретает вопрос разработки этой связи особое

экспериментально-теоретических методик оценки устойчивости конструктивных элементов систем разработки (целиков, потолочин) во времени, которые включают анализ состояния и свойств краевых частей массива, инструментальные измерения значений напряжений, действующих в приконтурном массиве, и обобщение экспериментальной информации с использованием методов математического моделирования.

При оценке устойчивости элементов подземных сооружений одним из основных этапов является экспериментальное исследование распределения напряжений в приконтурном массиве. В настоящее время опубликовано большое количество работ, посвященных разработке экспериментальных методов определения напряжений. Большинство методов основано на использовании различных вариантов разгрузки массива с последующим пересчетом измеренных деформаций в напряжения, что во многих случаях приводит к значительным погрешностям [1]. Практика экспериментальных исследований показала, что при изучении напряженного состояния структурно-нарушенных массивов целесообразно использовать методы, исключающие необходимость модельных переходов от измеренных деформаций напряжениям, базах измерений, к на значительно превышающих характерный размер неоднородности пород. Этим требованиям в большей степени удовлетворяют методы компенсации с использованием различного рода нагрузочных устройств, обеспечивающих восстановление исходного напряженного состояния в предварительно разгруженном массиве горных пород (метод компенсации напряжений с помощью гидродомкратов, частичная разгрузка массива, измерение напряжений с использованием эффектов памяти).

Для изучения напряженно-деформированного состояния породного массива используется гидродомкрат Гудмана фирмы Durham Geo Slope Indicator (США), который представляет собой каротажный зонд для измерения деформаций стенок скважины под действием приложенной

нагрузки (рис. 1). Экспериментальные исследования проводятся в скважинах диаметром 76,0 мм и глубиной до 10,0 м. Восстановление исходного напряженного состояния околоскважинного массива осуществляется путем нагружения стенок скважины на базе 200 мм. Оценка напряжений выполняется на основе использования эффектов памяти (эффект Кайзера). Анализ исследований показывает, что в настоящее время эффекты памяти установлены для большинства горных пород [2]. Они проявляются как в деформационных, так и эмиссионных (акустических и электромагнитных) эффектах.

Методика измерения напряжений основана на использовании метода компенсации напряжений с регистрацией интенсивности акустической эмиссии (АЭ) в процессе восстановления напряжений в околоскважинном пространстве. Величина, действовавших в массиве напряжений, определяется по скачкообразному изменению активности акустической эмиссии (эффект памяти) в момент превышения давления на стенки скважины над уровнем исходного напряжения (рис. 2).

Для отработки методики измерения напряжений выполнен комплекс лабораторных и натурных исследований по оценке влияния условий нагружения на интенсивность проявления АЭ. Определение напряжений в массиве производится следующим образом. Локальная разгрузка горных пород осуществляется с помощью бурения скважины диаметром 76,0 мм и глубиной до 6,0 м. Гидродатчик, соединенный посредством трубопровода с насосом, манометром и пресс-расходомером, устанавливается в скважину на необходимую глубину. Для регистрации сигналов акустической эмиссии в корпус домкрата вмонтирован пьезокерамический датчик с рабочей частотой 0,2 – 5,0 МГц, подключенный к счетчику импульсов АЭ. В гидродомкрат нагнетается рабочая жидкость, которая создает нагрузку на стенки скважины. При давлении (P) в гидросистеме ниже напряжений (σ_u), существовавших в массиве до его разгрузки, активность эмиссии

По незначительна. мере роста давления В гидросистеме В околоскважинном массиве возникают микроразрушения, которые генерируют акустические импульсы, принимаемые блоком регистрации АЭ. В момент достижения давления в гидродомкрате равном уровню напряжений, действовавших В массиве проведения ДО скважины. наблюдается резкое увеличение активности АЭ (проявление эмиссионного эффекта памяти), после которого следует спад активности АЭ до фоновых значений. Учитывая интенсивную трещиноватость массива, проявление эффекта памяти в виде всплеска активности АЭ, скорее всего, связано с переходом накопленной упругой энергии в необратимые деформации сдвига по существующим поверхностям ослабления. По давлению, фиксируемому в ЭТОТ момент манометром, оценивается значение напряжений, действовавших в массиве в месте установки датчика. После проведения эксперимента гидродомкрат перемещается в новую точку и цикл измерений повторяется. Исследования напряженного состояния всей приконтурного массива выполняются ПО длине скважины.



Рис. 1. Измерительный комплекс: 1 – гидродомкрат Гудмана; 2 – высоконапорные шланги; 3 – датчик давления; 4 – регистратор давления; 5 – гидравлический насос; 6 – регистратор деформаций; 7 – усилитель; 8 – блок регистрации АЭ; 9 – ноутбук



Рис. 2. Гистограмма активности АЭ при нагружении стенок скважины гидродомкратом: *1* – график изменения давления в гидросистеме; 2 – уровень исходных напряжений, действующих в массиве в плоскости нагружения
Особенностью гидродомкрата Гудмана является возможность создания нагрузки на околоскважинный массив в одной плоскости, что позволяет оценивать величины напряжений, действующие по различным направлениям [3].

Экспериментальные исследования напряжений выполнены на руднике Жоомарт. Месторождение Жаман-Айбат представлено пологопадающими залежами медистых песчаников мощностью 2 – 12 м, залегающими на глубинах 500 – 800 м. По геолого-структурному строению и составу руд и вмещающих пород это месторождение является аналогом Жезказганского. Отработка рудных тел ведется камерно-столбовой системой с оставлением междукамерных и барьерных целиков. Вовлечение в разработку новых участков месторождения связано с увеличением глубины ведения горных работ и как следствие ухудшением горно-геологических условий, что потребовало выполнения исследований напряженно-деформированного состояния пород приконтурного массива для уточнения параметров системы разработки.

Лабораторными исследованиями физико-механических свойств установлено, прочность на сжатие руды изменяется в широких пределах (90 – 280 МПа), среднее значение модуля упругости составляет 19,3 ГПа. Рудные тела и вмещающие породы характеризуются интенсивной структурной нарушенностью. Обследование стенок выработок на экспериментальных участках показало, что рудные тела характеризуются наличием нескольких систем трещин, определяющих блочное строение массива. Размер элементарного блока в массиве не превышает 0,15 м.

Исследования напряжений проводились В междукамерных И барьерных целиках панели 47 (рис. 3). Расстояние между осями барьерных целиков на панели составляет 128 м. Ширина барьерных целиков – 40 м, через каждые 38 пройдены прорезки. Сетка расположения Μ

междукамерных целиков 19×19 м. Размеры междукамерных целиков 10х10 м, при мощности отработки до 13 м. Глубина разработки составляет 605-610 м, мощность рудного тела в среднем составляет – 7 – 9 м. Осредненные результаты измерений вертикальных напряжений приведены на рис. 4.

Анализ результатов экспериментальных исследований показал, что нагрузка от веса вышележащих пород приходится в основном на барьерный целик. Распределение средних вертикальных напряжений по сечению барьерного целика имеет волнообразных характер (рис. 4, а). Величина вертикальных напряжений колеблется в диапазоне от 15 – 20 до 30 – 35 МПа. Ярко выраженная зона опорного давления отсутствует. Максимум вертикальных напряжений в барьерном целике предположительно расположен на глубине более 6 м.

б)

a)



Рис. 3. План экспериментального участка (а) и поверхность целика (б). Расстояние между локальными максимумами составляет порядка 1,0 - 1,5 м.

Волнообразный характер распределения напряжений свидетельствует о делении краевой части барьерного целика на отдельные блоки со стороной ребра 1,0 – 1,5 м. В данном случае, по-видимому, имеет место

эффект зональной дезинтеграции горных пород под действием напряжений, близких к пределу прочности породного массива.



Рис. 4. Распределение осредненных вертикальных напряжений по сечению барьерного (а) и междукамерного (б) целиков

Скачкообразный характер изменения вертикальных напряжений наблюдается и в междукамерном целике, что также объясняется блочным строением массива. Размер отдельностей, которые формируются в МКЦ под действием напряжений несколько ниже, чем в барьерном целике и составляет порядка 0,3-0,4 м (рис. 4, б). Междукамерный целик выполняет свою функцию по поддержанию непосредственной кровли и, скорее всего, находится на допредельной стадии деформирования.

Результаты инструментальных измерений являются исходной информацией для оценки устойчивого состояния грузонесущих элементов камерной системы разработки методами математического моделирования.

Список литературы

1. Курленя М.В. Теория и практика измерений напряжений в осадочных породах (обзор) // Измерение напряжений в массиве горных пород. – Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1972.

Лавров А.В., Шкуратник В.Л., Филимонов Ю.Л.
 Акустоэмиссионный эффект памяти в горных породах. – Москва: Изд-во МГГУ, 2004.

3. Асанов В.А., Токсаров В.Н., Евсеев А.В., Бельтюков Н.Л. Опыт изучения акустоэмиссионных эффектов памяти в соляных породах с использованием скважинного гидродомкрата Гудмана // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М., МГГУ, 2010. – 10.

4. Опарин В.Н., Тапсиев А.П., Розенбаум М.А. и др. Зональная дезинтеграция горных пород и устойчивость подземных выработок. – Новосибирск, ИГД СО РАН, 2008.

УПРУГОЕ И НЕУПРУГОЕ ПОВЕДЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ТРЕХОСНОМ СЖАТИИ

Рычков Б.А., Комарцов Н.М., Кулагина М.А.

Кыргызско-Российский Славянский университет, Бишкек, Кыргызстан, rychkovba@mail.ru, komartsovnm@mail.ru, kulagina@krsu.edu.kg

ELASTIC AND INELASTIC BEHAVIOR OF ROCKS UNDER TRIAXIAL COMPRESSION

Rychkov B.A., Komartsov N.M., Kulagina M.A.

Kyrgyz-Russian Slavic university, Bishkek, Kyrgyzstan, rychkovba@mail.ru, komartsovnm@mail.ru, kulagina@krsu.edu.kg

Горные породы на определенной глубине в массиве находятся в полуразрушенном состоянии под действием неравномерных объемных давлений. Такое состояние в лабораторных условиях моделируется неравномерным трехосным сжатием цилиндрических образцов горных пород. При этом получают так называемую полную диаграмму «напряжение-деформация», которая отражает деформацию до предела прочности – это «восходящая» ветвь диаграммы (напряжение постоянно растёт) – затем следует «нисходящая» ветвь, когда деформация растёт (при понижении напряжения), но сохраняется несущая способность образца вплоть до предела остаточной прочности, при достижении которой образец разделяется на отдельные части. В данной работе рассмотрена восходящая ветвь указанной диаграммы на примере диорита и перидотита. Соответствующие экспериментальные данные получены (путём оцифровки) из графиков, представленных в монографии [1].

Программа испытаний представляла вначале всестороннее (гидростатическое) давление образца до определенной величины, а затем увеличение осевого давления при постоянном достигнутом равномерном боковом давлении. На представленных в монографии [1] графиках отражены только приращения осевой деформации при соответствующем приращении осевого напряжения.



Рис. 1. Экспериментальные зависимости приращения напряжений - приращения деформаций для Orikabe Diorite.



Рис. 2. Экспериментальные зависимости приращения напряжений - приращения деформаций для Nabe-ishi Peridotite.

Диаграммы, приведенные на рис. 1, 2, отсканированы и представлены в виде соответствующих табличных значений приращения напряжения и приращения деформации. Оцифровка графиков была проведена с помощью программы «ChartReader». Как было проверено автором эксперимента в исходном состоянии диорит и перидотит представляют собой изотропный материал. Поэтому для определения упругих констант такого материала правомерно использовать закон Гука в

следующем виде:
$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E} \Big[\sigma_1 - \nu \big(\sigma_2 + \sigma_3 \big) \Big],$$
 (1)

где *Е*-модуль Юнга, *v* – коэффициент Пуассона.

Характеризуя вид напряженного состояния параметром

 $c = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}$ (σ_1 – осевое напряжение, $\sigma_2 = \sigma_3$ – напряжение от бокового

давления, $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$), формулу (1) можно представить в виде:

$$\varepsilon_1 = \frac{\sigma_1}{E} \left[1 - 2cv \right]. \tag{2}$$

Из полученных вышеуказанных табличных значений $\Delta \sigma_1$ и $\Delta \varepsilon_1$ для диорита выбраны их значения при трех видах напряженного состояния, а именно при *c*=0,49; *c*=0,29; *c*=0,23, при всех осуществленных в опыте боковых давлениях. Эти зависимости $\Delta \varepsilon_1(\Delta \sigma_1)$ представлены на рис. 3.



Рис. 3. Графики зависимости $\Delta \varepsilon_1(\Delta \sigma_1)$ при трех видах напряженного состояния для диорита.

Как видно из этого рисунка при указанных видах напряженного состояния зависимость $\Delta \varepsilon_1(\Delta \sigma_1)$ является линейной. Это дает основание формулу (2) представить через соответствующие приращения (при фиксированном виде напряженного состояния):

$$\Delta \varepsilon_1 = \frac{\Delta \sigma_1}{E} [1 - 2c\nu]. \tag{3}$$

Рассматривая попарно диаграммы $\Delta \varepsilon_1(\Delta \sigma_1)$, при двух из выбранных значений параметра *c*, определим модуль Юнга *E* и коэффициент Пуассона *v*. В монографии [1] введен только один параметр, характеризующий упругую деформацию, а именно, утверждается, что

$$\Delta \varepsilon_1 = \varepsilon_1 - \varepsilon_1^* = \frac{\sigma_1 - \sigma_1^*}{E_{np}}, \qquad (4)$$

где ε_1^* и σ_1^* соответственно осевая деформация и осевое напряжение, достигнутые при предварительном гидростатическом давлении, а E_{np} считается модулем Юнга. Поскольку это не так, то в отличие от первоисточника этот модуль мы обозначили с нижним индексом, т.е. это на самом деле некоторый приведенный модуль. Если сравнить формулу (2) и (3), то указанный приведенный модуль выражается через действительный модуль Юнга и коэффициент Пуассона.

$$E_{np} = \frac{E}{1 - 2c\nu} \,. \tag{5}$$

Из последней формулы видно, что модуль E_{np} является переменой величиной, зависящей от вида напряженного состояния и от достигаемой упругой деформации. Действительно, в эксперименте получены следующие значения модуля E_{np} , представленные на рис. 4 для всех боковых давлений.



Рис. 4. Зависимость приведенного модуля упругости от приращения деформации.

Если рассмотреть диаграммы $\Delta \varepsilon_1(\Delta \sigma_1)$, представленные на рис. 1,2, то можно убедиться, что деформация $\Delta \varepsilon_1=1\%$ при малых боковых давлениях достигается за пределами упругости. Анализ зависимости (5) показал, что в пределах упругости величина E_{np} незначительно зависит от уровня $\Delta \varepsilon_1$, поэтому для сравнения выбрана деформация $\Delta \varepsilon_1=0,8\%$ и определено значение E_{np} по формуле (5). Результат сравнения представлен в таблице 1.

	P=18M	P=50M	P=100M	P=150M	P=200M	P=250M	
	Ра	Ра	Pa	Pa	Pa	Pa	
Экспериме	39344	43060	50273	50273	-	59891	
НТ							
Расчет	45971,7	45961,7	48368,72	49680,02	50665,71	51268,74	
		6					

Табл.	1. Значения	приведенного	модуля	Юнга для	Лиорита
1 4001.	1. 0110 1011111		тодули	тотна далг	Anopin

Расчетные значения *E*_{пр} от экспериментально найденных отличаются в пределах погрешности определения данной величины.

Расчетные значения модуля Юнга *Е* и коэффициента Пуассона *v* приведены в таблице 2.

Табл. 2.

Материал	E	V
Диорит	43208,6 МПа	0,22
Перидотит	54474,74 МПа	0,249

Предел упругости определяется согласно методики [2], по которой угловой коэффициент первоначального линейного участка изменялся на 20%, проводилась касательная к кривой деформирования с новым угловым коэффициентом, и за предел упругости бралось напряжение в точке касания. Расчетные значения пределов упругости приведены в таблице 3.

Табл. 3. Значения пределов упругости σ^{y} , МПа

	Р=50 МПа	Р=150 МПа	Р=200 МПа	Р=250 МПа
Диорит	433	649	786	822
Перидотит	420	636	670	795

Неупругую деформацию будем искать в виде (как предложено в [3]):

$$\Gamma_{1} = \varepsilon_{1} - \frac{\sigma_{1}}{E} (1 - 2c\upsilon) = (1 - \lambda) \frac{1}{k} \left[\frac{\sigma_{1}}{\sigma_{1y}} - 1 \right]^{\alpha},$$

$$\Gamma_{2} = -\varepsilon_{1} - \frac{\sigma_{1}}{E} \left[c - \upsilon (1 + c) \right] = -(\frac{1}{2} + \lambda) \frac{1}{k} \left[\frac{\sigma_{1}}{\sigma_{1y}} - 1 \right]^{\alpha},$$
(6)

где Γ₁, Γ₂ – главные пластические деформации, λ – коэффициент разрыхления, k – масштабный коэффициент, α – коэффициент, учитывающий кривизну кривой упрочнения.

В формуле (6) учтено, что полная неупругая деформация составляется из чисто пластической Γ_1^{nn} (не вызывающей изменение объема тела) и деформации разрыхления Γ_1^{∂} , которая согласно гипотезе

Новожилова В.В. о всестороннем распространении разрыхления [4], принимается в виде:

$$\Gamma_1^{\partial} = \Gamma_2^{\partial} = \Gamma_3^{\partial} = -\lambda \Gamma_1^{nn} \tag{7}$$

Обработка представленных диаграмм деформаций, согласно зависимостей (6), доставляет следующие значения введенных параметров материала: для перидотита α =2,3; *k*=4,5; для диорита α =1,8; *k*=0,147/

Изменение коэффициента разрыхления представлено на рис.5; при этом учтено, что при c = 1/3 разрыхление (как установлено А.Н.Ставрогиным) исчезает.



Рис.5. Зависимость коэффициента разрыхления l от величины бокового давления P

На рис. 6 представлены графики экспериментальных и расчетных кривых полной деформации для Перидотита.

Как видно из графиков, достигнуто достаточно хорошее совпадение экспериментальных и расчетных данных. Для диорита имеет место такая же картина.



Рис. 6. Расчетно-экспериментальные диаграммы деформирования при различных боковых давлениях для Перидотита.

Литература:

- Mogi Kiyoo, Experimental rock mechanics AK Leiden, The Netherlands, 2007 – 380 c.
- 2. Ильюшин А.А., Огибалов П.М. Упруго-пластические деформации полых цилиндров/Изд-во МГУ,-1960, 226с.
- 3. Рычков Б.А. О деформационном упрочнении горных пород//Изв. РАН. МТТ.-1999-№2- с.115-124.
- Новожилов В.В. О пластическом разрыхлении // ПММ, 1965/ Т. 29. No4. C. 75 – 83.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ ЭФФЕКТОВ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ САМОНАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ

Мороз А.И.

Акционерное Общество "Научно-исследовательский центр "Строительство",г. Москва, РФ, e-mail: <u>moroz@niiosp.ru</u>

EVALUATION OF RESIDUAL EFFECTS IN ROCK WITH THE HELP OF SELF-STRESS STATE MODEL

"Construction Engineering" R&D Center, Inc. Moscow, Russia e-mail: <u>moroz@niiosp.ru</u>

Горные породы, залегающие в недрах Земли, находятся В естественном напряженно-деформированном состоянии (НДС), знание которого позволяет выбрать способ проходки горной выработки, конструкцию крепи, обеспечить безопасность ведения работ. При оценке этого НДС считается, что изъятые из вмещающего массива образцы породы приходят в ненапряженное состояние по причине отсутствия нагрузки по контуру поверхности, их свойства адекватны свойствам in situ неопределенно долго. Такой подход базируется на и сохраняются фундаментальных положениях теории упругости, одно из которых состоит в том, что НДС горной породы является функцией заданных нагрузок. Это означает равенство нулю начальных напряжений при отсутствии внешних нагрузок, и какие-либо вопросы о возможных деформациях и тем более – уменьшении прочности извлеченного из массива образца, не имеют оснований.

Однако на практике при разгрузке обнаруживают изменения размеров и формы образцов, свидетельствующие о неполной реализации энергии упругой деформации и остаточных напряжениях на контуре вскрытых свободных поверхностей. Указанное приращение деформаций выделением сигналов акустической эмиссии, т.е. сопровождается появлением дефектов, изменением физико-механических параметров дезинтеграцией, саморазрушением, горными ударами. породы, Эти явления в массивах пород являются предметом изучения уже на протяжении более полувека [1, 3, 4, 5, 7, 9, 11-16, 18]. Основной вывод исследований состоит в том, что сама разгруженная порода может проявлять активность, переходя в новое напряженное состояние с собственными напряжениями. Их часто называют остаточными из-за того, что они могут существовать в равновесии внутри твердого тела после снятия внешней нагрузки с его границ.

Следует отметить, что в научной литературе, представленные достаточно широко исследования, главным образом эмпирические, посвящены остаточным напряжениям В различных технических конструкциях в основном первого рода. В них показана значимость собственных напряжений при построении моделей деформирования и разрушения этих конструкций на практике. Особое место в этом перечне в связи с травмами и даже гибелью людей занимают породы, и в подавляющем большинстве работ В НИХ также рассматривается самонапряженное состояние первого рода, возникающее в отдельных областях породного массива.

Однако наиболее значимой с точки зрения возникновения дезинтеграционных процессов при разгрузке причиной являются собственные напряжения второго рода, совмещенные в каждой точке. В свою очередь причина возникновения этих напряжений кроется в предыстории образования НДС массива, например [14, 15]. В реальном

геологическом процессе в горной породе формировалось специфическое напряженное состояние, обусловленное последовательностью приложения нагрузки на матрицу (одна система напряжений) и омоноличивания этой структуры цементирующими веществами (другая система), несущих различную силовую нагрузку. Так при образовании песчаника отложившейся обломочный материал сначала постепенно сдавливался вышележащими, более поздними, слоями осадков с вытеснением воды из пор, затем заполнением и твердением связующего раствора в порах деформированного и сжатого высоким давлением скелета, например [2, 8].

Очевидно, что перед омоноличиванием порода состояла из твердой и жидкой фаз, которые являлись носителями совмещенных систем напряжений. Они известны из механики грунтов как две системы напряжений в грунтовых массах [17]. Согласно этой концепции К. Терцаги в грунтовых массах в условиях открытой схемы одновременно действуют две системы напряжений: эффективные (σ_3) – в скелете, которые передают давление нижележащим слоям, воспринимая основную силовую нагрузку, и нейтральные (σ_H), в этом процессе не участвующие. При этом полное напряжение равно:

$$\boldsymbol{\sigma} = \boldsymbol{\sigma}_{\mathcal{I}} + \boldsymbol{\sigma}_{H} \qquad (1)$$

После твердения раствора порода является носителем нового качества, способным сопротивляться растягивающим и касательным напряжениям. Деформационные свойства породы в этом случае определяются совмещенными системами напряжений в ней, которые традиционные методы не учитывают, и не дают адекватной оценки полноты и достоверности распределения параметров свойств в массиве горных пород.

Такое напряженное состояние отражает упрощенная структурная модель в виде двух скрепленных по всей длине упругих элементов (Πl + $\Pi 2$), находящихся в разных НДС [10], и оно характеризуется тем, что усилие в сжатом элементе системы равно P1, а в элементе $\Pi 2$ – нулю. Несжатый элемент П2 отражает цементирующий материал, причем размеры его и сжатого элемента точно совпадают. Очевидно, что теперь при уменьшении внешней нагрузки сжатый элемент П1 попытается распрямиться и вернуться в исходное до нагрузки положение. При этом в силу скрепления элементов он начнет растягивать несжатый элемент, который, в свою очередь, окажет сопротивление элементу П1. После разгрузки из-за сопротивления элемента П2 система придет в новое промежуточное положение, и когда усилия (разных знаков) в элементах сравняются, развитие деформаций прекратится. В силу совместности деформаций оба элемента получат общее перемещение Δh , численное значение которого в общем случае может быть определено, если известны их жесткостные параметры и величина усилия сжатия первого элемента. Разгрузка приводит только к частичной реализации энергии упругой деформации первого элемента, обладавшего сжимающими напряжениями, появлением напряжений С растяжения BO втором элементе И существованием остаточных напряжений в элементах модели после НДС разгрузки, если рассмотреть ИХ ПО отдельности. Модель демонстрирует одну из причин остаточных совмещенных напряжений предысторию формирования напряженного состояния. Негативное следствие самонапряженного состояния состоит в том, что превышение предела прочности на растяжение у второго элемента приведет к разрушению модели с реализацией дополнительных деформаций и возможным и «выстреливанием» этих скрепленных элементов. На такую же природу саморазрушения породы обращено внимание, в частности, в [9], где отмечается, что при разгрузке осадочной породы, при генезисе

сцементированной после сжатия скелета, теоретически возможно разрушение цементационных связей.

Образовавшуюся породу по схеме «нагружение – цементирование» перед разгрузкой можно рассматривать сплошной, изотропной, являющейся носителем двух совмещенных однородных полей напряжений, и для любой ее точки полное напряжение определится, как и в (1), суммой напряжений в системах I и II:

$$\boldsymbol{\sigma} = \boldsymbol{\sigma}^{(I)} + \boldsymbol{\sigma}^{(II)} \qquad (2)$$

Начальные и граничные условия при исследовании изменения НДС в процессе разгрузки: образец породы расположен на глубине z = h в упругом полупространстве. Напряженное состояние обусловлено только гравитационными силами, давление в заполнителе - гидростатическое. Процесс разгрузки можно представить удалением всей толщи массива в условиях отсутствия боковых деформаций $\varepsilon_x = \varepsilon_y = 0$ или проходкой выработки, где в подошве находится образец породы. Распределение горизонтальных составляющих напряжений с малыми размерами сторон образца принято равномерным.

Исследование процесса разгрузки выполним С помощью графоаналитического метода. При определении зависимости между внешней нагрузкой и деформациями и перераспределением напряжений в элементах учитывалось, что в результате цементирования образуются прочные связи между элементами породы. Это позволило зависимости 1 и 2 разгрузки первого элемента и нагрузки второго в видах (рис.1, а, б) совместить в общем начале координат O_0 (идея Л.Н.Репникова), после чего теоретически рассмотреть разгрузку. При разгрузке сжатый элемент начинает растягивать несжатый, и совместные деформации прекратятся, При этом текущее значение когда напряжения в элементах сравняются. напряжения, когда один элемент сжат, а другой растянут, равно:

$$\boldsymbol{\sigma}_{i} = \boldsymbol{\sigma}^{(I)} - \boldsymbol{\sigma}^{(II)}.$$
 (3)

Для рассмотрения процесса разгрузки на графике совмещенных зависимостей оставляем ветви (1) – разгрузки I элемента и (2) – нагрузки II-го, т.е. его растяжения, приняв их в дальнейших построениях линейными, что считается общепринятым, как и равенство деформаций элементов породы. Далее для удобства строим зеркальное отражение зависимости (2) относительно оси ε , что определяет точку Π равенства напряжений разных знаков ДС=СС1 (рис.1, в) при снятии внешней нагрузки. Ее проекция на ось ε (в т.*C*) и перенос на нее всех ординат между $A \square$ и $O_0 \square$ (эта область заштрихована) определяет зависимость $\sigma = f$ (є) (3) (рис.1, є), которую получают в «привычном» виде, если значения внешней нагрузки, как обычно, откладывать от оси деформаций. Однако без знания истории образования среды фактические ординаты остаточных напряжений (ДС на рис.1, г) неизвестны. Далее, если цементирующий материал обладает очень высокой прочностью на растяжение $R_{p}^{(II)} > \sigma^{(I)} = \sigma^{(II)}$, образец породы с устойчивым равновесием будет сохранять стабильность характеристик и скорее всего не обнаружит приращений деформаций после разгрузки.

При достижении в процессе разгрузки биполярными напряжениями уровня прочности на растяжение цементирующего материала, начнется образование дефектов, что приведет к началу уменьшения прочности. Изменение зависимости $\sigma = f(\varepsilon)$ в этом случае показано на рис.1, ∂ пунктирной линией $O_I \mathcal{A}_I$. Результирующая зависимость разгрузки отражена ветвью *AC*. После разгрузки возникшее состояние может оказаться неустойчивым из-за воздействия остаточных напряжений на цементирующую структуру. В результате со временем начнется новый процесс образования дефектов с уменьшением прочности породы, сопровождающийся дополнительными приращениями деформаций, пока

не наступит равновесие остаточных напряжений. На рис.1, *е* пунктирной линией со стрелкой в окончании показано изменение зависимости между напряжениями и деформациями для связующего материала. Общая деформация будет равна $\varepsilon = \varepsilon_n + \Delta \varepsilon_c$, результирующая зависимость разгрузки отразится ветвью AB_1B_2 , приращение деформаций $\Delta \varepsilon_c$ можно трактовать как эффект самонапряженного состояния, для учета которого традиционная формула может быть записана в виде:

$$\mathcal{E} = (1/E) \sigma + \Delta \mathcal{E}_{c} \qquad (4),$$

где $\Delta \varepsilon_c$ является функцией разности напряжений в структурах, времени и др.

Полученная теоретически с помощью модели величина остаточных напряжений, равная отрезку *ДС*, вызывает и практический вопрос, как определить эти действующие в каждой точке, но в разных структурах остаточные напряжения, если они разнополярные, тем более, что в общем случае не существует прямого метода определения напряжений. О величине напряжений, являющихся условной величиной, судят по косвенным признакам, например, по деформациям, оказывающимися доступными для измерения. Экспериментатор, не зная внутреннего содержания существующих напряжений, измеряет деформации и приращения внешней нагрузки и получает нулевую точку (т.*C* на графиках), считая, что образец пришел в ненапряженное состояние.







Рис.1. Графическая интерпретация формирования самонапряженного состояния: совмещение зависимостей «напряжение – деформация» для элементов породы (*a* и б) в общем начале координат и получение результирующей зависимости (3) при разгрузке (*в*), величина остаточных напряжений (*г*), неустойчивые состояния (*д* и *е*)

Совмещенные остаточные напряжения, полученные теоретически, можно представить как пару сил, действующих в противоположных направлениях в точке. Эти напряжения, как видно из построения, уравновешивают и формально погашают друг друга, определяя на результирующей кривой точку, в которой внешняя нагрузка отсутствует. Однако ничем не нагруженный образец, обладая внутренней энергией, может деформироваться с образованием дефектов и приращением деформаций, и если он хрупкий, то может разрушиться. На рис.1, *е* показано и приращение деформаций во времени после разгрузки (отрезок B_1B) и уменьшение прочности по линии $\mathcal{II}_1\mathcal{I}_2$.

На практике совмещенные остаточные напряжения разных знаков: (+) и (-) в результате дают ноль, что не позволяет их определить существующими методами, однако они имеются и проявляются во времени (деформации последействия, импульсы акустической эмиссии АЭ, характерные для появления трещин, разрушение и т.д.). По результатам наших исследований для определения остаточных эффектов необходимо использовать такие показателями самонапряженного состояния, как образование дефектов, характеризующееся различными признаками, в том числе выделением звуковой энергии, упругим последействием, изменением механических параметров. Методики их определения должны сводить к минимуму время между отбором образца и началом испытания с проведением первой регистрации информативного параметра в забое или вблизи выработки. Однако более точным являлась бы отбор проб из массива в прозрачную камеру, позволяющую происходить разгрузке в управляемых условиях.

Иным направлением при определении самонапряженного состояния является провоцирование образования дефектов. Очевидно, что внешней нагрузки к образцу последующее новое приложение В самонапряженном состоянии приведет к уменьшению одних и увеличению других разнополярных напряжений, например, при нагружении уменьшаются растягивающие напряжения, что улучшает НДС породы. И наоборот, растягивающая нагрузка (дополнительно к существующим остаточным напряжениям растяжения) приведет, скорее всего, к более быстрому началу образования дефектов вплоть да разрушения. Это можно использовать В выработках, горных создавая периодически растягивающую нагрузку, например, вакуумом, проверяя их устойчивость и обеспечивая таким образом безопасность ведения горных работ.

Вывод. Модель самонапряженного состояния горной породы позволяет пошагово продемонстрировать образование остаточных напряжений разных знаков, выделить их по отдельности, результирующая которых равна нулю. Для их определения на практике просматриваются косвенные методы: регистрация АЭ, деформаций последействия и т.п.

Литература

1. *Айтматов И.Т.* Роль остаточных напряжений в горных породах в формировании очага горных ударов и техногенных землетрясений // Геодинамика и геоэкологические проблемы высокогорных регионов. М.: Бишкек, 2003. С. 209–221.

2. Брэдшоу М. Дж. Современная геология. Л.: Недра, 1977. 279 с.

3. *Бриджмен П.В.* Исследование больших пластических деформаций и разрыва. М.: Изд-во "Иностранная литература", 1955. 390 с.

4. *Влох Н.П., Липин Я.И., Сашурин А.Д.* Исследование остаточных напряжений в крепких горных породах // Совр. проблемы механики горных пород. Л.: Наука, 1972. С. 186–189.

5. *Гамсахурдия Г.Р.*Система геофизических и петрофизических исследований земной коры океанического типа при глубоководном научном бурении: Автореф. дис. Д-ра техн. наук. Тверь, 2000. 35 с.

6. *Герсеванов Н.М., Польшин Д.Е.* Теоретические основы механики грунтов и их практическое применение. М.: Стройиздат, 1948. 248 с.

7. *Goodman R.E.*,1987. Introduction to Rock Mechanics. John Wiley& Sons, New York, 232 p.

8. Горшков Г.П., Якушова А.Ф. Общая геология. М.: МГУ, 1973. 592 с.

9. *Mitchell J.K., Soga K.*, 2005. Fundamentals of Soil Behavior. John Wiley & Sons, New Jersey, 577 p.

10. *Мороз А.И.* Самонапряженное состояние горных пород. М.: МГГУ, 2004. 288 с.

11. Пономарев В.С. Энергонасыщенность геологической среды // Труды Геологического

института РАН. М.: Наука, 2008. Вып. 582. 379 с.

12. *Ребецкий Ю.Л*. Механизм генерации тектонических напряжений в областях больших вертикальных движений // *Физическая мезомеханика*. 2008. Т. 1, № 11. С. 66–73.

13. Ревуженко А.Ф., Лавриков С.В., Клишин С.В. Структурнонеоднородный горный массив как среда с внутренними источниками и стоками энергии // Труды Международной конференции: «Проблемы и перспективы развития горных наук» (1–5 ноября 2004 г.) Т. 1: Геомеханика. Новосибирск: ИГД СО РАН, 2005. С. 214–219.

14. *Репников Л.Н.* Роль штангового крепления в использовании несущей способности горного массива / Автореф. дис. канд. техн. наук.- М: НИИОСП, 1963.

15. Репников Л.Н., Мороз А.И. Механизм образования двух совмещенных систем напряженийв горной породе различного генезиса // Механика композиционных материалов и конструкций.-2005.-Т.11.-№2.-С.258-265.

Ставрогин А.Н., ШиркесО.А. Явление последействия в горных породах, вызванное предшествующей необратимой деформацией //ФТПРПИ. – 1986. - №4. С. 235–244.

17. *Терцаги К., Пек Р.* Механика грунтов в инженерной практике. М.: Госстройиздат, 1958. 608 с.

18. Усков В.А. Саморазрушение пород вокруг подземных выработок // Горный журнал. 2000. № 10. С. 16.

КАНСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 19 ИЮЛЯ 2011г., КЫРГЫЗСТАН

Камчыбеков М.П., Егембердиева К.А., Чаримов Т.А., Камчыбеков Ы.П.

Институт сейсмологии Национальной Академии Наук Кыргызской Республики, г.Бишкек, Кыргызстан <u>murataly@rambler.ru</u>

KAN EARTHQUAKE JULY 19th 2011, KYRGYZSTAN

Kamchybekov M.P., Yegemberdiyeva K.A., Charimov T.A., Kamchybekov Y.P.

Institute of Seismology of National Academy Science of Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyzstan murataly@rambler.ru

В работе дана краткая характеристика геологических условий района произошедшего 19 июля 2011г. Канского землетрясения, приведены данные об исторической сейсмичности и результатах макросейсмического обследования эпицентральной зоны, а также других пострадавших участков исследуемой территории. Канское землетрясение произошло 19 июля 2011 года. В таблице 1 приведены параметры этого землетрясения по данным различных сейсмологических служб мира.

Таблица 1

Название	Дата	время	Широта	Долгота	Н,	Mpv	ML	Mag	ms	mb	Mw	К
					км							
ИС НАН КР	2011-	19:35:43,86	40° 6,91′	71°26,97	17	6,49	6,16					14.1
	07-19											
NEIC	2011-	19:35:43.48	40.081	71.410	20.0			6.1	6.1	6.5	6.1	
	07-19											
CSEM-EMSC	2011-	19:35:42.0	40.12	71.46	10			6.1				
	07-19											
Геофизи-	2011-	19:35:40.3	40.12	71.37	10				6.3	6.3		
ческая	07-19											
служба РАН												
KNDC	2011-	19:35:40.1	39.8692	71.4839	7	6.2				6.5		14.3
(КНЦД)	07-19											
CMT	2011-	19:35:48.5	40.28	71.36	28.8				6.1	6.1	6.2	
	07-19											

Эпицентр Канского землетрясения находится юго-восточнее поселка Кан (Советский) Баткенской области Кыргызстана. Макросейсмическое обследование последствий землетрясения заключается в основном в сборе разрушениях И повреждениях построек, ланных 0 остаточных деформациях на грунте, поведениях предметов быта, опроса очевидцев и По макросейсмического обследования Канского Т.Д. данным землетрясения построена карта изосейст (рисунок 1).



Рис.1 - Схема изосейст Канского землетрясения 19 июля 2011г.

На территории, в приграничных селах, Узбекистана отмечено увеличение интенсивности на 0,5-1 балл, что связано с неблагоприятными грунтовыми условиями: высокий уровень подземных вод и, как следствие, – заболоченность отдельных участков.

В зону 8,5 баллов попал поселок Кан (Советский). Застройка поселка была осуществлена в середине прошлого столетия по типовым проектам

шахтерских городов малоквартирными жилыми домами. Жилые дома в основном двух типов: с несущими стенами из рваного камня и деревянные щитовые дома.

В эпицентральной зоне по шкале MSK-64 дома с несущими стенами из рваного камня имели следующие характерные повреждения: разрушения в виде сквозных трещин, проломов в стенах, обрушения частей зданий, разрушения связей между отдельными частями домов, обрушения внутренних стен и стен заполнения каркаса. По квалификации такие дома относятся к типу A, по количественной характеристике соответствуют признаку - «многие» или 50%.

По шкале MSK-64 деревянные дома относятся к типу В. По квалификации повреждений - 2 степень – умеренные повреждения: небольшие трещины в стенах и откалывание довольно больших кусков штукатурки, падение кровельных черепиц, трещины в дымовых трубах, падение частей дымовых труб. По количественной характеристике соответствует признаку «отдельные», т.е. около 5%. Люди испытали сильный испуг. В домах сдвигалась, иногда опрокидывалась, тяжелая мебель.

По шкале ЕМС-98 дома с несущими стенами из рваного камня относятся по классификации уязвимости зданий (каменная кладка, бутовой камень, полевой камень) к классу уязвимости А. По классификации повреждений соответствует 4-степени: очень тяжелые повреждения – тяжелые повреждения несущих конструкций, очень тяжелые повреждения ненесущих элементов. По количественному описанию – «много».

Деревянные щитовые дома по шкале ЕМС-98: по классификации уязвимости (дерево, деревянные здания) к классу С; по классификации повреждений - 2степень: умеренные повреждения, легкие повреждения несущих конструкций, умеренные повреждения ненесущих элементов. По количественному описанию – «несколько».

К ВОПРОСУ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ТОКТОГУЛЬСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Камчыбеков М.П., Егембердиева К.А.

Институт сейсмологии Национальной Академии Наук, г.Бишкек, Кыргызстан, murataly@rambler.ru

TO THE PROBLEM OF SEISMIC HAZARD OF THE TERRITORY OF TOKTOGUL RESERVOIR

Kamchybekov M.P., Yegemberdieva K.A.

Institute Seismology of National Academy of Sciences of Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyzstan, murataly@rambler.ru

Исследование сейсмичности в районах больших водохранилищ является актуальной задачей.

Целью настоящей работы является количественное определение изменения сейсмической активности района Токтогульского водохранилища по последним данным за период с 1991-2015 гг.

Исследуемый район по современной сейсмичности и палеосейсмическим данным характеризуется длительной, устойчивой сейсмичностью и отнесен к 9 балльной зоне сейсмичности по шкале MSK-64. В нижнем течении р. Нарын построен каскад гидроэлектростанций, включающий 5 мощных ГЭС. Уникальным гидроэнергетическим и ирригационным сооружением является Токтогульская ГЭС (установленная мощность – 1200 тыс квт), введенная в строй в 1976 год. Как показывает практика, создание больших водохранилищ может приводить к сейсмическим явлениям в районах, ранее считавшихся несейсмичными, или к увеличению активности в районах сейсмичных. Имеется ряд работ, посвященных этой теме. Тем не менее, несмотря на большое количество случаев появления сейсмичности, до сих пор нет ясного представления о схеме его возникновения.

Для ее достижения необходимо решение таких задач как получение карт-схем изменения сейсмичности территории Токтогульского района за наблюдаемые периоды времени, карт-схем распределения эпицентров землетрясений для исследуемого участка за определенные года.

Природные условия района Токтогульского водохранилища. Токтогульское водохранилище располагается в ущелье р. Нарын между Чаткальским и Ферганским хребтами Тянь-Шаньской горной системы. Плотина высотой 215 м, длиной 400 м, шириной 150м, образует горное море, емкостью 19,5 млрд. м³. Площадь водохранилища 284 км². Длина широкого места составляет 12 км. Максимальная глубина – 180 м. Выше створа гидроузла, примерно в 20 км, располагается Кетмень-Тюбинская котловина. Сооружения гидроузла располагаются в пределах единого структурно-тектонического блока протяженностью вдоль русла реки около 600 м. Этот блок ограничен двумя тектоническими разломами, имеющими амплитуды смещения 150 и 100 м и зоны дробления мощностью до 50 м.

По территории Токтогульского района проходит региональный Таласо-Ферганский разлом, а также оперяющие его тектонические разломы. Это, по сути, обусловило довольно высокую сейсмичность района строительства, оцениваемую возможностью 9 бального землетрясения.

За весь период проведения наблюдений в Токтогульском районе не было отмечено резких изменений от их обычного расположения по площади. Лишь в определенные периоды времени, связанные с резким

изменением уровня воды в водохранилище, имели место различия в их распределении.

Для оценки изменения параметров сейсмичности на территории участка каскада Нарынских ГЭС были взяты данные об изменении сейсмичности за период с 1991 г. по 2015 г.

В 1946 г. здесь произошло известное Чаткальское землетрясение (2 ноября 1946 г. φ =41,9, λ =72,0, I=9,5, M=7,4, H=25 км)– одно из сильнейших в Средней Азии, очаг которого находился в районе Таласо-Ферганского разлома. В створе Токтогульской ГЭС оно достигло 8 баллов и вызвало большие нарушения рельефа, обвалы, полностью перекрывшие реку Нарын в 12 км выше створа и, все же в районе гидроузла не оказало заметных нарушений на склонах каньона. В 1992 г. 19 августа произошло Суусамырское землетрясение с магнитудой М=7,5. По инженерно-геологическим изысканиям, проведенным в свое время гидропроектом, за время существования долины р. Нарын и за все четвертичное время, скальный блок, на котором располагаются сооружения Токтогульской ГЭС, оставался единым и не подвергался тектоническим деформациям, следы каких-либо подвижек на тектонических трещинах отсутствуют.

Как показывают геологические исследования, наибольшее количество сильных землетрясений в этом районе приходится на вторую половину голоценового периода. Об этом свидетельствуют перекрытия крупными обвалами долин рек и террас.

Сейсмичность. Токтогульский район по современной сейсмичности характеризуется длительной, устойчивой сильной сейсмичностью и отнесен к 9 балльной зоне сейсмичности по карте сейсмического районирования.

В одной из последних работ, посвященных качественной и количественной оценке вероятной сейсмической опасности территории Кыргызской Республики и приграничных районов Центрально-Азиатских

стран на период 2002-2005 гг. к числу объектов потенциального риска, ко всему прочему, отнесены: гидроэлектростанции (Учкоргонская, Шамалды-Сайская, Таш-Кумырская, Курпсайская, Токтогульская).

Развивая тему исследования влияния водохранилищ на изменение сейсмичности в работах, приводятся ряд статей, посвященных этим вопросам о необходимости корректного использования всех исходных данных, учитывая специфику получения экспериментальных данных, их информативность.

Выводы: из анализа сейсмостойкости территории Токтогульского водохранилища следует заметить, что каким-то четким правилам графики изменения проявления землетрясений и уровня воды, не подчиняются, хотя может быть, в некоторой степени, имеет место определенная закономерность.

СРАВНЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА РЕГИОНА АЛАЙ-КАШГАР (ЮЖНЫЙ ТЯНЬ-ШАНЬ) С СОЛНЕЧНОЙ ЦИКЛИЧНОСТЬЮ

Мамыров Э., Маханькова В.А, Кыдырова Л.Ш.

Институт сейсмологии НАН КР, г.Бишкек, Кыргызская Республика, E-mail: <u>vmaha@mail.ru</u>

COMPARISON OF THE CHANGES SEISMIC MODE OF REGION ALAI-KASHGAR (SOUTHERN TIEN SHAN) WITH SOLAR CYCLICITY

E.Mamyrov, V.A.Mahan'kova, Kydyrova L.Sh.

Institute of seismology NAS KR, Bishkek, Kyrgyz Republic, E-mail: <u>vmaha@mail.ru</u>

В последние годы при средне- и долгосрочных прогнозных построениях значительное внимание уделяется внешним космическим факторам, которые являются пусковыми механизмами начала активизации тектонофизических процессов [1,2]. По заключению многих исследователей природа внеземных и планетарных триггеров весьма разнообразна.

Судя по наблюдаемым гармоникам, происхождение некоторых из них может быть увязано с ротационным режимом Земли, чандлеровскими колебаниями ее оси вращения, орбитальным положением нашей планеты по отношению к Солнцу в разные месяцы года, приливным влиянием Солнца и Луны и, возможно, с другими космическими причинами.

Механизмы внешних квазипериодических возмущений могут быть весьма различны, но, несмотря на их во многом неясную природу, можно предполагать ИХ реальную регулирующую роль В активизации [2]. сейсмических процессов По [2,3,4]большинство крупных сейсмокатастроф с $M_W \ge 8.0$ в различных сейсмоопасных зонах произошло в периоды изменений гравитационных сил, вызванных влиянием Солнца и планет солнечной системы (23-х летний ритм, 1911-1932 гг.).

успешного изучения динамики сейсмических Для процессов принципиально важно, чтобы сейсмическая информация по конкретному сейсмоопасному региону была полной без перерывов и временные ряды имели достаточную длительность. По заключению многих исследователей при изучении периодических колебаний, к которым относится и повторяемость сильных землетрясений, необходимо иметь информацию не менее чем за три полных года колебаний, например при анализе сезонных колебаний за каждый год на базе рядов месячной или квартальной их динамики [5]. Если солнечная активность по числам Вульфа W имеет в 11-летнюю цикличность, с которой часто синхронизируют среднем проявления сильных землетрясений, то для прогнозных построений необходимо иметь длительность инструментальных данных не менее чем 33 года, а период упреждения может составить не более 11 лет.

В соответствии с концепцией квазипериодичности сейсмического режима крупных сейсмоопасных регионов Земного шара, нами была разработана методика количественного анализа временных рядов сейсмологических данных с целью выделения периодов повышения уровня сейсмической опасности для территорий отдельных регионов Кыргызстана [6, 7].

На основе вышеизложенного нами были рассмотрены ожидаемые изменения сейсмического режима для сегмента Южно-Тянь-Шаньской сейсмоактивной зоны - регион Алай-Кашгар (φ = 39° - 40° λ = 69° -76°) с

прогнозом до 2030 г., а также выполнено сопоставление изменений суммарного годового количества слабых землетрясений с $K_R = 9-10$ (N₉-N₁₀) и максимальных годовых энергетических классов землетрясений (K_m) с солнечной активностью (числа Вульфа W).

Результаты прогнозных расчетов суммарного годового количества слабых землетрясений с $K_R = 9-10$ (N₉ и N₁₀), выполненные по рядам данных за 1950-2000 гг. с прогнозом до 2025 г. и 1950-2012 гг. с прогнозом до 2030 гг. показаны на рис.1. Для сравнения колебаний суммарного годового количества слабых землетрясений с изменением солнечной активности (числа Вульфа, W) на этом же рисунке показана кривая ее изменения с прогнозом до 2030 гг.



Рис.1. Сопоставление инструментальных (за 2000-2012 гг.) и расчетных значений суммарного годового количества (N₉ и N₁₀) землетрясений энергетического класса $K_R = 9.0-10.0$ региона Алай-Кашгар с солнечной активностью (числа Вульфа, W) с прогнозом до 2030 г.

На рис.1(A,B) видно, что в период 2015-2030 гг. возможно увеличение количества слабых толчков (N₉ иN₁₀) для землетрясений: с K_R = 9.0 в 2015 г., 2018-2020 гг. (с максимум в 2019 г.), 2023 г. и 2027 г.; с K_R = 10.0 в период с 2015 г. по 2021 г. (с максимумом в 2015 г., 2019 г. и 2021 г.), затем возможно их уменьшение до 2027 г. и резкое возрастание к 2029 г. Такое возрастание количества слабых землетрясений может являться предвестником сильных и катастрофических сейсмических событий с K_R = 13.6-15.0., как это было при Нура-Алайском землетрясении (05.10.2008 г, K_R = 16.0).

Сравнительный анализ изменения суммарного годового количества слабых землетрясений (N₉ и N₁₀) показал, что периоды значительного их возрастания приходятся на периоды снижения солнечной активности W (рис.1A, B), что согласно законам Перре указывает на вероятность проявления сильных и катастрофических землетрясений в эти периоды.

Для уточнения предполагаемых периодов повышения уровня сейсмической опасности по данным прогнозных расчетов, проведенных на рис.1(A,B), были рассмотрены временные ряды максимальных годовых энергетических классов землетрясений K_m за 1930-2000 гг., 1930-2012 гг. и 1980-2014 гг. (рис.2А), а также за 1950-2014 гг. и 1966-2014 гг. (рис.2В) с прогнозом до 2030 г. в сопоставлении с изменениями солнечной активности W (чисел Вульфа).

Из представленных данных на рис.2(A,B), видно, что периодам повышения солнечной активности соответствует снижение уровня сейсмической опасности на территории рассматриваемого региона Алай-Кашгар в 2000-2005 гг. и 2011-2015 гг. (рис.2A,B), а периодам снижения чисел Вульфа в 2006-2008 гг. соответствует повышение K_m от 12.5 до 16.0.



Рис.2. Сопоставление инструментальных (за 2000-2012 гг.) и расчетных значений максимальных годовых энергетических классов землетрясений К_m по данным различных рядов (А-1930-2000 гг., 1930-2012 гг. и 1980-2014 гг.; В – 1950-2014 гг. и 1966-2014 гг.) региона Алай-Кашгар с солнечной активностью (числа Вульфа, W) с прогнозом до 2030 г.

В связи с вышеуказанным прогнозируемому снижению солнечной активности в 2016-2022 гг. будет соответствовать новая фаза возникновения крупных землетрясений с пиком в 2018-2021 гг. с $K_R = 13.6-15.0$ и сотрясаемостью I = 6-8 баллов (рис.2). При этом

переходному этапу к этой фазе активизации будет соответствовать интервал времени конец 2015–2017 гг. (активизация сейсмических процессов будет наблюдаться во второй половине 2015 г.– в начале 2016 г., что и подтвердилось землетрясением произошедшем 17.10.2015 г. с $K_R = 14.1$), когда вероятно будет постепенное изменение сейсмического режима региона Алай-Кашгар.

Таким образом, в динамике изменения геофизических процессов наблюдается многолетняя цикличность. Для геолого-геофизических условий территории Южного Кыргызстана активизация сейсмических процессов возрастает в периоды снижения солнечной активности. Очередная фаза проявления крупных сейсмокатастроф в пределах Южного Тянь-Шаня ожидается в 2018-2021 гг.

Литература

1. Гусев А.А. О реальности 56-летнего цикла и повышенной вероятности сильных землетрясений Петропавловске-Камчатском в 2008-2011 гг. согласно лунной цикличности //Вулканология и сейсмология. 2008, №6, с.55-65.

2. Курскеев А.К., Абаканов Т.Д., Серазетдинова Б.З. Землетрясения: происхождение и прогнозирование. Алматы: Эверо, 2012, 314с.

3. Абаканов Т.Д., Садыкова А.Б., Хачикян Г.Я. Современное сейсмотектоническое состояние земной коры на Северном Тянь-Шане. //Доклады НАН КР, 2015, №1, с.12-24.

4. Любушин А.А., Писаренко В.Ф., Ружич В.В. Выделение периодичностей в сейсмическом режиме //Физика Земли, 1998, № 1, с.62-76.

5. Дуброва Т.А., М.Ю. Архипова. Статистические методы прогнозирования в экономике. (Учетное пособие). Москва: МГУЭСИ, 2004, 136с.

6. Мамыров Э.Землетрясения Тянь-Шаня: магнитуда, сейсмический момент и энергетический класс. Бишкек: Инсанат, 2012, 234с.

7. Мамыров Э. Временные изменения сейсмического режима на глобальном и региональном уровнях. //Вестник ИС НАН КР, 2014, №3, с.69-86.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ОТКЛИКА ЛИТОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ В ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ В ПЕРИОДЫ АКТИВИЗАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Салихов Н.М., Пак Г.Д., Крякунова О.Н., Николаевский Н.Н., Цепакина И.Л.

ДТОО «Институт ионосферы» АО Национальный Центр космических исследований и технологий, г.Алматы, Республика Казахстан, e-mail: un5g@rambler.ru

EXPERIMENTAL REVEALING OF RESPONSE OF LITHOSPHERIC PROCESSES IN BACKGROUND ATMOSPHERE IN THE PERIOD OF INTENSIFICATION OF SEISMIC PROCESSES

Salikhov N. M., Pak G. D., Kryakunva1 O. N., Nikolaevsky N.N., Tsepakina I.L.

Institute of Ionosphere, National Center for Space Research and Technology, Almaty, Kazakhstan Republic, e-mail: un5g@rambler.ru

В данной работе исследованы особенности вариаций в приземной атмосфере инфразвуковых волн, атмосферного электричества, потока гамма-квантов вторичной космической компоненты и тепловых нейтронов во время двух землетрясений 15.08.2014г магнитудой 5,3 и 01.05.2011г магнитудой 5,8, произошедших соответственно в 30 км и 80 км от г. Алматы.

В работе использован комплекс экспериментальных установок Института ионосферы: прецизионный микробарограф «ISGM03» для регистрации инфразвуковых волн в диапазоне от долей Па до 100 Па, установленный в г. Алматы (пункт ВДНХ, 43° 13' 01,8"СШ, 76° 54'

22,1"ВД), способный электрометр, регистрировать наведенное электричество от зарядов приземной атмосферы и электромагнитную составляющую, вызванную перемещением зарядов [1] на Радиополигоне Орбита (43° 03' 29,9"СШ, 76° 58' 25,0"ВД), детектор тепловых нейтронов (низкопороговый детектор нейтронов на основе пропорциональных счетчиков ПД631 с газовым наполнением 3Не), гамма-детектор на основе сцинтилляционного кристалла Nal, установленный в одном помещении с нейтронов детектором тепловых на измерительном пункте «Космостанция» (43° 02' 33,9"СШ 76° 56' 38,1"ВД).

Результаты исследования

1. Землетрясение 15 августа 2014 года магнитудой 5,3 в 30 км от г.Алматы Согласно оперативным данным Центра данных РГП ИГИ (kndc.kz) 15 августа 2014 года (21ч 42мин 29,76с по Гринвичу) в 30 км к юго-востоку г.Алматы произошло землетрясение. Координаты эпицентра: 77,341°ВД. 43,047°СШ Магнитуда Mb=5,3. Глубина h=5КМ. Энергетический класс К=12,3. Землетрясение ощущалось в г.Алматы с интенсивностью 4 балла. В научной литературе обсуждается вопрос об с периодами 600с и более, которые могут акустических волнах газовыми выделениями из трещин литосферы при генерироваться возрастании сейсмической активности, распространяться на значительные расстояния и регистрируются в приземной атмосфере до основного толчка [2]. Перед землетрясениями содержание литосферных газов в приземной атмосфере над тектонически нарушенными структурами в несколько раз выше, чем над структурами без тектонических нарушений, ЧТО обусловлено высокой проницаемостью разломных зон сейсмически активных регионов [3]. Во время землетрясения 15 августа 2014 года инфразвуковой комплекс Института ионосферы зарегистрировал накануне землетрясения появление в приземной атмосфере инфразвуковых волн с периодом более 600 секунд, а также обменных волн (рис.1). Обменные

волны «поверхность – атмосфера» (ground-coupled air waves), которые образуются за счет вертикального смещения земной поверхности при прохождении сейсмических волн, были обнаружены еще в 60-х годах прошлого столетия [4,5,6]. На рисунке вертикальными черными линиями отмечено время землетрясения и время появления возмущений со значимыми амплитудами. Красной вертикальной линией обозначено возмущение, пришедшее с сейсмической волной — обменные волны, начало эффекта было зарегистрировано в 21ч 42мин 39с через 10 секунд после основного толчка. На рисунке 16 показан развернутый график этих возмущений.



Рисунок 1 - Регистрация инфразвукового сигнала при землетрясении 15 августа 2014 года магнитудой Mb=5,3, произошедшего в 30 км к юговостоку от г.Алматы.

 а) — низкочастотная составляющая инфразвукового сигнала, б) высокочастотная составляющая инфразвукового сигнала.

По оси Х - время от начала суток по времени GMT в секундах.

Обменные волны регистрирует во время землетрясений практически ОТ всех ближних землетрясений, но эти волны не представляют прогностического интереса. Наиболее ценным результатом для прогноза эффекты, землетрясений являются сопровождающие подготовку землетрясения, которые нам и удалось зарегистрировать. Возмущения с периодом 1200с и более со значимыми амплитудами появились на записях примерно за 2ч 50 мин до землетрясения (рис.1а). Регистрация инфразвука проходила в условиях спокойной атмосферы в ночное время суток, которое по нашим многолетним измерениям инфразвуковых волн на пункте ВДНХ является наиболее спокойным периодом.

Наряду с наблюдением наблюдения инфразвуковых волн В сейсмологии известны случаи регистрации возмущений электрического предшествующих сильному землетрясению. поля [7] Bo время землетрясения 15 августа 2014 года на записях вариаций приземного атмосферного электричества примерно за 3ч 10мин перед землетрясением появились положительные всплески атмосферного электричества (рис.2), отмеченные на графике красным цветом. Обращает внимание, что возмущения в атмосферном инфразвуке и электричестве появились перед землетрясением примерно в одно и то же время. Полученные данные указывают на связь появления аномальных вариаций в приземном инфразвуке и атмосферном электричестве с активизацией сейсмических процессов в литосфере.

Всплески в электрическом поле мы зарегистрировали также перед Капчагайским землетрясением 1 мая 2011 года. Повторяемость эффектов при двух разных землетрясениях является обнадеживающим результатом для продолжения исследований в данном направлении.



Рисунок 2 - Эффекты в приземном атмосферном электричестве накануне и во время землетрясения магнитудой Mb=5,3 произошедшего 15 августа 2014 года в 30 км к юго-востоку от г.Алматы. По оси X - время от начала суток по времени GMT в секундах.

2. Капчагайское землетрясение 1 мая 2011 года, магнитудой Mb=5,8 в 80 км от г.Алматы. Согласно оперативным данным Центра данных РГП ИГИ (kndc.kz) 1 мая в 02ч 31мин 29с по Гринвичу на территории Республики Казахстан произошло землетрясение класса 13,3 с магнитудой_Mb=5,8. Координаты эпицентра 43,7149°СШ 77,6582°ВД, на глубине h=6 км. По локализации землетрясение названо «Капчагайским». Землетрясение ощущалось на расстоянии 80 км в крупном мегаполисе г. Алматы с интенсивностью 4-5 баллов по шкале MSK-64 (К) и по свидетельству очевидцев, сопровождалось гулом в различных районах города.

На рисунке 3a представлены записи вариации атмосферного электричества, потока ү-квантов (Еү >400 кэВ) и тепловых нейтронов за несколько дней до землетрясения, начиная с 23 апреля. За несколько дней до землетрясения, начиная с 27 апреля, в атмосферном электричестве было зарегистрировано появление одиночных однополярных положительных импульсных выбросов длительностью 3-5 секунд с практически





Рисунок 3 - Вариации атмосферного электричества, потока гаммаквантов (Еγ >400 кэВ) и тепловых нейтронов во время Капчагайского землетрясения магнитудой Mb=5,8 произошедшего 1 мая 2011 года в 80 км от г.Алматы. Обозначения: Рис.3а - E(t) - вариации атмосферного электричества, красным цветом выделен фрагмент с 30 апреля по 2 мая включительно; 1 – вариации потока тепловых нейтронов после фильтрации ФНЧ с постоянной времени 500 мин; 2- вариации потока гамма-квантов (Еγ >400 кэВ). Рис.3б - развернутый вид отдельного электрического импульса (1) и его высокочастотная составляющая (2), по оси X -время от начала суток 1 мая 2011 по времени GMT в секундах.

За 40 мин до первого подземного толчка 1 мая серии однополярных положительных импульсов прекратились и повторились только накануне повторного землетрясения 2 мая. В развернутом виде отдельный импульсный выброс и его высокочастотная составляющая представлен на рисунке 36.

Появление импульсных выбросов в атмосферном электричестве совпало с характерными изменениями интенсивности потока гаммаквантов (рис.3а график 1) и тепловых нейтронов (рис.3а график 2). Наблюдения показали, что начиная с 29 апреля, интенсивность потока тепловых нейтронов заметно снижалась и 30 апреля достигла

минимальных значений для апрель-май месяцев. Непосредственно перед первым подземным толчком (01.05.2011 г.) напротив, произошел резкий рост интенсивности. Аналогичные изменения отмечены в изменениях интенсивности потока гамма-квантов вторичной космической компоненты в приземной атмосфере. Однако характерное снижение интенсивности потока гамма-излучения началось на 1,5 суток раньше, чем снижение в вариациях тепловых нейтронов. Наименьшие значения были также зафиксированы к началу землетрясения, а после сейсмического толчка в 02:31:29 (GMT) произошло резкое нарастание потока гамма-квантов. Наиболее наглядно снижение и последующее интенсивности потока гамма-квантов проявились в диапазоне энергий E_γ > 400 кэВ. Анализ вариаций интенсивности потока гамма-квантов (Е $\gamma > 400$ кэВ) за более продолжительный период времени (январь-июнь 2011г) показал, что такой эффект наблюдался единожды за полгода - только в канун и во время землетрясения 1 мая.

Накануне и во время землетрясения с 30 апреля по 2 мая наиболее четко проявились суточные вариации интенсивности потока тепловых нейтронов (рис.4).



Рисунок 4 – Регистрация потока тепловых нейтронов в апреле-мае 2011 г. Обозначения: вариации потока тепловых нейтронов после устранения низкочастотного дрейфа (1) с последующим осреднением графика (2); фрагмент графика с выраженной суточной ритмикой (3); корреляционная кривая (4).

Для корреляционного анализа выделен фрагмент суточных вариаций нейтронного потока за период с 30 апреля по 2 мая включительно. В времени наиболее указанный период выявлена высокая степень корреляции (r=0,654) между выделенным фрагментом и общим потоком тепловых нейтронов, что хорошо видно на динамике автокорреляционной функции (рис.4). Коэффициенты корреляции вне ЭТОГО периода значительно меньше.

Выполнено исследование по обнаружению отклика Заключение. литосферных процессов атмосфере В вариациях В приземной инфразвуковых волн, атмосферного электричества, потока гамма-квантов вторичной космической компоненты и тепловых нейтронов в периоды активизации сейсмических процессов. Выявлены отличительные особенности изменения интенсивности потока тепловых нейтронов и гамма-квантов с корреляцией этих процессов между собой, а также сопутствующие эффекты всплесках приземного атмосферного BO электричества и инфразвука накануне и во время землетрясения. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности изучения причинно-следственных связей между подготовкой и возникновением землетрясений в литосфере с сопутствующими явлениями в приземной атмосфере.

Литература

1. Салихов Н.М., Дробжева Я.В., Краснов В.М., Жумабаев В.Т., Сомсиков В.М. Проявление сейсмической волны Капчагайского землетрясения в записях инфразвука и электрического поля // Известия НАН РК. – 2011. – №4. – С. 129-135.

2. Виноградов Ю.А. Инфразвуковой метод мониторинга природной среды //Вторая региональная научно-техническая конференция. Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. – 2009 г.

3. Войтов Г. И., Добровольский И. П., Химические и изотопно-углеродные нестабильности потоков природных газов в сейсмически активных регионах//Физика Земли. - 1994 (3). - С. 20-31.

4. Donn W.L., Posmentier E.S. Ground-coupled air waves from the great Alaskan earthquake//Journal of Geophysical Reseach - 1964. – 69. – P.5357 – 5361.

5. Cook R. K. Infrasound radiated during the Montana earthquake of 1959 August 18// Geophys. J. R., - 1971. - astr. Soc., 26. – P.191 – 198.

6. Takanashi, Y. Koyama, T. Isei, In situ measured infrasound at Sapporo associated with an earthquake occurring offshore in southwest Hokkaido on July 12, 1993//J. Acoust. Soc. Jpn. -1994. -15. -409 - 411.

 Кузнецов В.В. Ударно-волновая модель землетрясения. Формирование ударной волны// Физика очага и афтершоки. Квантовая Магия. - 2011. - Т.
8. - Вып. 2. - С. 2125-2151.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОДРАБАТЫВАЕМОГО МАССИВА¹

Барышников В.Д., Барышников Д.В., Гахова Л.Н.

Федеральное учреждение науки Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, Красный проспект,54, 630091, г. Новосибирск, Россия, E-mail: vbar@misd.ru

EXPERIMENTAL-ANALYTICAL ESTIMATION OF STRAIN STATE OF UNDERMINED ROCK MASS

Baryshnikov V.D., Baryshnikov D.V., Gakhova L.N.

Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 54 Krasny prospect, Novosibirsk 630091, Russia E-mail: vbar@misd.nsc.ru

Для определения критических параметров деформирования породного массива, используемых в дальнейшем при оценке устойчивости горных выработок, предложен следующий подход.

Предварительный прогноз развития деформационных процессов в подрабатываемой породной толще возможен с применением методов математического моделирования. Экспериментальные наблюдения за сдвижениями и деформациями подрабатываемого массива в процессе развитием горных работ позволяют уточнить параметры принятой прогнозной модели и выполнить их корректировку. Комплексное

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке АК «АЛРОСА»

применение результатов численных расчетов напряженнодеформированного состояния (НДС) на основе адаптированной к условиям горного предприятия расчетной модели и данных натурных наблюдений за деформированием и разрушением массива позволит оценить критические параметры деформирования массива, необходимых для последующей геомеханической оценки состояния конструктивных элементов систем разработки [1, 2].

Данный подход реализован на руднике «Интернациональный» АК «АЛРОСА» при подземной отработке кимберлитового месторождения с применением слоевой нисходящей системы с твердеющей закладкой [3].

До начала отработки разрезного слоя 25 блока N9 в разведочном штреке гор. -560 м, расположенном на 16 м выше его кровли, были оборудованы станции глубинных реперов $(C\Gamma P)$ И визуальных наблюдательных скважин, обеспечивающие контроль вертикальных сдвижений и состояния подрабатываемой рудной толщи. Использование видеосъемки состояния контуров наблюдательных скважин с применением определить эндоскопа позволяет местоположение возможных 30H разрушения рудного массива.

Параметры исходного поля напряжений при проведении численных расчетов НДС приняты по аналогии с данными натурных измерений в слое 1 опытно-промышленного блока [4]: $\sigma_{e}^{M} = \gamma H$, $\sigma_{e}^{M} = 0.7 \gamma H$. На глубине разрезного слоя 25 (\approx 1000 м от поверхности) величины напряжений в нетронутом массиве составляют: $\sigma_{e}^{M} \approx 27$ МПа, $\sigma_{e}^{M} \approx 18,9$ МПа.

Результатах численных расчетов НДС в окрестности отработанного слоя 25 и данные натурных наблюдений за деформированием массива в окрестности разведочного штрека (рис. 1) позволили выполнить корректировку параметров расчетной геомеханической модели и

установить показатели деформационных свойств рудного массива: модуль упругости $E = 12 \Gamma \Pi a$, коэффициент Пуассона v = 0.25.

a)



б)





С использованием адаптированной геомеханической модели методом граничных интегральных уравнений получена оценка НДС подработанного слоем 25 массива блока N9: максимальные вертикальные сдвижения кровли в центральной части слоя после его отработки при упругом поведении массива и без учета отпора закладочного массива составили 140 мм (рис. 2а). Максимальные вертикальные поинтервальные деформации в кровле слоя (1,5×10⁻³) наблюдаются на удалении до 3 - 6 м от его контура и распространяются до почвы разведочного штрека

(рис.2б). В процессе развития горных работ вертикальные деформации в кровле слоя 25 достигли 2 - 2.2 ×10⁻³, а зона их действия охватывает рудный массив от контура кровли практически до границы отработанного очистного пространства блока N 7/8 (рис.3).

В табл. 1 приведена сравнительная оценка расчетных поинтервальных деформаций (см. рис. 3) с данными натурных наблюдений (см. рис.1). Анализ полученных результатов свидетельствует об их удовлетворительной сходимости, что отражает адекватность принятых параметров упругой геомеханической модели реальному поведению массива.



Рис. 2. Вертикальные смещения (а, мм) и деформации Е[•] 10⁶ (б) в кровле разрезного слоя 25 после его отработки



Рис. 3. Вертикальные деформации Е[•] 10⁶ рудного массива после отработки слоев 24, 23 в блоке N9 и 9/8 в блоке N 7/8; СГР-1, СГР-2 – станции

глубинных реперов

Сравнительная оценка расчетных послойных деформаций рудного массива

Станция СГР-1			Станция СГР-2		
Интервалы,	Деформации		Интервалы,	Деформации	
М	расчет	замеры	М	расчет	замеры
0-5	0.0021	0.0015	0-3	0.0022	0.0023
5-7.5	0.0020	0.0020	3 – 7	0.0021	0.0022
7,5 – 10	0.0020	0.0022	7 – 9.5	0.0021	0.0018
10-12.5	0.0020	0.0018	9.5 – 12	0.0021	0.0031
12.5 - 15	0.0021	0.0020	12 – 14.5	0.0022	0.0012

(Е) с данными натурных наблюдений по глубинным реперам

Экспериментально установлено, что на станции СГР-2 в интервале глубин 9.5 – 12 м от почвы штрека (что соответствует расстоянию 4 – 6.5 м от контура кровли слоя 25) наблюдается зона повышенных деформаций, превышающих упругие (2.1×10^{-3}) и достигающих значений 3.1×10^{-3} (табл. 1). Хотя по данным визуальных наблюдений в этой зоне не установлено образование открытых трещин, формирование зоны разуплотнения с появлением неупругих деформаций на этом участке в дальнейшем приведет к расслоению рудного массива. Полученные результаты позволяют в первом приближении считать деформацию 3×10^{-3} предельно допустимой для рудного массива (с запасом) и использовать её в качестве критических значений при ведении геомеханического мониторинга и оценке состояния предохранительного целика под водным объектом [4].

Выводы

1. По результатам натурных наблюдений за вертикальными смещениями (осадкой) рудного массива в кровле разрезного слоя 25 установлены величины поинтервальных деформаций рудной толщи в

процессе ведения горных работ в блоках N7/8 и N9, не приводящие к её расслоению, что подтверждено данными визуальных наблюдений в контрольных скважинах.

2. Сравнение расчетных и натурных данных послойных вертикальных деформаций рудного массива за период наблюдений свидетельствует об адекватности принятых параметров геомеханической модели, что позволяет с её использованием обеспечить надежный прогноз изменений НДС конструктивных элементов разработки при дальнейшей отработки блоков.

3. Установленную величину деформаций рудного массива 3×10⁻³ следует использовать в качестве критических значений для оценки состояния горных выработок и предохранительных целиков по результатам геомеханического мониторинга в процессе ведения очистных работ, в том числе под водными объектами.

Литература

- 1. Барышников В.Д., Гахова Л.Н. Геомеханические условия применения слоевой системы разработки кимберлитовой трубки «Интернациональная» // ФТПРПИ. 2009. –№2. С. 46 55.
- 2. Курленя М.В., Барышников В.Д., Гахова Л.Н. Развитие экспериментально-аналитического метода оценки устойчивости горных выработок // ФТПРПИ. Новосибирск. 2012. №4. С. 20 28.
- Baryshnikov V.D., Baryshnikov D.V., Gakhova L.N. Experimentalanalytical estimation of undermined safety pillar / V.D. Baryshnikov, D.V. Baryshnikov, Gakhova L.N // 15th international multidisciplinary scientific GeoConference SGEM 2015: Albena: STEF92 Technology Ltd., 2015. – p. 285-289.
- Барышников В.Д., Барышников Д.В. Геомеханический контроль предохранительного целика под водоносным горизонтом / Proceedings of the V^{-th} International Geomechanics Conference 18-21 June 2012, – Publ.: International House of Scientists «Fr.J.Curie», Varna, Bulgaria . – p. 329 – 324.

СТАДИЙНОСТЬ ПРОЦЕССА ДЕФОРМИРОВАНИЯ ГОРНОЙ ПОРОДЫ И ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Усольцева О.М.¹, Востриков В.И.¹, Цой П.А.^{1,2}, Семенов В.Н.¹

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт горного дела им. Н.А. Чинакала» СО РАН, г. Новосибирск, Россия, e-mail: <u>usoltseva57@mail.ru</u> ²Новосибирский государственный технический университет, 630073, г. Новосибирск, Россия

STAGEWISE DEFORMATION OF ROCKS AND CHARACTER OF CHANGE IN PARAMETERS OF MICROSEISMIC SIGNAL

Usol'tseva O.M.¹, Vostrikov V.I.¹, Tsoi P.A.^{1,2}, Semenov V.N.¹

¹ Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Russia, Novosibirsk, e-mail: <u>usoltseva57@mail.ru</u> ² Novosibirsk State Technical University, Russia

Рост природных и техногенных катастроф, вызванных разрушениями и смещениями массивов горных пород при эксплуатации подземных горных сооружений, отсутствие надежных методов и средств их прогноза предопределяют проблему решения оценки состояния массивов горных пород. Под действием критических нагрузок в материалах развиваются процессы трещинообразования, нарушения сплошности, которые генерируют поля различной физической природы: деформационные, микросейсмической и электромагнитной эмиссии, температурные. Задача

адекватного описания механического поведения различных материалов, горных пород и массивов под воздействием разных видов нагружения при подземном строительстве и добыче полезных ископаемых ведет к необходимости исследования проявления закономерностей этих полей, выявлению корреляционных связей между ними, и, в конечном итоге, разработке новых оценочных параметров нарушения сплошности быть применены геосреды, которые могут для прогнозирования разрушения массивов горных пород (вывалы, горные удары, техногенные землетрясения). Обзор литературы за последние годы показывает, что имеется ряд работ, в которых на образцах горных пород при их одновременно с измерениями усилий нагружении И деформаций проводились исследования сигналов микросейсмической эмиссии (МСЭ), которую в условиях лабораторного эксперимента можно рассматривать как аналог сейсмичности [1–5].

Целью данного исследовании являлось изучение взаимодействия и взаимного влияния параметров полей различной физической природы: поля напряжений, деформаций и сигналов МСЭ при нагружении образцов разрушения получения прогнозных геоматериалов ДО ДЛЯ оценок реализации магистрального разрыва. Испытательные подготовки и образцы были изготовлены из искусственного материала, имитирующего слоистую горную породу, в виде последовательного чередования 2-х слоев, имеющих различные пределы прочности, изготовленных из смеси цемента, песка, клея Neolit и воды в различных пропорциях. Образцы представляли собой цилиндры длиной 60 мм, диаметром 30 мм. Угол напластования (угол между осью цилиндра и нормалью к плоскости слоев (изотропии) составлял $\Psi=0^{\circ}$, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°. На рис. 1а, б приведены фотографии образцов до испытания И образца С установленными датчиками для регистрации МСЭ (б). Испытания образцов геоматериалов проводились на сервогидравлическом прессе Instron-8802.



Рис.1. Фотографии образцов искусственного геоматериала до испытаний, угол напластования Ψ = 0°, 15°, 30°, 0°, 45°, 60°, 75°, 90° – а; фотография образца с установленными датчиками для регистрации МСЭ (1) – б.

Программа нагружения представляла собой одноосное сжатие до разрушения со скоростью перемещения подвижного захвата 0,1 мм/мин. В процессе экспериментов проводилось непрерывное измерение и запись в компьютерный файл: осевой нагрузки, продольных (изменение длины) и поперечных (изменение диаметра) деформаций в средней части образца с применением тензометров фирмы INSTRON. Общий вид испытательного комплекса приведен на рис.2.



Рис.2. Общий вид испытательного комплекса с образцом искусственного слоистого материала (1), установленного в захватах пресса Instron 8802 (2).

На данных образцах была проведена серия экспериментов (одноосное сжатие), не менее 3-х образцов для каждого вида испытаний. Для каждого типа материала получены зависимости предела прочности

(6^в) и модуля деформации (Е_{ст}) в зависимости от угла напластования Ψ (рис. 3а, б). Анализ экспериментальных данных показал, что степень анизотропии существенно влияет на деформационно-прочностные характеристики образцов искусственного геоматериала со слоистой При значениях угла напластования $\Psi = 0^{\circ}$, 90° пределы структурой. прочности отличаются не более 3%, модули деформации отличаются не более 4%, причем при $\Psi=0^{\circ}$ как предел прочности, так и модуль деформации выше, чем при 90°. Наименьшее значение предел прочности и модуль деформации принимают при $\Psi=45^{\circ}$; в интервале изменения угла анизотропии $\Psi=0^{\circ}+45^{\circ}$ наблюдается плавное уменьшение как предела прочности, так и модуля деформации, отношение максимального значения предела прочности и модуля деформации к минимальному составляет 2,8 и 1,8 соответственно.



Рис. 3. Зависимости пределов прочности (а) и модулей деформации (б) образцов искусственного геоматериала от угла напластования Ψ при одноосном сжатии.

Одновременно с измерением напряжений и деформаций проводилась синхронная регистрация сигналов микросейсмической эмиссии. Далее приводится анализ изменения микросейсмических сигналов, полученных на двух наиболее контрастных по деформационно–прочностным свойствам образцах – с углами напластования 90° и 45°.

На рис.4а, б приведены диаграммы "6 /6 ^{вр}-t" образцов № 4 и № 9 с углами напластования 90° и 45° соответственно, где 6 – текущее напряжение, 6 ^{вр} – предел прочности образца при одноосном сжатии, t— время (с). Предел прочности образца № 4 6 ^{вр}=17,3 МПа, образца № 9 – 6 ^{вр}=6,2 МПа. Зависимость напряжения от времени свидетельствует о многоступенчатости деформационного процесса.



Рис.4. Зависимости "напряжение – время" образцов № 4 (а) и № 9 (б).

На рис.5а, б показаны более подробно зависимости "напряжение – время" образцов № 4 (а) и № 9 (б) на 3-й стадии деформирования. Пунктирными линиями с цифрами показаны моменты регистрации микросейсмической эмиссии. На рис.6 приведены графики "6 /6 ^{вр} – t" для образца с углом напластования 45°, t – время (с). С целью более наглядного представления графики разделены по времени: а – 0÷350 с, б – 350÷500 с. На рис. 7 представлен сигнал МСЭ, зарегистрированный в точке 1, рис. 6а, и на рис. 8 – в точке 2, рис. 6б.

На первой стадии деформирования от нулевой нагрузки до 6 /6 ^{вр}=0,2÷0,25 материал образцов уплотняется, величины модулей деформации имеют более низкие значения, чем на последующем участке, возможно из–за разрушения мелких неоднородностей на торцах образца, закрытия пор, микротрещин и т.п. На второй стадии (упругого деформирования) от значений 6 /6 ^{вр}=0,2÷0,25 до 6 /6 ^{вр}=0,55÷0,65 величины модулей деформации увеличиваются и стабилизируются. В это время генерируется сигнал МСЭ с размахом величины ускорения равной 7,0 м/сек², см. рис. 7а, и широкополосный по частоте, рис. 7б.



Рис. 5. Зависимости "напряжение – время" образцов № 4 (а) и № 9 (б) на 3-й стадии деформирования. Пунктирными линиями с цифрами показаны моменты регистрации микросейсмической эмиссии.



Рис. 6. Зависимость "напряжение – время" для образца с углом напластования 45°: а – время 0 – 350 сек, б – 350 – 500 сек. Цифрами 1 и 2 отмечены моменты времени, в которые зафиксированы сигналы микросейсмической эмиссии.

Третья стадия деформирования от значений 6 /6 ^{вр}=0,55÷0,65 до 6 /6 ^{вр}=1 характеризуется существенным уменьшением значений текущих модулей деформации, в материале образца происходит перестройка

структуры, возникают микродефекты. На зависимости "напряжение – время" наблюдаются горизонтальные участки и участки, на которых происходит некоторое уменьшение напряжения, не смотря на то, что образцов геоматериала представляет собой "жесткое" нагружение одноосное сжатие с постоянной скоростью движения траверсы 0,1 мм/мин. В [6] показано, что при значениях напряжений 6 /6^{вр}>0,5 деформация становится существенно неоднородной, возникают зоны локализации, которые при дальнейшем повышении нагрузки до предела прочности формируют трещину магистрального разрыва в образце. В окрестности 6 = 6 ^{вр} происходит выполаживание кривой "6 / 6 ^{вр} – t" и далее – значения 6 уменьшаются, в образце формируется магистральная трещина.



Рис. 7. Сигнал МСЭ, зарегистрированный в точке 1, рис. 6а



Рис. 8. Сигнал МСЭ, зарегистрированный в точке 2, рис. 66

Амплитуда сигнала МСЭ существенно возрастает, рис. 8а, размах достигает значения 46,0 м/сек². При этом частотный спектр смещается в сторону низких частот, и его полоса сужается, рис. 10б.

особенности Отмеченные поведения деформационных характеристик и сигналов МСЭ свидетельствуют о том, что между ними существует четкая взаимосвязь, по которой можно судить о деструктивных процессах, происходящих внутри наблюдаемого объекта. Наиболее ярко отмеченные закономерности проявляются на образцах С углом напластования $\Psi = 45^{\circ}$; что, видимо, связано с тем, деформации имеют большие значения, чем в образцах с $\Psi = 90^{\circ}$, и перестройка структуры образованием микродефектов происходит более геоматериала с интенсивно.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проекты № 16–05– 00992 и № 15–05–07566) на оборудовании ЦКП ГГГИ СО РАН.

Библиографический список

1. Rizz E., Hahne P. // Int. J. Plastisity. 2004. Vol. 20. No 1.

2. Fukushima Y., Nishizawa O., Sato H., Ohtake M. Laboratory Study on Scattering

Characteristics of Shear Wavesin Rock Samples // Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 93, No. 1, February 2003.

3. Labuz J.F., Cattaneo S., Chen L.H. Acoustic emission at failure in quasi-brittle

materials // Construction and Building Materials 15 (2001).

4. Дамаскинская Е.Е., Кадомцев А.Г., Рассказов И.Ю. Выявление пространственной области будущего очага разрушения по отклонению от закона Гутенберга–Рихтера // IX Межд. Школа–семинар «Физические основы прогнозирования разрушения горных пород», Иркутск, 2–6 сентября 2013 г., тез.докл.

5. Лементуева Р.А., Бубнова Н.Я., Треусов А.В. Изучение динамики развития магистральной трещины на образцах горных пород // Межд. Школа–семинар «Физические основы прогнозирования разрушения горных пород», Иркутск, 2–6 сентября 2013 г., тез. докл.

6. Опарин В.Н., Востриков В.И., Усольцева О.М., Цой П.А., Семенов В.Н. Измерительная система и испытательный стенд для контроля эволюции акусто–деформационных и тепловых полей, индуцируемых в процессах флюидоразрушения твердых тел // ФТПРПИ . – 2015. – № 3.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЙ ВОДОНАСЫЩЕННОСТИ АНИЗОТРОПНОЙ ГРУНТОВОЙ ТОЛЩИ ОСНОВАНИЯ НА ДЕФОРМАЦИЮ ФУНДАМЕНТА СО ЗДАНИЕМ

Баймахан Рысбек Баймаханулы¹, Рысбаева Гулшат Полатовна², Сейнасинова Асима Асылбеккызы³, Рысбаева Айман Калиевна⁴, Баймахан Айгерим Рысбеккызы⁵, Авдарсолкызы Сайлаугул¹, Молдакунова Назгул Курманбеккызы⁶, Маханова Айгуль Сейсенбаевна¹, Байбатырова Айсулу Нурланкызы¹

¹ Казахский государственный женский педагогический университет, Казахстан, г. Алматы, E-mail: <u>brysbek@yandex.ru</u>; ² Академия пограничной службы комитета национальной безопасности. Республики Казахстан, г. Алматы; ³ Академия гражданской авиации. Казахстан, г. Алматы; ⁴ Казахская головная Академия строительства и архитектуры, Казахстан, г. Алматы; ⁵ Казахский национальный университет имени Аль – Фараби, Казахстан, г. Алматы; ⁶ Иссыккульский государственный университет имени К. Тыныстанова Кыргызстан, г. Каракол

THE ANALYSIS OF INFLUENCES OF THE WATER SATURATION OF ANISOTROPIC SOIL THICKNESS OF THE BASIS ON DEFORMATION OF THE BASE WITH THE BUILDING

Baymakhan Rysbek Baymakhanuly¹, Rysbayeva Gulshat Polatovna², Seynasinova of Asim Asylbekkyzy³, Rysbayeva Ayman Kaliyevna⁴, Baymakhan of Aygerim Rysbekkizy⁵, Avdarsolkyza Saylaugul¹, Moldakunova Nazgul Kurmanbekkyzi⁶, Makhanova Aygul Seysenbayevna¹, Baybatyrova Aisulu Nurlankyzy¹

¹Kazakh state women's pedagogical university, Kazakhstan, Almaty. brysbek@yandex.ru; ²Academy of a border service of committee of national security. Republic of Kazakhstan; ³Academy of civil aviation. Kazakhstan, Almaty; ⁴Academy of construction and architecture. Kazakhstan, Almaty; ⁵The Kazakh national university of a name of Al – Farabi, Kazakhstan, Almaty; ⁶Issykkulsky state university Name K. Tynystanov. Kyrgizstan, Karakol

Приводятся данные о массовых обрушениях и разрушениях домов, построенные на слабых грунтах. Поперечное сечение одного таких зданий вместе с фундаментом и под фундаментным грунтовым основанием моделируется методом конечных элементов. Приводится результаты исследования различной степени и возможных вариантов водонасыщенности подфундаментного грунтового основания на деформированное состояние зданий и фундамента находящегося под действием собственного веса, приводящегося к обрушению.

Весной 2011- года из - за проникания грунтовых вод к области фундаментного основания новые дома микрорайона "Бесоба" города Караганды одни за другими начали накрениться и обрушаться. Решением правительственной комиссии были снесены все дома нового микрорайона с огромными экономическими потерями. В том же году точно такая же картина имела место в г.Шанхай с 13-этажным домом

Главной причиной массового обрушения домов является высокая степень водопроницаемости и водонасыщенности грунтового основания приповерхностного слоя осадочной толщи. К таким грунтам относятся высохшее дна бывших озер, в геологическом прошлом. Причиной исчезновение является постепенное высыхание подпитываемых речушек и рек. С медленным изменением направлений тектонического сжатия литосферы земли на геологических складках и в осадочной толщи меняются и направления сжатия. В таких случаях воды рек меняют свое русло. В течении миллионных лет воды рек иногда могут возвращаться на прежнее русло. Такая картина наблюдалась в Японском городе Ниигата. Город был построен на грунтах русла реки существовавшего В геологическом прошлом. За сотни тысяч лет воды бывшей реки стали проникать в грунтовые толщи города Ниигата, поднимаясь местами до 20м ближе к земной поверхности. И 16-июня в 1966 году при 8-балльном землетрясений в результате сейсмического сотрясения многие дома города стали накренятся, и некоторые упали, целиком не разрушаясь. На многих улиц города и в аэропорту подземные воды бежали фонтанами изза разжижений грунта.

Поэтому исследования напряженно-деформированных состоянии сложных грунтовых оснований высотных здании и сооружений всегда остается особо ответственным вопросом.

Некоторые результаты этих исследований в докладе представлены рисунками в виде окружающих периметра фундамента нормальных тангенциальных σ_n^{θ} и касательных напряжений $\tau_n \theta$.

Для научного объяснения механизма обрушения домов необходимо исследовать возможные деформационные процессы фундаментов на влияние степени водонасыщенности подфундаментного грунта. Для расчета физико-механического свойства грунтовой толщи взяты из опубликованных источников. Для математического моделирования расчетной области грунтового основания и фундамента со зданием применялся метод конечных элементов. Озерные отложения образованы из горных и грунтовых масс приведенные веками потоками воды бывшей реки. Поэтому такой неоднородный по составу грунт и его физикомеханические свойства приведены к эквивалентно анизотропной среде.

Размеры расчетной области: высота зданий - 80м, ширина - 12м, высота основания фундамента - 15м, высота фундамента - 5м, ширина по основанию расчетной области на земной поверхности - 40м, ширина основания расчетной области - 30м, высота расчетной области - 15 м.Физико -механические свойства материалов:

1. Грунтового основания анизотропного строения - $E_1 = 0.223$

 $E_2 = 0.182$ $G_2 = 0.12$ $v_1 = 0.383$ $v_2 = 0.188$ $\gamma = 2.2;$

2. Железобетонной стенки здания: E = 0.230 v = 0.30 $\gamma = 2.3$;

3. Фундамента-стенки цокольного этажа E = 2.5 v = 0.36 $\gamma = 2.4$

Исследуемая область разбита на Ne = 12324 изопараметрические конечные элементы. Общее количество узлов - Nu = 12680. Порядок решаемой СЛАУ [R]{U}={F}+{P}: M= 25162. Заданная точность вычисления: Eps=0.000001

Полученная система уравнений равновесия решалась итерационной процедурой Гаусса-Зейделя.

Результаты расчета по определению деформированных состояний зданий и фундамента иллюстрируются рисунками. Здесь же отражены величины вертикальной компоненты деформации боковых точек здании на земной поверхности и процентные отношения водонасыщенности.

Анализ картин деформационных состояний фундамента и дома показывает, что в первом варианте симметрия вертикальной осадки нарушается. Величины вертикальной компоненты перемещений v на правой части основания здания на земной поверхности больше на 18 см по сравнению левого основания. В результате фундамент и дом целиком упруго деформируются вниз креном на право. Во втором варианте при меньшей мощности объема, но большей степени водонасыщенности (50%) грунта величина компонент перемещений *v* увеличивается на 9 см на правой части здания. В третьем варианте при меньшем объеме и меньшей степени водонасыщенности грунта по сравнению с предыдущими значение инезначительно уменьшается. Но незначительно вариантами, увеличивается левое основание зданий. Наконец в четвертом варианте при скрытой водонасыщенности незначительного объема грунта, но уже фундаментом деформации непосредственно под осадки, заметно, увеличивается даже при незначительном объеме водонасыщенности.

Результаты анализов позволяет объяснить механизм обрушения дома или зданий с нарастаниями деформации осадок по причине проникания воды на около фундаментные грунты различными вариантами. Именно при каких вариантах происходит обрушение, необходимо продолжить анализ нахождением центра тяжести зданий.

Далее рассмотрено напряженное состояние подземного сооружения в виде цокольного этажа высотного здания, находящегося в условиях естественного поля напряжений, как гравитационного веса зданий и

геостатического сжатия грунтового основания. Эпюры нормальных тангенциальных напряжений σ_n^{θ} в грунтах контактирующие с фундаментом от совместного воздействия гравитационно - геостатической силы показаны линиями 1-5: 1- $\varphi = 0$; 2 - $\varphi = 15^{\circ}$ и 3- $\varphi = 30^{\circ}$. 4 - $\varphi = 45^{\circ}$, 5 - $\varphi = 60^{\circ}$. Где φ - является углом плоскости изотропии слоев анизотропного строения

Анализ эпюр окружных тангенциальных сжимающих напряжений показывает, что наблюдается явная закономерность образования их концентрации во внешних угловых областях фундамента цокольного этажа и в грунтах под центральной несущей стенкой фундамента и зданий, а под полами цокольных комнат напряжение в грунтах полностью При горизонтальной слоистости, эпюры напряжений отсутствует. вертикальной центральной оси симметричные. относительно При наклонной слоистости $\varphi = 15^{\circ}$ эти симметрии нарушаются. С правой стороны центральной оси, величины напряжений слегка увеличиваются. С дальнейшим увеличением углов наклона слоев до 30°, 45° и 60° величины напряжений на правой стороне станут больше по сравнению с левой Такая же закономерность наблюдается и в грунтах под стороной. центральной несущей стенкой.

В результате проведенных исследований выяснены картины распределения полей напряжений в конструктивных элементах подземных сооружений различного назначения проектируемые в грунтах сложного неоднородного и наклонно слоистого анизотропного строения.

В докладе приводится также некоторые результаты исследования напряженного состояния фундаментной основании цокольного этажа системы «Здание – Фундамент - грунтовое основание». Рассмотрен один из наихудший случай, когда окружающий фундамент грунтовое основание имеет сильно неоднородные по природе и наведенное горизонтально слоистое строение. Анализами результатов выяснено, что наибольшие

нормальные к контру фундамента компонент напряжений сжатия σ_n^{θ} наблюдается на боковых, нижних угловых областях и на середине основании под средней стенки, которая является стойкой- опорой. Похожая картина наблюдается и на эпюрах нормальной касательной компоненте напряжений $\tau_n \theta$.

Список литературы

1. Баймахан Р.Б.,Сейнасинова А.А. Монография. Напряженное состояние слабосвязанного массива в окрестности подземной выработки. МОН Кыргызской Республики. Бишкек 2014. 170с

2. Баймахан Р.Б. Монография. Расчет сейсмонапряженного состояния подземных сооружений в неоднородной толще методом конечных элементов. под редакцией академика НАН РК Айталиева Ш.М.Алматы, 2002., – 232с.

Ержанов Ж.С., Айталиев Ш.М., Масанов Ж.К. Монография.
Устойчивость горизонтальных выработок в наклонно-слоистом массиве.
Алма-Ата:1971:-160 с.

4. Баймахан Р.Б., Рысбаева Г.П. Монография. Закономерности трещинообразования в массиве вблизи контура подземного сооружения в анизотропном массиве. Бишкек. 2016. 177 с.

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ГОРНЫХ СКЛОНОВ И БОРТОВ КАРЬЕРОВ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

Нифадьев В.И., Усманов С.Ф.

Кыргызско-Российский Славянский университет, Бишкек, Кыргызская Республика, <u>usmanov@krsu.edu.kg</u>

STABILITY ESTIMATION OF ROCK SLOPES AND OPEN PITS SLOPES ON THE BASIS OF NUMERICAL MODELING OF STRESSED-STRAINED STATE

Nifadiev V., Usmanov S.

Kyrgyz-Russian Slavic University

В настоящее время на территории Кыргызской Республики выявлено свыше 5000 оползнеопасных участков. Оползни и обрушения возникают как на природных склонах, так и на горно-технологических откосах. В республике разрабатывается несколько месторождений открытым способом. Среди них крупное золоторудное месторождение Кумтор. В связи с этим обеспечение устойчивости техногенных склонов (бортов карьеров, отвалов и дамб) является важнейшей задачей, обеспечивающей безопасное и экономически эффективное освоение месторождения. Кроме этого необходимо обеспечивать устойчивость горных каньонов и плотин гидроэлектростанций. Немаловажной на сегодняшний день является прогнозирование устойчивости искусственно созданных откосов на горных автодорогах страны.

Основными причинами потери устойчивости откосов и склонов являются:

устройство недопустимо крутого откоса или подрезка склона, находящегося в состоянии, близком к предельному, как это произошло в Боомском ущелье;

увеличение внешней нагрузки (возведение сооружений, складирование материалов на откосе или вблизи его бровки);

изменение внутренних сил (увеличение удельного веса грунта при возрастании его влажности или, напротив, влияние взвешивающего давления воды на грунты);

неправильное назначение расчетных характеристик прочности грунта или снижение его сопротивления сдвигу за счет, например, повышения влажности;

проявление сейсмических сил, различного рода динамических воздействий (движение транспорта, забивка свай, взрывные работы и т.п.).

Так произошедшие в 2015 и 2016 году оползни и камнепады на откосах автодороги Бишкек-Балыкчи в Боомском ущелье приносят значительный экономический ущерб.

В селе Алмалык Ошской области 13 сентября 2015 года примерно в 21:00 был зафиксирован сход оползня. Длина участка смещения около 800 м, расстояние от стенки отрыва до подошвы оползня около 200 м, средняя мощность около 15 м. Языковая часть оползня перекрыла русло безымянного селеносного сая, тем самым создавая дополнительную угрозу затопления приусадебных участков и жилых домов при прохождении селевых потоков.

В настоящее время прогнозу оползневых явлений уделяется большое внимание. Вместе с тем, ещё недостаточно изучена особенность механизма

оползневых явлениях в условиях высокогорья, слабо развиты методы и средства прогнозирования на основе спутникового и полевого мониторинга.

В Кыргызско-Российском Славянском университете разрабатывается методика оценки устойчивости горного массива на основе численного моделирования напряженно-деформированного состояния. Моделирование выполняется на основе метода конечных элементов. Расчет ведётся на многопроцессорном вычислительном кластере (суперкомпьютер). Использование такого компьютера позволяет решать пространственные и динамические задачи.

Для решения задачи моделирования оползневого процесса разработан LandslideModeller. Он программный комплекс предназначен ДЛЯ численного моделирования оползней и обрушений с использованием пространственно-дискретизированных уравнений структурной динамики. С целью достоверного прогноза подвижек оползней, проводилось тестирование вычислительных алгоритмов, заложенных в программу LandslideModeller, решений на основе известных численных существующих математических моделей оползневых процессов.

Данный метод не требует гладкости решения и позволяет использовать для моделирования неравномерную пространственную сетку. На каждой временной итерации выполняется последовательность из следующих шагов: определение радиуса взаимодействия для каждой частицы; вычисление плотности потока и скоростей частиц; перерасчет положения частиц по схеме Эйлера. Алгоритм был реализован, и на его основе проведено математическое моделирование движения оползневых потоков на трехмерной дискретной модели (рис.1).



Рис.1. Моделирование движения оползня методом частиц

Вертикальная секция грунта представлена в виде набора элементов, отражающая характерный вид оползня. Передняя плоскость оползня

наклонена под углом 45° к горизонту, размер гранул составляет 0.5 м. Максимальные горизонтальные сдвижения возникают в правой нижней части передней плоскости оползня на всех стадиях его развития. Максимальные вертикальные сдвижения наблюдаются в верхней части модели.

Компоненты смещения грунта меняют свои относительные значения по мере развития оползня. Горизонтальные смещения превышают вертикальные сдвижения в начальных стадиях активизации оползня, однако после того как произошла активизация оползня, вертикальные смещения доминируют над горизонтальными смещениями.

На рис. 2 представлен результат моделирования оползня на откосах борта карьера.



Рис. 2. Моделирование обрушения участки борта карьера

Таким образом, разработанная методика моделирования движения оползня позволяет оценить не только устойчивость оползня, но и объём оползня и расстояние его движения.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИБОРТОВЫХ МАССИВОВ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Абдылдаев К.К.*, Кожогулов К.Ч. **, Куваков С.Ж. ** *Иссык-Кульский государственный университет им. К.Тыныстанова, г.Каракол, Кыргызстан, <u>interiksu@gmail.com</u> **Институт геомеханики и освоения недр НАН КР, г. Бишкек, Кыргызстан, <u>ifmgp@yandex.ru</u>

NUMERICAL SIMULATION OF THE MODE OF DEFORMATION AT BORDER MASSIF OF COMPLICATED STRUCTURAL DEPOSITS

Abdyldaev K.K.*, Kozhogulov K.Ch.**, Kuvakov S.Zh.**

*Issyk-Kul state university named after K.Tynystanov, Karakol, Kyrgyzstan,<u>interiksu@gmail.com</u>

** Institute of geomechanics and development of subsoil of National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyzstan <u>ifmgp@yandex.ru</u>

Горные удары обычно происходят при подземной разработке месторождений полезных ископаемых. Однако в мировой горной практике встречаются случаи проявления горных ударов и при открытой их добыче. Из литературных источников известны факты проявления горных ударов в прибортовых массивах карьеров на месторождении в Канаде, на апатитовых месторождениях Кольского полуострова В России. В Кыргызстане внезапное крупное обрушение борта карьера Кумтор объемом ≈ 2.5 млн.м³ произошедшее в 2002 году, отнесено академиком И.Т. Айтматовым к проявлениям горных ударов в прибортовом массиве при открытой разработке этого золоторудного месторождения республики (рис.1.) [1]



Рисунок 1. Масштабное обрушение прибортового массива месторождения Кумтор.

Обычно горные удары происходят при определенном сочетании горно-геологических и горнотехнических факторов. При этом существуют необходимые и достаточные условия проявления горных ударов. К необходимым условиям проявления горных ударов относится наличие в пределах месторождения, где проводятся работы, горных пород, склонных хрупкому разрушению. А к достаточным условиям К относятся горных существование В массиве пород высоких действующих напряжений, способных привести удароопасные горные породы в местах их концентрации к хрупкому их разрушению[2].

Начиная с 70-х годов прошлого столетия силами научных сотрудников Института физики и механики горных пород АН Киргизской ССР были проведены широкомасштабные исследования удароопасности практически всех месторождений Кыргызстана, a также ряда месторождений Казахстана, Южного, Среднего и Северного Урала России. При этом, были определены горные породы, склонные к хрупкому
разрушению на этих месторождениях и исследованы естественное напряженное состояние массива горных пород на различных глубинах разработки. В результате этих работ были установлены месторождения, угрожаемые и опасные по горным ударам, которые вошли в перечень таких рудников и шахт, приведенные в общесоюзной инструкции по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных к горным ударам [3].

В Кыргызстане после приобретения независимости горнодобывающая промышленность республики стала развиваться в основном за счет открытой разработки месторождений полезных ископаемых (Кумтор, Кара-Кече и др.). При этом, по мере углубления карьеров, стали все чаще происходить внезапные обрушения бортов, а в отдельных случаях и горные удары. Одной из главных причин этих проявлений горного давления является недостаточная изученность напряженного состояния прибортовых массивов.

Известно, что наиболее достоверные результаты при исследовании напряженного состояния массива горных пород можно получить при проведении натурных экспериментов непосредственно В шахтных условиях. При этом, методы определения напряжения в массиве можно деформационные условно разделить на три группы: способы, компенсационные способы и способы, основанные на оценке природных или искусственно создаваемых в массиве физических полей и их взаимосвязи с напряженным состоянием земной коры [3]. Однако, эти методы не имеют достаточных возможностей учета сложной геометрии склона и борта карьера, структурных неоднородностей массива горных пород, а также весьма трудоемки.

Поэтому, в ИФМГП НАН КР стали интенсивно развиваться численные методы моделирования напряженно-деформированного состояния массивов горных пород, среди которых наибольшее применение получил

217

метод конечных элементов[4]. При этом, при оценке напряженнодеформированного состояния прибортовых массивов широко использовались такие программные продукты, реализующие метод конечных элементов, как «Геомеханика», «STRESS», «MATLAB» и В моделировании другие. последние годы при напряженнодеформированного состояния прибортовых массивов стала использоваться программа «PLAXIS».

Plaxis – это программная система конечно-элементного анализа, используемая для решения динамических и статистических задач инженерной геотехники и проектирования, которая представляет собой пакет вычислительных программ для конечно-элементного расчёта напряженно-деформированного гидро- и геотехнических сооружений. В ней предусмотрены различные модели горных пород в зависимости от структурного состояния массива [5,6]: линейная упругая модель; модель Кулона-Мора; модель ползучести слабого грунта; модель упрочняющегося грунта; модель скального грунта, т.е. эта анизотропная упругопластичная модель; модель Кэм-Клея.

С помощью программы Plaxis 8.6. в работе проведен расчет напряженно-деформированного состояния бортов карьера сложноструктурного месторождения «Макмал». Физико-механические свойства слагающих пород нами определены в лабораторных условиях в лаборатории Прогнозирования природно-техногенных катастроф ИГИОН НАН КР и использованы при дальнейшем проектировании и разработке месторождения Макмал (таб.1)[7].

На рисунке 2 показаны геометрические параметры моделируемого инженерно-геологического профиля месторождения Макмал, а также деформационная сетка профиля и картина деформированного состояния прибортового массива.

218

№	Название	$\sigma_k N/m^2$	$\sigma kN/m^2$	$v_k N/m^2$	$E_k N/m^2$	ν	<i>o</i> , ⁰	$C kN/m^2$
	пород	0 ₀ ,,	op),	,,,,	2,,		Ψ)	0,001,00
1	Мрамориз	1 16E+05	5 8E+03	26.5	6 200E±07	0.250	60	1,360
	известняк	1,101-05	5,61+05	20,5	0,2001107	0,230	00	E+04
2	Рудное	5E+04	2 5E+03	28	/ 530E±07	0.200	58	4400,
	тело	5L+04	2,511+05	20	-,550E+07	0,270	50	000
3	Граниты	2 5E+05	1 56E+04	28	7 600E±07	0.220	61	1,800
	I Paimibi	2,511+05	1,501-04	20	7,000L+07	0,220	01	E+04

Таблица 1. Физико-механические свойства пород массива месторождения «Макмал»



Рисунок 2. Геометрические параметры и деформационная сетка профиля (а), картина деформированного состояния прибортового массива (б).

В моделирования напряженно-деформированного результате состояния прибортового массива месторождения Макмал, получены треугольных элементов под действием смещения узловых точек гравитационных сил, максимальное значение которых равно 149,63*10⁻⁶м или 0,14963 мм. Следует отметить, что данный профиль разбит на 640 равносторонних треугольных элементов с 5309 узловыми точками. Распределение напряжений в прибортовом массиве приведено на рис.3.





В моделирования напряженно-деформированного результате состояния прибортового массива выявлено, концентрации что горизонтальных сжимающих напряжений возникают в области дна $101,143 \ kN/m^2$ изменяются ОТ карьера, значения которых ДО 539,8 kN/m^2 (рис.3 – а). А вертикальные напряжения как видно из рисунка 3 - б, распределены равномерно с изменением только высотной отметки, значения которых меняются до $277 \ kN/m^2$.

Характер распределения напряжений и область концентрации напряжений по оси Z практически такая же что и распределение напряжений по оси X, но значения сжимающих напряжений достигают до

246,82 kN/m^2 (рис.3 – в). А значения максимальных касательных напряжений составляют 171,72 kN/m^2 (рис.3 – г).

В целом, в результате моделирования напряженнодеформированного состояния прибортового массива сложноструктурного месторождения Макмал, можно констатировать, что значения сжимающих напряжений распределены неравномерно, а их концентрация наблюдается в области сопряжений дна и бортов карьера, а также в районах контактов горных пород.

Литература

- Айтматов И.Т., Кожогулов К.Ч., Никольская О.В. Геомеханические проблемы разработки нагорных месторождений открытым способом в гор- носкладчатых областях //Научно-техническое обеспечение горного производства. Т. 68. Ч. 1. – Алматы, 2004.
- 2. Айтматов И.Т., Кожогулов К.Ч. Современное состояние проблемы горных ударов в горнорудной промышленности Кыргызстана // Горный журнал. 2002. № 10.
- Кожогулов К.Ч. Турсбеков С.В. Никольская О.В. [и др.]. Основы геомеханики при открытой разработке месторождений полезных ископаемых. Бишкек-Алматы, 2016 – 146 с.
- 4. Инструкция по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных к горным ударам. Л, ВНИМИ, 1989 г.
- Кожогулов К.Ч. Никольская О.В. Усенов К.Ж. Шерматов С.А. Численное моделирование напряженного состояния породного массива для оценки устойчивости откосов. // Проблемы горных дорог. ИФиМГП НАН КР. 1998. с. 10-17.
- 6. Кожогулов К.Ч., Куваков С.Ж. Моделирование напряженного состояния подкарьерных запасов при комбинированной разработке рудных месторождений // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук //Научный журнал, Новосибирск 2015, №2.
- Kuvakov S.Zh., Kozhogulov K.Ch., Kabaeva G.Dz. Mathematical modeling of massif state around the mountain road slopes and highland pit. Challenges and innovations in Geotechnics. Astana – 2016.
- Куваков С.Ж., Кадыралиева Г.А., Джакупбеков Б.Т. Физикомеханические свойства горных пород глубоких горизонтов месторождения»Макмал», Вестник КРСУ т.16, №5, Бишкек – 2016.

ИГН ПРОГНОЗ СЕЙСМОКАТАСТРОФ ГИДРИДНОЙ ЗЕМЛИ

Усупаев Ш.Э.

Центрально азиатский институт прикладных исследований земли, г. Бишкек, Кыргызская Республика, <u>sh.usupaev@caiag.kg</u>

IGN SEISMIC FORECAST DISASTER HIDRIDE EARTH

Usupaev Sh.E.

Central Asian Institute for Applied Geosciences, Bishkek, Kyrgyz Republic, <u>sh.usupaev@caiag.kg</u>

В статье на основе нового научного направления и методологии инженерной - геономии (далее - ИГН) даны обоснования, природы тектонических, геодинамических движений и прогнозирования сейсмокатастроф на Земле и ее субчастях, в т.ч. в пределах Кыргызского Тянь-Шаня и трансграничных зонах со странами Центральной Азии.

ИГН методология базируется на интеграции достижений наук о Земле прежде всего по следующим базовым научно-методическим направлениям. Прямые **геологические** методы позволяют получить пердставление о верхнем слое земной коры на глубинах проходки горных выработок и шахт до первых километров и скважин до 12 км., т.е в пределах осадочного и гранито-гнейсового слоя. **Геофизические** методы позволяют получить данные о строении нижних слоев земной коры и физических процессах происходящих на значительных глубинах до жидкой планетосферы. Однако геофизические методы не позволяют получить прямые данные о составе глубинных зон Земли. **Геохимические** методы, в результате комплексирования геологического и геофизического методов, с использованием моделирования и лабораторных испытаний для больших глубин, позволяют косвенно определить состав горных пород земных недр. Геогидрологические подходы, позволяют исследовать глубинную геогидрологию тектоносферы и надмантийных флюидов интегрированный геолого-геофизико-геохимико-Земли. Именно ИГН геогидрологический являются базовой основой подходы изучении недр Земли.ИГН методологии В как наука изучает закономерности развития изменяющихся во времени, поликомпонентных трансформирующихся гравиинертными силами планетосфер Геоида, которые формируют землетрясения, цунами, горные удары И индуцированные геориски, а также посредством флюидов гидрогенные месторождения полезных ископаемых. Приведены модели И прогностические критерии прогнозирования сейсмокатастроф гидридной Земли, связанные с геогидрологической стратификацией и подземным геофильтрационно-дренажным эффектом круговорота флюидов сквозь литосферные слои. Даны ИГН обоснования механизма формирования сейсмокатасроф и индуцированных ими георисков по следующим позициям: а). ударное столкновение небесных тел при действии закона оказавшихся вблизи резонансного пересечении орбит палео-Земли приводит к эффектам катастрофически скачкообразного роста их объема, массы и формирует при их объдинении в планетосферах сейсмические и иные глобальные кризисы и катастрофы.

б). ежегодное орбитальное вращение по собственной орбите внутри Земли твердого ядра в жидкой планетосфере под углом 45 градусов к Солнцу при пересечении по сезонам года от экватора то вверх к северному полюсу, то вниз к южному полюсу Геоида периодически влияет на генезис землетрясений и индуцированных георисков

в). ИГН эффект знакопеременного сжатия и растяжения дуальноантиподальных сторон геоида гравиинертными объемными пульсирующими геоволновыми деформациями формирует условия для генезиса сейсмоктастроф и вызванных георисков.

ОСНОВЫ СИСТЕМЫ ОН-ЛАЙН ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ Г. БИШКЕК И ЕГО АГЛОМЕРАЦИЙ ОТ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Усупаев Ш.Э., Молдобеков Б.Д., Орунбаев С.Ж., Шакиров А.Э.

Центрально азиатский институт прикладных исследований земли, г. Бишкек, Кыргызская Республика, <u>sh.usupaev@caiag.kg</u>, b.moldobekov@caiag.kg, <u>s.orunbaev@caiag.kg</u>, <u>a.shakirov@caiag.kg</u>

BASICS OF ONLINE PUBLIC WARNINGS BISHKEK AND ITS METROPILITAN AREA BU THE EARTHQUAKE

Usupaev Sh.E., Moldobekov B.D., Orunbaev S.J., Shakirov A.E.

Central Asian Institute for Applied Geosciences, Bishkek, Kyrgyz Republic, sh.usupaev@caiag.kg, b.moldobekov@caiag.kg, s.orunbaev@caiag.kg, a.shakirov@caiag.kg

Город Бишкек расположен на молодых по геологическому возрасту четвертичных отложениях с мощностью до 200-300 м. состоящих из мелкоземистых и грубообломочных материалов. Под четвертичными отложениями находятся третичные палеоген-неогеновые образования, под которыми залегают палеозойские породы в виде скальных грунтов.

По статистическим данным в Северо-Тянь-Шаньской сейсмоопасной зоне, в пределах г. Бишкек происходит одно землетрясение с магнитудой M=6,5 в среднем за 25 лет, с M=6,5-7 за 70-80 лет, M>7,1 за 200-500 лет, с M>8 за 700-1000 лет. Анализ сейсмичности показало, что гипоцентры землетрясений на территории Киргизии в т.ч. под г. Бишкек и его агломераций в основном неглубокие и залегают на глубинах от 5-15 км, реже до – 16-20 км. Опасной для г. Бишкек представляется Северо-Тянь-

Шаньская сейсмозона способная генерировать в своих пределах сильные землетрясения с магнитудой M>6. Ранее в Кыргызстане произошло несколько катастрофических землетрясений, как Беловодское 3 августа 1885 года с интенсивностью 9 баллов, Кеминское магнитудой Ms=8.2 3 января 1911 г., Георгиевское землетрясение 1910 г. с интенсивностью в эпицентре 7-8 баллов, которые в г. Бишкек проявлялись интенсивностью до 6-7 баллов. В статье приведены результаты комплексных геофизических исследований на территории г. Бишкек позволившие составить цифровые сейсмического микрорайонирования карты для использования В планировании и сейсмостойком строительстве. С помощью не активного метода микросейсм зондирован Иссык-Атинский разлом несущий угрозу населению проживающему в зоне опасного тектонического нарушения.

По обработанным записям микросейсм ширина Иссык-Атинского разлома в районе с. Орто-Сай соответственно составляют по профилям: 240 м. (от I-A 14 до I-A 15), в районе с. Нижний-Орок 368 м. (от I-A 23 до I-A 22), в районе с. Нижний-Орок 368 м. (от I-A 23 до I-A 22) и в районе с. Кок-Джар составляет: 42 м. (I-A 27). С 2008 по 2015 гг. впервые методом многолетнего геомониторинга с помощью двух независимых видов магнитометрии и измерений микросейсм (сейсмических шумов) по 4 профилям вкрест простирания Иссык-Атинского разлома, определены ширина и углы падения данного активного разлома расположенного в элементы южной обнаружены части Γ. Бишкек, где впервые геодеформационного «дыхания».

Составлены первые цифровые карты сейсмического микрорайонирования (СМР), которые предназначены для использования при планировании и сейсмостойком строительстве.

Созданы основы системы он-лайн предуперждения населения г. Бишкек и его агломераций от землетрясений в целях снижения георисков с учетом развития мегаполиса до 2025 года.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ МЕХАНИЗМ ГЕНЕРАЦИИ МАГНИТНОГО И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЕЙ ЗЕМЛИ И ДРУГИХ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ

Омуркулов Т.А., Тажибаев К.Т.

¹ Иссык-Кульский государственный университет им. Тыныстанова, г. Каракол, Кыргызская Республика, ota_54@inbox.ru ²Национальная Академия наук Кыргызской Республики, Институт геомеханики и освоения недр, г. Бишкек, Кыргызская Республика,kushbak@yandex.ru **THE ALTERNATIVE MECHANISM OF GENERATION OF MAGNETIC AND ELECTRICAL FIELDS OF THE EARTH AND OTHER HEAVENLY BODIES**

Omurkulov T.A.¹, Tazhibaev K.T.²

¹The Issyk-Kul state university by him. K.Tynystanov of Kyrgyz Republic, ota_54@inbox.ru ²Academy of sciences of Kyrgyz Republic, Institute of geomechanics and development of bowels National Academy of Sciences,Bishkek city, Kyrgyz Republic, kushbak@yandex.ru

Одним из главных методов прогноза геодинамических событий является электромагнитный метод во всем его многообразии, но исследования самого механизма генерации магнитных и электрических полей Земли еще далеки от завершения [1,2]. В настоящее время считается, что в основе механизма генерации магнитных полей (далее сокращенно МП) небесных тел лежит процесс гидромагнитного динамо. Прошел почти целый век со времени (1919 г.) высказывания английским ученым Лармором идеи гидромагнитного динамо механизма МП небесных тел [3, 4]. Ныне эта идея превратилась в тома гипотетических теорий с многочисленными ветвлениями, но они также, на наш взгляд, далеки от истины, так как не всегда согласуются с данными прямых измерений соответствующих характеристик МП и их изменений. В связи с этим в данной работе предлагаем альтернативный механизм формирования МП.

Предлагаемый нами механизм генерации МП Земли и других небесных тел прост И основывается на законах И правилах фундаментальной электродинамики. Этот механизм логически вписывается в имеющиеся данные и факты и не требует особых геологических условий для ее реализации. Необходимыми условиями являются вращение планеты вокруг своей оси, существование проводящих слоев (ядра) в ее толще и наличие затравочного (внешнего или собственного) магнитного поля [5].

Если проводящий шар (земное ядро) вращается вокруг собственной оси в магнитном поле (затравочное поле), имеющем составляющую вектора индукции \mathbf{B}_{o} , направленную вдоль оси вращения с юга на север (рис.1, а), то на каждый заряд (электроны, ионы), находящийся в ядре и вращающийся вместе с ним, с линейной скоростью

$v = \omega \cdot r$

действует сила Лоренца со стороны магнитного поля [6]

$$\mathbf{F} = \boldsymbol{q} \cdot \boldsymbol{v} \cdot \mathbf{B}_{o} \cdot \boldsymbol{sin} \ \boldsymbol{\alpha} \quad (1),$$

где ω – угловая скорость вращения, r – расстояние от оси вращения до заряда q. Угол $\alpha \approx 90^{\circ}$ т.к. векторы v и \mathbf{B}_{\circ} перпендикулярны. Применив правило левой руки легко убедиться, что эта сила разделяет свободные заряды – отрицательные к оси вращения, а положительные к внешнему краю земного ядра. В результате длительного действия этих сил на свободные заряды в ядре образуются две кольцевые области в виде полых концентрических цилиндров, имеющие некомпенсированные противоположные заряды, отрицательная \mathbf{Q}_{-} (внутреннее кольцо) вблизи оси вращения, и положительная \mathbf{Q}_{+} (внешнее кольцо) дальние от оси вращения края земного ядра (рис.1, а). Эти области имеют суммарные заряды противоположного знака, равные по модулю $|\mathbf{Q}_{+}| = |\mathbf{Q}_{-}|.$

При вращении Земли вокруг собственной оси эти области, вращаясь вместе с ней, создают концентрические кольцевые токи противоположного направления (I_+ – с запада на восток и I_- – с востока на запад).

$$I_{+} = \mathbf{Q}_{+} / \mathbf{T}; \quad I_{-} = \mathbf{Q}_{-} / \mathbf{T},$$

где **Т** – период вращения Земли. Эти кольцевые токи создадут собственные магнитные поля с векторами индукции **B**₊ и **B**₋ соответственно.

Определив направления кольцевых токов и их полей (правило буравчика), легко убедиться, что направления векторов \mathbf{B}_+ , \mathbf{B}_- и \mathbf{B}_0 в промежутке между кольцевыми токами I_+ и I_- совпадают и взаимно друг друга, следовательно, способствуют дальнейшему усиливают разделению зарядов и увеличению магнитных сил отталкивания (закон Ампера) противоположного между ЭТИМИ кольцевыми токами направления. Заметим, что наряду с магнитным полем возникнет и электрическое поле, противодействующее разделению зарядов. Однако это электрическое поле, практически полностью, будет экранировано [7], разделяющим кольцевые области, электропроводящим веществом земного ядра и другими электропроводящими частями Земли. Следует отметить, что явление экранирования электрического поля проводящим веществом играет одну из ключевых ролей в реализации механизма генерации МП небесных Таким образом, тел. сохраняет ЭТОТ механизм «жизнеспособность» и в отсутствие затравочного поля **В**₀. При этом значение вектора индукции В собственного магнитного поля Земли в каждой точке пространства вне и внутри земного шара определяется суперпозицией векторов **B**₊ и **B**₋. В дальнейшем главным необходимым условием существования и инверсионно - циклического развития собственного МПЗ становится лишь вращательное движение планеты вокруг собственной оси.



Рис. 1. Схема механизма разделения зарядов, генерации и непрерывного циклического развития МПЗ (в меридиональном срезе). Цифрами обозначено: 1-ось вращения, 2-проводящее ядро, 3-край активно вращающейся атмосферы, 4 — 6 – кольцевые области с некомпенсированными зарядами; 4 – Q_+ , 5 – Q_- , 6 – q_+ соответственно. В части **а**) значками $\rightarrow u \leftarrow +$ показаны направления сил Лоренца, действующих на заряды разных знаков.

Проанализировав вышеизложенное, приходим к заключению, что Μ небесного магнитный момент тела должен быть прямо линейной скорости пропорционально зависимым вращения ядра $\boldsymbol{v} = \boldsymbol{\omega} \cdot \boldsymbol{r}$, радиусу проводящей части (ядра) **r**, удельной проводимости $\boldsymbol{\delta}$ ядра, и величине k=r/R (отношение радиуса ядра к среднему радиусу самого небесного тела), характеризующей линейную долю проводящей части (ядра) небесного тела. Ее мы назовем относительной величиной ядра. На основе анализа этой зависимости получена формула магнитного момента небесного тела:

$$\boldsymbol{M} = \boldsymbol{\tau} \cdot \boldsymbol{k} \cdot \boldsymbol{v} \cdot \boldsymbol{r} \cdot \boldsymbol{\delta} \tag{2}$$

где т – коэффициент, зависящий от электрических, магнитных свойств недр и выбора системы единиц. Наличие сильных МП у Юпитера и Сатурна, наоборот слабость МП у Венеры подтверждают соответствие предложенного механизма фактическим данным. Для проверки соотношения (2) значения величин **M**, ω , **r**, **R** и вычисленные значения **k**, lgM, $lg(\mathbf{k}\cdot\boldsymbol{\omega}\cdot\mathbf{r})$ тел солнечной системы, для которых имеются соответствующие данные, внесены в таблицу 1. Для Солнца принято k = 1, т. к. вся его шарообразная часть, включая фотосферу, является высоко проводящей плазмой [1]. Ввиду отсутствия данных показатель δ исключен из рассмотрения. График полученной зависимости магнитных моментов lgM тел солнечной системы от $lg(k \cdot \omega \cdot r)$ изображены на рис. 2. Этот график (даже при неточностях данных для величины **r** и отсутствии данных для величины δ) убедительно свидетельствует о правомерности зависимости 2, универсальности предлагаемого механизма генерации МП Земли и других небесных тел. В последующем на основе предлагаемого механизма нам удалось объяснить ряд процессов земного электромагнетизма, таких как наличие атмосферного электрического поля, зарядки кучевых и грозовых облаков, грозовых явлений [8] и разрядов в верхней атмосфере

электромагнитного процесса.

Табл. 1. Магнитный момент **M**, средний радиус **R**, радиус проводящей части (ядра) **r**, циклическая частота вращения ω небесных тел солнечной системы и вычисленные значения **k** = **r**/**R**, **v**= ω ·**r**, lg**M**, lg(**k**·**v**·**r**) (В квадратных скобках указан источник данных.).

N₂	Небесные тела	М (Гс [.] см ³)	R (см)	г (см)	ω (c ⁻¹)	$\mathbf{k} = \mathbf{r}/\mathbf{R}$	v = ω·r (cm/c)	lg (k·v·r)	IgM
1	Меркур. ^[4]	$2,4\cdot 10^{22}$	2,4·10 ⁸	1,8·10 ⁸	1,2.10-6	0,75	$2,2.10^{2}$	10,46	22,4
2	Венера ^[4]	4,0·10 ²¹	6,1·10 ⁸	3,6·10 ⁸	2,0.10.7	0,60	7,2·10 ¹	10,19	21,6
3	Земля ^[1,4]	7,98·10 ²⁵	6,4·10 ⁸	$3,5.10^{8}$	7,3·10 ⁻⁵	0,55	2,6·10 ⁴	12,69	25,9
4	Mapc ^[4]	$2,5\cdot 10^{22}$	3,4·10 ⁸	8,1·10 ⁷	7,1.10-5	0,24	$5,8.10^{3}$	11,05	22,4
5	Юпитер. ^[4]	$1,5.10^{30}$	7,1·10 ⁹	5,0·10 ⁹	1,8.10-4	0,70	9.0 [.] 10 ⁵	15,50	30,2
6	Сатурн [4]	4,6.1028	6,0·10 ⁹	$4,2.10^{9}$	1,6.10-4	0,70	6.7·10 ⁵	15,30	28,7
7	Солнце ^[4]	$1,7.10^{32}$	7,0.1010	7,0·10 ¹⁰	2,9.10-6	1,00	2,0·10 ⁵	16,15	32,2



Рис. 2. График зависимости магнитного момента М небесных тел солнечной системы от линейной скорости v= w·r вращения, истинного r и относительного k размеров их проводящей части (ядра). Номера у точек соответствуют порядковым номерам тел в таблице 1.

Применением этого механизма для объяснения особенностей МП Земли удалось объяснить ряд его особенностей, как магнитные аномалии, западный дрейф поля, инверсии и цикличность. Применение данного механизма к МП Солнца дало возможность объяснить такие явления как цикличность, инверсии, пятна, диаграмму бабочек, дифференциальное вращение, активные долготы, которые до настоящего времени не имели даже приближенных объяснений [10]. При этом считаем, что нет основания отрицать наличие явления гидромагнитного динамо в жидких или плазменных ядрах небесных тел. Тем не менее, считаем, что эти явления не создают, а разрушают глобальные МП небесных тел.

Заключение

Механизм, объясняющий генерацию МП небесных тел, основанный на явлении гидромагнитного динамо, не смотря на усилия многих ученых геофизиков всего мира, в течение практически целого века, не дал ожидаемого результата в познании природных процессов и изменений, связанных с МП. Поэтому предлагается альтернативный механизм генерации МП небесных тел, который основан на законах и правилах фундаментальной электродинамики и позволяет объяснить многие природные явления, связанные электрическим и магнитным полем.

Литература.

- Белов К. П., Бочкарев Н. Г. Магнетизм на Земле и в космосе: М.: Наука, 1983, с. 105–130.
- Касьяненко Л. Г., Пушков А. Н. Магнитное поле океан и мы: Л.: Гидрометеоиздат, 1987, с. 176–188.
- Филиппов Е. М. Популярно о геофизике: Киев: Наук. думка, 1989, с. 114–137.

- Хаббард У. Внутреннее строение планет: Пер. с англ. М.: Мир, 1987, с. 141–151, 172–177.
- Омуркулов Т.А. Сущность магнитного поля Земли: Вестник ИГУ № 25: – Каракол 2010, с. 7–14.
- Омуркулов Т.А. Явление генерации и непрерывного инверсионноциклического развития собственного магнитного и электрического полей проводящих тел: Известия национальной академии наук Кыргызской Республики №2: – Бишкек: «ИЛИМ», 2015. с. 35–39.
- Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике: Пер. с англ. – М.: Мир, 1977, с. 98–108.
- Омуркулов Т.А. и др. Грозы как составная часть генерации глобального электрического и магнитного полей Земли: Вестник Иссык-Кульского университета № 35: – Каракол 2013. с. 20–24.
- Тажибаев К.Т., Омуркулов Т.А. Разряды в верхней атмосфере как составная часть процесса земного электромагнетизма: Институт геомеханики и освоения недр НАН Кыргызской Республики. Современные проблемы механики сплошных сред. Вып.20: – Бишкек 2014, 7 с. (с. 132 – 138).
- 10.Омуркулов Т.А. Сущность магнитных полей Солнца: Вестник ИГУ
 № 26: Каракол 2010, с. 73–82.

РАЗРУШЕНИЕ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ С РОСТОМ ГЛУБИНЫ ГОРНЫХ РАБОТ

Ялымов Р.Н.

Институт геомеханики и освоения недр Национальная Академия Наук, г. Бишкек, Кыргызская Республика

DESTRUCTION OF LOAD CARRYING STRUCTURES OF SYSTEMS DEVELOPMENT WITH HEIGHT OF DEPTH OF MOUNTAIN WORKS

Yalymov R.N.

Institute of geomechanics and mastering of bowels of the earth National Academy of Sciences, Bishkek, Кыргызская Republic

Перспектива развития подземной добычи руд в Кыргызской Республике связана с переходом на глубокие горизонты. С углублением горных работ возникают трудности, которые усложняют отработку месторождений это: горно-геологические и геомеханические условия разработки такие как: повышенное и неравномерное напряженное состояние массива [1], разнообразие физико-механических свойств руд и вмещающих пород, неравномерное распределение полезных компонентов в рудных залежах, нарушенность массива пород тектоническими трещинами и разломами. Все это оказывают существенное влияние на выбор системы разработки и устойчивость их конструктивных элементов.

С возрастанием глубины напряжения в массиве увеличиваются за счет действия как гравитационных, так и тектонических сил. Как показали исследования (методом разгрузки), тектонические напряжения способствуют перераспределению напряжений в массиве. Причем образование тектонически-напряженных зон зависит от типа разлома и его активности. Поэтому напряжения в массиве изменяются не только с глубиной, но и в пределах одного горизонта месторождения – как по величине, так и по направлению.

Исследования физико-механических свойств пород рудных месторождений Кыргызстана по экспериментальным данным показал, что с возрастанием глубины изменяются некоторые прочностные И деформационные характеристики руд и вмещающих пород. Установлено, что прочностные показатели оруденелых известняков Хайдарканского месторождения с увеличением глубины с 100 м до 450 м возрастают в 1,2 раза, а окремненных известняков уменьшается в 2,0-2,2 раза.

Из вмещающих пород наблюдается тенденция к увеличению прочности на сжатие для известняков Чон-Койского и Кадамжайского месторождений соответственно на 6 и 8 МПа на каждые 100 м роста глубины. Прочность эффузивов на сжатие уменьшается с глубиной на 6 МПа. С возрастанием глубины на Кадамжайском месторождении от 100 до 660 м происходит снижение прочности на сжатие и модуля упругости в 5 раз. Все это оказывает существенное влияние на устойчивость и параметры конструктивных элементов систем разработки.

Обследованием подземных выработок установлено, что основными видами проявлений горного давления на верхних горизонтах выше основания гор являются незначительные деформации кровли, боков выработок и целиков и многие камеры на Хайдарканских, Кадамжайском, Терексайском, Чаувайском и др. рудниках сохраняют устойчивое состояние длительное время по 30-40 лет и более. Наблюдаются только выпадение отдельных глыб, мелкие обрушения и отслоения, связанные с естественной и технологической трещиноватостью.

С углублением работ и опускания их ниже подошвы гор и долин под действием горного давления в выработках происходят более заметные

деформации пород, образование новых трещин, большого количества заколов, а затем и обрушений пород кровли и боков выработок, разрушения целиков и иногда массовых обрушений в нескольких камерах.

С возрастанием глубины горных работ обрушения кровли камер на некоторых рудниках становятся систематическим явлением и представляет серьезную опасность для людей и механизмов. Обрушения вмещающих пород приводят к увеличению потерь и разубоживания руды, осложняя весь технологический процесс. На основании проведенного обследования были выявлены наиболее характерные виды проявления горного давления в очистных камерах на Хайдарканском, Кадамжайском, Чон-Койском месторождениях. Основными системами разработки, применяемыми на рудниках являются камерно-столбовая и система с магазинированием При разработке залежей камерно-столбовой системой руды [2]. основными поддерживающими конструктивными элементами является непосредственная кровля и междукамерные целики. В результате проведенного обследования камер на различных горизонтах установлено, что с увеличением глубины разработки происходят обрушения как кровли так и целиков (Таб. 1).

Таблица 1

		Общее	Количество		Колиноот	rpo ofpy	
		кол-	разруг	шений	шений во		
	Глубина,	кличество	констру	ктивных	время от	время отработки	
Горизонт	M	разруше-	элем	ентов	I 1		
		ниний	Кровля,	Целики,	Кровля,	Целик,	
		камер,	%	%	%	%	
		%					
1080	90	0	0	-	0	-	

1046	120	0	0	-	0	-
1014	160	9	9	-	0	-
990	230	16	12	4	4	-
960	280	24	18	6	6	2
930	330	30	24	6	8	4
900	360	32	28	4	18	4
870	450	38	25	13	20	7

Разрушение междукамерных целиков на Хайдарканском месторождении начались при отработке на глубине более 200 м (таб.) поэтому нами были проведены расчеты устойчивых размеров целиков, которые сравнивались с фактическими. Наибольшую опасность для людей и оборудования представляют обрушения, происходящие во время отработки камер. Общий объем обрушений и их количество на рудниках, происходящих во время отработки, имеет явную тенденцию к увеличению с ростом глубины горных работ [3].

Принятые размеры целиков должны обеспечить устойчивость, если бы испытывали давление только веса налегающих пород. С учетом действующих в массиве напряжений фактические размеры многих целиков занижены. Так, на глубине 100-150 м площади целиков соответствуют расчетным, а на глубине 200-250 м некоторые целики имеют запас прочности меньше единицы, что и привело к их разрушению.

В процессе углубления горных работ размеры некоторых целиков были увеличены по сравнению с верхними горизонтами и на глубине 450-500 м их средние площади близки к расчетным с учетом повышенного горного давления. Увеличение площади целиков связано с обеспечением их устойчивости, в результате чего количество камер с разрушением целиков по сравнению с обрушением кровли уменьшилось. Обрушения кровли начались с глубины 160 м и их количество резко возросло при

237

дальнейшем углублении горных работ. Из сравнения фактических данных и расчетных параметров на давление только веса налегающих пород, следует, что принятые на руднике параметры камер должны были бы обеспечить устойчивость кровли до глубин 450-500 м. С учетом повышенных напряжений, действующих в массиве месторождения, фактические пролеты соответствуют принятые камер расчетным устойчивым верхних горизонтах, что подтверждается только на отсутствием или небольшим количеством обрушений кровли. Начиная с глубины 160-200 м принятые пролеты камер превышают их допустимые устойчивые значения и на глубине 450 м разница между расчетным устойчивым пролетом и средним фактическим составляет 2 м., или 1,4 раза. В результате такого несоответствия количество обрушений кровли камер с глубиной резко возросло.

Таким образом, при разработке залежей камерно-столбовой системой происходят разрушения основных конструктивных элементов системы – кровля камер и целиков. С увеличением глубины горных работ общее количество обрушений возрастает. На основании корреляционного анализа установлено, что основной причиной обрушений является несоответствие параметров камер и целиков конкретным горно-геологическим условиям, глубине разработки и напряженному состоянию массива пород.

Известно, что одним из направлений повышения безопасной и эффективной подземной добычи на глубоких горизонтах является закладка выработанного пространства. В последующие годы следует ожидать дальнейшего понижения горных работ в связи с освоением новых золоторудных и действующих глубокозалегающих месторождений. Особое место в этом направлении занимают исследования, связанные с закладкой выработанного пространства, как наиболее перспективного способа управления горным давлением. Но, закладка выработанного пространства требует больших капиталовложений. Поэтому с целью снижения затрат мы

компьютерную используем методику И программу определения параметров камер и целиков при разработке пологопадающих рудных залежей [4], где кроме основных геомеханических и технологических факторов, при расчете параметров камер и целиков необходим целый ряд показателей, учитывающих характер распределения нагрузок на кровлю камер и целиков, снижения их устойчивости и несущей способности за счет влияния трещиноватости, длительную прочность конструктивных элементов И др. Эта методика позволяет рассчитать параметры закладочных работ, т.е. устойчивый эквивалентный пролет и толщину закладочных столбов или полос, что значительно снизит затраты на закладочные работы. В качестве примера в таблице 2 приводятся расчетные параметры закладочных элементов Хайдарканского для месторождения.

Таблица 2

	Ширина полос или			Экви	валент	ный про	олет	
ПОРОЛА	столбов							
погоди	Глубина Н, м							
	50	100	300	500	50	100	300	500
ДЖАСПЕРОИДЫ	2,3	3,0	4,5	5,3	36,0	25,7	15,4	12,3
СЛОИСТЫЕ	6,0	5,0	3,5	2,8	29,5	21,0	12,8	10,4
ИЗВЕСТНЯКИ								
МАССИВНЫЕ	2,6	3,3	4,8	5,7	34,0	24,3	14,5	11.7
ИЗВЕСТНЯКИ								
СЛАНЦЫ	3,3	4,1	6,0	6,7	24,2	17,5	10,8	8,9

Таким образом, установлено, что с увеличением глубины разработки на месторождениях Кыргызстана наблюдается рост проявлений горного давления в виде обрушений кровли и разрушения целиков, что оказывает существенное влияние на безопасность и эффективность горных работ, в связи с этим необходим переход на системы разработки с закладкой выработанного пространства.

Рекомендуется, с целью экономии закладочных работ, производить закладку не полностью всего выработанного пространства, а частично в виде столбов или лент, для чего необходимо использовать методику расчета и разработанную нами совместно с кафедрой маркшейдерии ИГДиГТ компьютерную программу, которая позволяет автоматизировать процесс вычислений.

Литература

1. Р.Н. Ялымов. Прогноз напряженного состояния массива пород с глубиной на Хайдарканском месторождении.Сб. Перспективы технологии добычи минеральных ресурсов в высокогорных условиях. Бишкек, «Технология», 1999.

2. Н.Г. Ялымов, Р.Н. Ялымов. Управление горным давлением на подземных рудниках Кыргызстана. Горный журнал № 10, 2003, г. Москва.

3. И.Т. Айтматов, К.Ч. Кожогулов, Н.Г. Ялымов, Р.Н. Ялымов. Проявления горного давления при подземной разработке рудных месторождений в горноскладчатых областях. Проблемы геотехнологии и недроведения. Екатеринбург. 1998.

4. И.К. Чунуев, Г.С. Исаева, Р.Н. Ялымов. Автоматизированная система расчета параметров камер и целиков при отработке пологопадающих рудных залежей. Учебное пособие ИГД и ГТ КТУ. 2005.

240

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Султаналиева Р. М.

КГТУ им.И.Раззакова, Кыргызстан, e-mail: raia-ktu@mail.ru DETERMINATION OF RESIDUAL STRESSES IN ROCKS BY A X-RAY METHOD

Sultanalieva R. M.

Kyrgyz State Technical University named after I.Razzakov, e-mail: raia-ktu@mail.ru

Горные породы представляют собой сложные гетерогенные В природные образования. многокомпонентных таких средах, образовавшихся из расплавленных магм и термальных растворов, при последующем неравномерном охлаждении формируются остаточные напряжения. Такие напряжения могут образоваться также и при деформациях. упругопластических Исследования неоднородных остаточных напряжений в металлах и технических материалах проводятся с давних пор, а в горных породах такие исследования были проведены Влохом Н.П., и Сашуриным А.Д., Липиным Я.М. в 1970 годы [1].

М. Фридман [3] показал, что метод разгрузки и метод дифракции рентгеновских лучей при измерении остаточных напряжений дают близко совпадающие результаты. Он показал, что ориентация остаточных напряжений хорошо согласуется с элементами структуры массива, из которого, для исследования, отбирались соответствующие блоки горных пород.

Напряжения остающиеся в породе после какого – либо физического воздействия, будут называеться остаточными. Различают остаточные генетические напряжения: напряжения, имеющиеся в породе до воздействии, т. е. обусловленные генезисом породы, и остаточные,

напряжения, возникшие породе после физической наведенные В обработки. Согласно разработанной Н.Н. Давиденковым классификации остаточных напряжений существуют напряжения трех родов [2]. Напряжения первого рода – зональные – уравновешиваются в объеме всего образца, второго рода в объеме единичных кристаллов, третьего рода в пределах некоторого количество атомов.

В горных породах остаточные напряжения могут формироваться при их образовании и длительном нагружении. Остаточные напряжения могут быть исследованы разными методами, среди них немаловажный интерес представляет рентгенографический метод. Рентгенографический метод В основном используется при исследованиях остаточных напряжений в поверхностных слоях. Методы рентгеноструктурного анализа давно применяются в областях металлургии с целью установить внутренние напряжения остающиеся во многих изделиях в результате ряда технологических процессах. Применения этого метода горным породам показало, что и в таких природных минеральных агрегатах существуют остаточные микроскопические напряжения. Речь идет о накапливающейся энергии упругой деформации [2]. минеральных агрегатах Метод рентгеноструктурного анализа основан на изучении интерференционной картины рассеяния рентгеновских лучей исследуемым веществом, которая зависит от взаимного расположения атомов вещества в пространстве. Зная законы рассеяния рентгеновских лучей веществом, по интерференционной картине можно получить данные о структуре вещества и изменении в процессе деформации или после нее и т.д.

Известно, что по типу структур все вещества подразделяются на кристаллические и аморфные. В кристаллических веществах какими являются большинство горных пород, в отличие от аморфных, атомы располагаются в определенном порядке, который периодически повторяется в трех направлениях. В отличие от отражение видимого света рентгеновские лучи "отражается" только в том случае, если выполняется уравнение Вульфа – Брегга

$$n\lambda = 2d \sin\theta \tag{1}$$

здесь *n* – порядок дифракции.

При известной длине волны λ , определяемой материалом анода рентгеновской трубки, каждому значению межплоскостного расстояния d будет соответствовать свое значение угла θ , измеряя который можно определить d. Рентгенографическое определение деформаций И напряжений в минералах позволяет изучить природу физических процессов, протекающих в горной породе, подвергающейся воздействию внешних полей (механических, тепловых и т.д.). Рентгенографическое определение микродеформации основано на следующем физическом процессе. Считать в соответствии с законом Гука, относительное изхменение межплоскостного расстояния d_1 равна:

$$\frac{\Delta d_1}{d_1} = \frac{\sigma}{E} \tag{2},$$

где σ —величина приложенного напряжения, МПа, *E* –модуль упрогости. Если на образец перпендикулярно оси приложения нагрузки направить пучок монохроматических рентгеновских лучей, то, анализируя дифракционные пики под большими углами, можно определить изменение межплоскостного расстояния d_2 (или близкого к нему), связанного с d_1 через коэффициент Пуассона:

$$\frac{\Delta d_2}{d_2} = \mu \frac{\Delta d_1}{d_2} = \mu \frac{\sigma}{E} \tag{3}$$

Изменение межплоскостного расстояния на величину Δd вызывает сдвиг брэгговского отражения на величину $\Delta \theta$ в соответствии с уравнением:

$$\Delta \theta = -\frac{\Delta d}{d} \cdot tq \; \theta_0 \tag{4}$$

Подставляя полученное выше выражение $\Delta d/d$, получим:

$$\Delta \theta = \mu \frac{\sigma}{E} \cdot tq \; \theta_0 \tag{5}$$

Определяя смещение линий не рентгенограмме, обусловленное действием растягивающих нагрузок, и рассчитав по этому смещению изменение угла $\Delta \theta$, напряжение σ вычисляют по формуле:

$$\mu \frac{\sigma}{F} \cdot tq \ \theta_0 \cdot \Delta \theta \tag{6}$$

Для оценки величины остаточных напряжений в метаморфических горных породах используют метод наклонной съемки [4].

Наблюдаемое в случае остаточных напряжений изменение положения дифракционного пика, выражаемое через величину $\Delta(2\theta)$, связано с относительной деформацией следующим образом:

$$\frac{\Delta d}{d} = -ctq \ \theta_0 \frac{\Delta(2\theta)}{2} \tag{7}$$

Отсюда

$$\sigma_{\psi} = \frac{E \cdot ctq \,\theta_0 \left(2\theta_0 - 2\theta_{\psi}\right)}{2\left(1 + \mu\right) \cdot sin^2 \psi} \tag{8}$$

где Е и μ - модуль упругости и коэффициент Пуассона породы.

Главные значения тензора остоточных напряжений могут быть рассчитаны в том случае, если измерены компоненты напряжения θ_{ψ} для трех направлений относительно поверхности образца. Максимальная точность получается при использовании одной перпендикулярной съемки ($\psi = 0$) и трех наклонных (под углом $\psi = 45^{\circ}$ и углами $\alpha, \alpha + 60^{\circ}, \alpha - 60^{\circ}$). Главные значения тензора напряжений выражаются следующим образом: $\sigma_1 = \left| 1/3 \left[\sigma_{\alpha} + \sigma_{\alpha+60} + \sigma_{\alpha-60} + \sqrt{(2\sigma_{\alpha} - \sigma_{\alpha+60} - \sigma_{\alpha+60})^2 + 3}(\sigma_{\alpha-60} - \sigma_{\alpha+60})^2 \right] \right|$

$$\sigma_2 = \left| \frac{1}{3} \left[\sigma_{\alpha} + \sigma_{\alpha+60} + \sigma_{\alpha-60} + \sqrt{(2\sigma_{\alpha} - \sigma_{\alpha+60} - \sigma_{\alpha+60})^2 + 3} (\sigma_{\alpha-60} - \sigma_{\alpha+60})^2 \right] \right|$$
(9)

По данной методике нами исследовались структурные состояния и остаточные напряжения в образцах, отобранных из разных месторождений. Для изучения изменений параметров структурного

состояния исследованию подверглись образцы, представляющие исходные (генетические) состояния и образцы после термической обработки.

На основе анализа положения и формы профилей дифракционных пиков с использованием Фуръе – анализа распределения интенсивности получена информация о среднем размере блока мозаики D, о величине относительной деформации кристаллической решетки ε , плотности дислокации на границе блока ρ_D , плотности дислокации внутри блока мозаика ρ_{ε} , средней плотности дислокации ρ_{cp} , напряжения внутри зерна $G_{B,3}$, напряжения на границе зерна $\sigma_{\varepsilon,3}$, вероятности дефектов упаковки α расстояние между дислокациями на границе блока r_D , расстояния между дислокациями внутри блока r_{ε} .

Результаты измерения параметров остаточных напряжений приведены в табл. 1.

Таблица 1

				opiiziii iit	-P-2
Название и	Название	Состояние		-	
место отбора	минерала	и номер	$\varepsilon \cdot 10^{-3}$	$\sigma_{e,3} \cdot 10^3$	σ_{10^3}
породы		образца		МБар	МБар
Гранит	кварц	исходн.,10	-8,8	40	1,64
Кыртабылгы		после т.о.,7	-3,6	10,3	0,61
Мрамор	кальцит	исходн.,12	9,2	11	0,80
Новороссийск		после т.о.,7	-8,2	4,8	0,26
Песчаник	кальцит	исходн.,2	8,9	1,4	6,46
Рогун		после т.о.,4	-1,3	8,6	1,95
	кварц	исходн.,2	-0,68	0,61	5,5
		после т.о.,4	-1,4	2,2	1,9
	кварц	исходн.,2 ¹	-3,97		
		после т.о.,1	-3,42		
		пос, т.о., <mark>4</mark> 1	4,11		
Кварц	кварц	исходн.,2	-2,93		
Вост. Коунрад		исходн.,2	-1,48		
Гранит	кварц	исходн.,2	-1,99		
Вост. Коунрад		исходн.,2	-3,02		

Параметры остаточных напряжений минералов горных пород

На основе результатов исследований остаточных напряжений можно сделать следующие выводы:

1. Термическая обработка в режиме закалки приводит к существенным изменениям структурного состояния горных пород, изменениям остаточных напряжений на всех структурных уровнях.

2. При термической обработке в кварце содержащих горных породах в основном сжимающие остаточные напряжения на уровне кристаллической решетки снижаются, при дальнейшем увеличении температуры преобразуются в растягивающие напряжения.

3. В кальцитах растягивающие остаточные напряжения от теплового воздействия преобразуются в значительные сжимающие остаточные напряжения, за счет чего в мономинеральных породах, содержащих кальциты, происходит упрочнение, тогда как в кварцах термическая обработка за счет увеличения растягивающих остаточных напряжений приводит к разупрочнению полиминеральной кварце содержащей горной породы.

Литература

1. Влох Н.П., Липин Я.М., Сашурин А.Д. Исследование остаточных напряжений в крепких горных породах //Современные проблемы механики горных пород/Матер. 4-й Всес.конф. по механике горных пород.-Л.,1972.-С.186-189.,

2. Зильбершмидт М.Г., Механизм изменения структурного состояния горных пород при внешнем воздействии /// Физические свойство горных пород и процессов: Материалы Всесоюзной конф. М., 1984.

 Freedman M. X-ray analysis of residual elastic strain in quartzose rocks.-Proc 10 th Symp. Rock Meck. Fustintex, New-Iork,1972.

4. Комяк Н.И., Мясников Ю.Г. Рентгеновские методы и аппаратура для определения напряжений. М.: Машиностроение, 1972.

ПОЛЯРИЗАЦИОННО-АКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД И РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ И ДЕЙСТВУЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Тажибаев Д.К.

Институт геомеханики и освоения недр Национальной академии наук, г. Бишкек, Кыргызская Республика, e-mail: <u>Danek-1@yandex.ru</u>

POLARIZING ACOUSTIC METHOD AND THE RESULTS OF DETERMINATION OF RESIDUAL AND OPERATING STRESSES

Tazhibaev D.K.

Institute of geomechanics and development of bowels National Academy of Sciences, Bishkek city, Kyrgyz Republic, e – mail: <u>Danek-1@yandex.ru</u>

B настояшее способов время известно много определения напряжений в горных породах такие как методы разгрузки, метод гидроразрыва, метод разности давлений и т.д. Недостатками данных методов определения остаточных и действующих напряжений являются их ограниченность применения невысокая точность. частичного из-за разрушения конструкций и высокая трудоемкость.

Из геофизических неразрушающих методов в настоящее время широко применяется ультразвуковой метод определения напряжений в массиве горных пород. В основе ультразвукового метода определения напряжений в массиве горных пород лежит взаимосвязь величин

247

напряжений с параметрами упругих волн в породах – скоростью их распространения, амплитудой и частотой [1].

Для определения остаточных и действующих напряжений горных пород поляризационно-акустический нами предлагается метод, который осуществляется с помощью преобразователей ультразвуковых поляризованных сдвиговых волн и акустополярископа, разработанных Ф.Ф. Горбацевичем [2,3,4]. Определение напряжений производится путем возбуждения ультразвуковых поляризованных сдвиговых волн в выделенном объеме. При этом измеряется скорость прохождения поляризованной сдвиговой волны через заданную базу. Сущность метода заключается в том, что определение напряжения в твердых материалах осуществляется ПО изменению относительной величины скорости ультразвуковой сдвиговой поляризованной волны

(отношение скорости не нагруженного состояния к скорости нагруженного состояния) в направлении перпендикулярном к направлению действия напряжения и в зависимости от величины волнового модуля напряжения размерность напряжения– К_i (название модуля имеющего наше). Изменения относительной скорости ультразвуковой величины поляризованной сдвиговой волны от напряжения твердого материала И среднее значение величины волнового модуля напряжения, и остаточное или действующее напряжения определяют по следующей формуле [5,6]:

$$\sigma_{X} = (\frac{V_{SOZ}}{V_{SZ}} - 1)K_{Z}; \ \sigma_{Y} = (\frac{V_{SOX}}{V_{SX}} - 1)K_{X}; \ \sigma_{Z} = (\frac{V_{SOY}}{V_{SY}} - 1)K_{Y}$$
(1),

где σ_X , σ_Y , σ_Z - нормальное напряжение по направлению *X*, *Y*, *Z* соответственно;

K_X, *K_Y*, *K_Z* – волновой модуль напряжения по направлениям *X*, *Y*, *Z* соответственно;

V_{SX}, V_{SY}, V_{SZ} – скорость прохождения через определенную базу нагруженного материала (с остаточными напряжениями) ультразвуковой сдвиговой поляризованной волны по направлениям X, Y, Z соответственно;

 V_{SOX} , V_{SOY} , V_{SOZ} - скорость прохождения ультразвуковой сдвиговой поляризованной волны по направлениям *X*, *Y*, *Z* соотственно при отсутствии напряжения (не нагруженное состояние, без остаточных напряжений).

Знак напряжений (растягивающий - положительный, сжимающий - отрицательный, как это принято в классической механике) определяется в соответствии со знаком величины $(\frac{V_{SO}}{V_S} - 1)$ и K_i .

Введем обозначение

$$\omega_Z = (\frac{V_{SOZ}}{V_{SZ}} - 1); \quad \omega_X = (\frac{V_{SOX}}{V_{SX}} - 1); \quad \omega_Y = (\frac{V_{SOY}}{V_{SY}} - 1), \text{ тогда из}$$

формулы 1 $\sigma_X = \omega_Z K_Z$; $\sigma_Y = \omega_X K_X$; $\sigma_Z = \omega_Y K_Y$, отсюда

$$K_{X} = \frac{\sigma_{Y}}{\omega_{X}}; \quad K_{Y} = \frac{\sigma_{Z}}{\omega_{Y}}; \quad K_{Z} = \frac{\sigma_{X}}{\omega_{Z}} \quad (2)$$

Для изотропных материалов $K_X = K_Y = K_Z = K$. Для анизотропных (слоистых, кристаллических анизотропных) материалов значение волнового модуля напряжения **К** определяется по соответствующим направлениям.

Значение **К** определяется из опытов прозвучивания при нагружениях и разгрузке образцов. Проводится по 5-10 определений значений **К** при нагружении и разгрузке образца представительного объема исследуемого материала. Значение **К** как характеристика материала определяется как

среднее из 10-20 единичных значений, полученных при прозвучивании в процессе нагружения и разгрузке образца материала. Следует отметить, что величину *К* необходимо определять для характерного, то есть представительного объема, так как данный модуль зависит от структуры и вещественного состава материала. В связи с этим для определения величины *К* предлагаем следующие размеры призматического образца: для тонкозернистых горных пород 5х5х10 см.; крупнозернистых-7х7х14 см.

Экспериментальное определение волнового модуля напряжения материала (*K*) проводится в следующей последовательности:

- На боковую грань призмы, с размерами указанной выше, в средней части устанавливается излучатель и приемник сдвиговой волны, совместив их вектора поляризации между собой и с направлением сжимающего напряжения (*σ_Z*);
- 2. Измеряется скорость ультразвуковой поляризованной сдвиговой волны при отсутствии нагрузки (напряжения) *V*_{SOY};
- Ступенчато гидравлическим прессом нагружается призма и на каждой ступени одноосно сжимающей нагрузки (через каждый 1000 или 2000кГс нагрузки) определяется скорость поляризованной сдвиговой волны - V_{SY};
- Для каждой ступени нагрузки определяется напряжение σ_Z, разделив нагрузку (по силоизмерителю пресса) на площадь поперечного сечения призмы;
- По формуле 2 определяются значения волнового модуля напряжения
 К и среднее значение принимается для дальнейших расчетов.

Измерения скорости ультразвуковой поляризованной сдвиговой волны и определение значений *К* можно проводить также и при разгрузке.

При известном значении волнового модуля напряжения, измерив скорости сдвиговой поляризованной ультразвуковой волны можно определять остаточные или действующие напряжения по формуле 1. Следует отметить, что действующее напряжение может включать в себе и остаточные напряжения (при их наличии, например, в породном массиве). В связи с этим остаточные напряжения, при необходимости, определяются отдельно в свободных от внешней нагрузки представительных кусках горной породы, отобранных из места измерения скорости волны в породном массиве. Обычно остаточные напряжения определяются в лабораторных условиях.

Действующее в породном массиве напряжение определяется по следующей методике [6] (рис. 1):

- Создаются в горной выработке 1 (в целике) пройденном в породном массиве две гладкие параллельные к заданной оси, например к оси Z (вертикальное направление) поверхности с расстоянием между ними 7 сантиметра (L-база прозвучивания) путем образования щелей 2 для размещения преобразователей сдвиговых волн: излучателя - И, приемника - П;
- 2. Очищаются, высушиваются поверхности щелей и наносятся тонкий слой контактной среды (полисахариды, искусственный мед) на торцевой поверхности преобразователей. Излучатель – И, а также приемник – П ультразвуковой поляризованной сдвиговой (поперечной) волны располагаются в щели с помощью досылника 6, после преобразователи векторами чего С поляризации направленными по заданной оси (Z) слегка прижимаются к гладкой (постоянной силой) с помощью воздушной поверхности щели подушки 3, подсоединенной к шлангу 4 с вентилем 5 путем накачки воздуха;

251

- 3. Преобразователи подсоединяются к ультразвуковому прибору УП (УК- 10ПМ) с помощью электропровода 7, и после прогрева прибора в течение 20 минут не менее 10 раз снимается отсчет времени прохождения поляризованной сдвиговой волны через заданную базу L (7см) в автоматическом режиме и при точности измерения времени ±0,01мкс. По средней величине времени определяется скорость поляризованной сдвиговой ультразвуковой волны;
- 4. При проведении контроля напряжения (в случае существенного изменения напряжения вследствие быстрого подвигания очистного забоя влияющего на напряженное состояние) прибор И преобразователи оставляются на период времени контроля и измерения периодически проводятся времени прохождения сдвиговых волн по пункту 3;
- 5. В случае определения действующего напряжения после измерения времени прохождения сдвиговых волн по пункту 3 преобразователи снимаются, и вырезается часть породного массива (кусок) с размерами 7x7x15 см в том же месте, где проводился измерение времени прохождения сдвиговой волны, сохранив базу прозвучивания (7см.);
- 6. Из отобранного куска изготовляется призма с размерами 7х7х14 см. Для данной призмы определяется волновой модуль напряжения *К* по указанной выше последовательности, прозвучивая поляризованной сдвиговой волной при разных уровнях нагрузки сжатия по заданной, то есть именно по той базе (7см), по которой проводился прозвучивания в породном массиве.
- 7. На основе скорости поляризованной сдвиговой волны, измеренной в породном массиве и значения волнового модуля напряжения *K*, а также скорости поляризованной сдвиговой волны для не
нагруженного состояния, определяется, например, вертикальная составляющая нормального напряжения породного массива σ_Z по формуле 1. Так же определяются и другие составляющие напряжения и по другим направлениям.



Рис. 1 - Схема измерения действующих напряжений в массиве горных пород.

 горизонтальная горная выработка; 2- щель; 3- воздушная подушка;
шланг; 5- вентиль; 6- досылник; 7- электропровод; И - излучатель поляризованной сдвиговой волны; П – приемник поляризованной сдвиговой волны; УП – ультразвуковой прибор; L – база измерения.

Для определения остаточных напряжений, измерения скорости прохождения ультразвуковой поляризованной сдвиговой волны в кубическом образце с размерами 7x7x7см, свободном от внешней нагрузки, необходимо проводить в следующей последовательности.

1. Пропуская ультразвук по направлениям через каждый 1⁰ или 10⁰ от нуля до 180⁰, поворачивая излучатель и приемник определяется значения скорости прохождения поляризованной сдвиговой волны V_{SI} для

параллельного и перпендикулярного (к рассматриваемому направлению) вектора поляризации для каждого направления по трем ортогональным плоскостям.

- 2. По признаку равенства времени или скорости прохождения параллельных V_{SP} и перпендикулярных V_{SC} сдвиговых поляризованных волн для заданной базы прозвучивания определяется скорость прохождения сдвиговой волны для случая отсутствия остаточных напряжений V_{SOI} (один из признаков отсутствия остаточных напряжений $V_{SP} = V_{SC}$)
- 3. В случае не обнаружения направления или участка без остаточных напряжений фиксируется все значения скорости прохождения ультразвуковой поляризованной сдвиговой волны по всем вышеуказанным направлениям и по трем ортогональным плоскостям, а затем полностью выводятся (устраняются) из образца остаточные напряжения известным методом отжига.
- 4. Определяется скорость ультразвуковой сдвиговой поляризованной волны для образца без остаточных напряжений (после снятия остаточных напряжеий) *V*_{SOI} и среднее значение волнового модуля напряжения *К* по вышеуказанной последовательности.
- 5. На основе значений скоростей волн для разных направлений и плоскостей, а также значения скорости для образца без остаточных напряжений *V*_{SOI} и среднего значения волнового модуля напряжения определяются значения остаточных напряжений по формуле 1.

Таким образом, пропуская ультразвуковые волны по направлениям Z,Y,X, а именно ультразвуковых поляризованных сдвиговых волн можно определить по ортогональным к указанным направлениям нормальные

напряжения $\sigma_{\rm X}$, $\sigma_{\rm Y}$, σ_{Z} и главные нормальные напряжения по соответствующим плоскостям путем поворота излучателя и приемника

поляризованной сдвиговой волны через каждый 1⁰ или 10⁰ от нуля до 180⁰, синхронно поворачивая излучатель и приемник. После определения главных нормальных (максимальных и минимальных) напряжений можно определять и максимальные касательные напряжения.

На рис. 2 в качестве примера представлены результаты определения остаточных напряжений в образце метасамотита месторождения Кумтор.



Рис.2 - Значения остаточных напряжений образца метасамотита (по одной плоскости, рудник Кумтор, проба RS № 5, обр. 3 - 4)

Ниже приводятся также результаты сравения значений фактического лействующего напряжения σ_Z , определяемые прямыми экспериментальными устройства, измерениями нагружающего co значениями действующего напряжения полученными по формуле 1. Для тонкозернистого мрамора (Токтогул) ультразвуковые действующего значения напряжения, полученные формуле 1, хорошо по согласуются co значениями напряжений полученных прямым измерением по измерителю силы пресса (рис.3).

Следует отметить, что величины напряжений, определяемых на основе данного способа, представляют собой средние (результирующие) значения напряжения для заданных баз прозвучивания.





Данным способом, основанным на установленной закономерности изменения скорости прохождения поляризованной сдвиговой волны от напряжения (формула 1) можно определять остаточные и действующие напряжения в целиках и стенках горных выработок в квазиоднородных горных породах, а также определять остаточные и действующие напряжения и в твердых конструкциях, состоящих из технических материалов.

Применение данного способа обеспечит расширение области применения, уменьшение трудоемкости определения и получения точных значений остаточных и действующих напряжений для разных направлений и объемов разных твердых материалов. Повышение точности и уменьшение трулоемкости определения остаточных и действующих напряжений достигается за счет исключения местных изменений остаточных напряжений, вносимых при резке, бурении, облучении (рентген и др.) или других операциях, выполняемых в известных способах (методы разгрузки и др.), то есть за счет неразрушающего воздействия на представительный объем твердого материала и за счет прямого определения волнового молуля напряжения, вместо комплекса характеристик упругости первого и второго рода.

Литература

- 1. Ржевский В.В., Ямщиков В.С. Акустические методы исследования и контроля горных пород в массиве. М.: Наука, 1973.- 224 с.
- Горбацевич Ф. Ф. Акустополяризационные измерения характеристик анизотропии горных пород. –Апатиты: Кольский Научный Центр РАН, 1985. – 30с.
- Горбацевич Ф.Ф. Акустополярископия горных пород. Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 1995. - 204 с.
- Горбацевич Ф.Ф. Акустополярископия породообразующих минералов и кристаллических пород. - Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2002. - 140 с.
- 5.Тажибаев К.Т.,Тажибаев Д.К., Акматалиева М.С. Закономерность изменения относительной величины скорости прохождения ультразвуковой поляризованной сдвиговой волны от механического напряжения в твердых материалах (закон Кушбакали) /Диплом № 453 на научное открытие от 3 октября 2013 года, г. Москва. Международная академия авторов научных открытий и изобретений, Российская академия естественных наук. //Научные открытия -2013. Сборник кратких описаний. –М.РАЕН, 2014г. –С 48-50.
- 6. Тажибаев К.Т., Тажибаев Д.К., Акматалиева М.С. Способ определения остаточных и действущих напряжений в твердых материалах / Патент на изобретение № 1826 КР от 29 января 2016 года.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	4
ИНФОРМАТИВНЫЕ ПРИЗНАКИ ПОДГОТОВКИ ГОРНЫХ УДАРОВ ПО ДАННЫМ СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В ГЛУБОКИХ ШАХТАХ Хачай О.А., Хачай О.Ю.	5
	U
МОДЕЛИРОВАНИЕРАСПРОСТРАНЕНИЯ2DСЕЙСМИЧЕСКОГОПОЛЯ В СЛОИСТОБЛОКОВОЙСРЕДЕ САНОМАЛЬНОНАПРЯЖЕННЫМИЕРАРХИЧЕСКИМВКЛЮЧЕНИЕМХачай О.А., Хачай А.ЮКонстрания	11
SEISMIC RISK ASSESSMENT AND MITIGATION IN CENTRAL ASIA	
Stefano Parolai, Kevin Fleming	16
АКУСТОПОЛЯРИСКОПИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАЛЕОНАПРЯЖЕНИЙ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ	
Горбацевич Ф.Ф	17
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗА И	
ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ГОРНЫХ УДАРОВ И Землетрясений	
	26
	20
НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ГОРНО-	
ТЕКТОНИЧЕСКИХ УДАРОВ И ТЕХНОГЕННЫХ	
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА РУДНИКАХ РОССИИ	
Ловчиков А.В	39
математинеская теория остатонни ву напряменний	
Коваленко М.Л., Меньшова И.В.,.	50
	20

ИЗУЧЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ И ФОРМИРОВАНИЕ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ РАЗЛИЧНОГО МАСШТАБА	c 1
Сашурин А.Д., Панжин А.А	64
ТЯНЬ-ШАНЬСКИЕ СТРУКТУРЫ И ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОРОДНОГО МАССИВА ВЫСОКОГОРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ <i>Мамбетов Ш.А., Абдиев А. Р., Мамбетов А.Ш.</i>	74
ДИФФЕРЕНЦИРОВАННАЯ ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ В ИЕРАРХИИ АКТИВНЫХ СТРУКТУР ТЯНЬ- ШАНЯ	
Омуралиев М.	88
ДИНАМИКА СЕЙСМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА СОЧЛЕНЕНИИ ОБЛАСТИ ГОРООБРАЗОВАНИЯ ТЯНЬ-ШАНЬ И КАЗАХСКОГО ШИТА	
Омуралиева А.	98
ИЗМЕНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ СРЕДЫ ЗЕМНОЙ КОРЫ В РЕАЛЬНОЕ ВРЕМЯ ВБЛИЗИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ (КУМТОР, ОРЛОВКА)	
Омуралиев М., Омурбек кызы К., Мамбетова Г.А.	104
ДИНАМИКАИЗМЕНЕНИЯСКОРОСТНЫХНЕОДНОРОДНОСТЕЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИСЕВЕРНОГОТЯНЬ-ШАНЯПОХОДУЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ	
Омуралиева А	113
v 2	
КОРОВЫЕ ЗОНЫ НИЗКИХ СКОРОСТЕЙ – ОБЛАСТИ СОВРЕМЕННОЙ РЕЛАКСАЦИИ СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	

Корчин В.А. 121

СЛОЖНОНАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПЛАГИОГРАНИТОВ КРИВОРОЖСКОЙ СВЕРХГЛУБОКОЙ СКВАЖИНЫ В ЗОНАХ ТЕРМОБАРИЧЕСКОГО РАЗУПЛОТНЕНИЯ <i>Корчин В.А., Карнаухова Е.Е.</i>	131
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В КРАЕВЫХ ЧАСТЯХ СТРУКТУРНО-НЕОДНОРОДНОГО СКАЛЬНОГО МАССИВА Асанов В А. Токсаров В Н. Бельтюков Н.Л. Ударцев А.А.	141
УПРУГОЕ И НЕУПРУГОЕ ПОВЕДЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ТРЕХОСНОМ СЖАТИИ <i>Рычков Б.А., Комарцов Н.М., Кулагина М.А</i>	149
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ ЭФФЕКТОВ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ САМОНАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ <i>Мороз А.И.</i>	157
КАНСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 19 ИЮЛЯ 2011г., КЫРГЫЗСТАН Камчыбеков М.П., Егембердиева К.А., Чаримов Т.А., Камчыбеков Ы.П.	168
СРАВНЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА РЕГИОНА АЛАЙ-КАШГАР (ЮЖНЫЙ ТЯНЬ-ШАНЬ) С СОЛНЕЧНОЙ ЦИКЛИЧНОСТЬЮ <i>Мамыров Э., Маханькова В.А, Кыдырова Л.Ш.</i>	175
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ОТКЛИКА ЛИТОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ В ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ В ПЕРИОДЫ АКТИВИЗАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ <i>Салихов Н.М., Пак Г.Д., Крякунова О.Н., Николаевский Н.Н.,</i> Цепакина И.Л.	181
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОДРАБАТЫВАЕМОГО МАССИВА ² Барышников В.Д., Барышников Д.В., Гахова Л.Н.	190

² Работа выполнена при финансовой поддержке АК «АЛРОСА»

СТАДИЙНОСТЬ ПРОЦЕССА ДЕФОРМИРОВАНИЯ ГОРНОЙ ПОРОДЫ И ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ Усольцева О.М., Востриков В.И., Цой П.А., Семенов В.Н.	196
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЙ ВОДОНАСЫЩЕННОСТИ АНИЗОТРОПНОЙ ГРУНТОВОЙ ТОЛЩИ ОСНОВАНИЯ НА ДЕФОРМАЦИЮ ФУНДАМЕНТА СО ЗДАНИЕМ Баймахан Рысбек Баймаханулы, Рысбаева Гулшат Полатовна, Сейнасинова Асима Асылбеккызы, Рысбаева Айман Калиевна, Баймахан Айгерим Рысбеккызы, Авдарсолкызы Сайлаугул, Молдакунова Назгул Курманбеккызы, Маханова Айгуль Сейсенбаевна, Байбатырова Айсулу Нурланкызы	204
ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ГОРНЫХ СКЛОНОВ И БОРТОВ КАРЬЕРОВ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ	
Нифадьев В.И., Усманов С.Ф.	210
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИБОРТОВЫХ МАССИВОВ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ Абдылдаев К.К., Кожогулов К.Ч., Куваков С.Ж.	215
ИГН ПРОГНОЗ СЕЙСМОКАТАСТРОФ ГИДРИДНОЙ ЗЕМЛИ	
Усупаев Ш.Э.	222
ОСНОВЫ СИСТЕМЫ ОН-ЛАЙН ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ Г. БИШКЕК И ЕГО АГЛОМЕРАЦИЙ ОТ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ	
Усупаев Ш.Э., Молдобеков Б.Д., Орунбаев С.Ж., Шакиров А.Э	224
АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ МЕХАНИЗМ ГЕНЕРАЦИИ МАГНИТНОГО И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЕЙ ЗЕМЛИ И ДРУГИХ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ	

Омуркулов Т.А.	, Тажибаев	К.Т.	226
----------------	------------	------	-----

РАЗРУШЕНИЕ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ СИСТЕМ	
РАЗРАБОТКИ С РОСТОМ ГЛУБИНЫ ГОРНЫХ РАБОТ	
Ялымов Р.Н.	234
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ГОРНЫХ	
ПОРОДАХ РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКИМ МЕТОДОМ	
Султаналиева Р. М.	241
ПОЛЯРИЗАЦИОННО-АКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД И	
РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ	
И ДЕЙСТВУЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ	
Тажибаев Д.К.	247