Код МРНТИ 52.31.47

Ж. С. Саркулова[1], *Н. В. Матвиенко[2], К. Т. Зикирова[2], А. Г. Гусманова[3]
[1]Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова (г. Актобе, Казахстан),
[2]ТОО «Expert Pro» (г. Усть-Каменогорск, Казахстан),
[3]Каспийский университет технологий и инжиниринга им. Ш. Есенова (г. Актау, Казахстан)

ОЦЕНКА ПРИРОДНОГО ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД СУЗДАЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЕТОДОМ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ГИДРОРАЗРЫВА

Аннотация. В статье представлены результаты исследования природного поля напряжений массива горных пород Суздальского месторождения с использованием метода измерительного гидроразрыва. Выполнен анализ геолого-структурных особенностей месторождения и обоснован выбор мест размещения замерных станций с учетом горнотехнических условий и перспектив развития очистных работ. Рассмотрены методика проведения натурных испытаний, конструкция измерительного комплекса и порядок определения главных горизонтальных напряжений по результатам гидравлических тестов. Получены количественные характеристики напряженно-деформированного состояния массива на различных горизонтах, позволившие выявить особенности распределения природных напряжений и влияние тектонических нарушений. Результаты исследования могут быть использованы при проектировании систем разработки, выборе параметров крепления горных выработок и повышении безопасности ведения подземных горных работ.
Ключевые слова: *измерительный гидроразрыв, природное поле напряжений, напряженно-деформированное состояние, горный массив, главные напряжения, геомеханика.*

Суздаль кен орнының тау жыныстары массивінің табиғи кернеу өрісін өлшеу гидрожарылыс әдісімен бағалау

Аңдатпа. Мақалада Суздаль кен орнының тау жыныстары массивінің табиғи кернеу өрісін өлшеу гидрожарылыс әдісі арқылы зерттеу нәтижелері ұсынылған. Кен орнының геологиялық-құрылымдық ерекшеліктеріне талдау жүргізіліп, тау-кен техникалық жағдайлар мен тазарту жұмыстарының даму перспективаларын ескере отырып, өлшеу станцияларын орналастыру орындары негізделді. Далалық сынақтарды жүргізу әдістемесі, өлшеу кешенінің құрылымы және гидравликалық сынақтардың нәтижелері бойынша басты горизонталь кернеулерді анықтау тәртібі қарастырылды. Әртүрлі горизонттардағы тау жыныстары массивінің кернеулі-деформацияланған күйінің сандық сипаттамалары алынып, табиғи кернеулердің таралу ерекшеліктері мен тектоникалық бұзылыстардың әсері анықталды. Зерттеу нәтижелері кен орындарын игеру жүйелерін жобалау, тау-кен қазбаларын бекіту параметрлерін таңдау және жерасты тау-кен жұмыстарын жүргізу қауіпсіздігін арттыру кезінде пайдаланылуы мүмкін.
Түйінді сөздер: *өлшеу гидрожарылыс әдісі, табиғи кернеу өрісі, кернеулі-деформацияланған күй, тау жыныстары массиві, басты кернеулер, геомеханика.*

Assessment of the in-situ stress field of the Suzdal deposit rock mass using the hydraulic fracturing method

Abstract. The article presents the results of investigating the in-situ stress field of the Suzdal deposit rock mass using the hydraulic fracturing method. An analysis of the geological and structural features of the deposit was carried out, and the locations of monitoring stations were substantiated considering mining conditions and the prospects for further mine development. The methodology of field testing, the design of the measuring system, and the procedure for determining the principal horizontal stresses from hydraulic fracturing tests are described. Quantitative characteristics of the stress-strain state of the rock mass at different mining levels were obtained, making it possible to identify the distribution patterns of in-situ stresses and the influence of tectonic structures. The obtained results can be applied to the design of mining systems, the selection of underground support parameters, and the improvement of safety during underground mining operations.
Key words: *hydraulic fracturing, in-situ stress field, stress-strain state, rock mass, principal stresses, geomechanics.*

Введение

Диагностика исходного поля напряжений породных массивов, как важнейшее условие правильных проектных решений, необходима при выборе и обосновании рациональной технологии добычи полезных ископаемых, обеспечивающей безопасность горных работ на шахтах и рудниках, при строительстве и эксплуатации гидротехнических сооружений, других объектов технического назначения, находящихся во взаимодействии с прилегающим (вмещающим) массивом [1].

Рудная зона 1–3 прослежена геологоразведочными выработками и скважинами по простиранию на 1400 м, имеет крутое (70–65°) юго-восточное падение (рис. 1 и 2) [2].

Морфология зоны сложная, обусловлена резкими раздувами (50–90 м) и пережимами. Минерализованные брекчии имеют различную природу. Выделяются конседиментационные, тектонические и меланжевые брекчии. Брекчии тектонического происхождения характеризуются остроугольной формой обломков близким литологическим составом и цементируются кварц-карбонатной жильной массой. В интенсивно дислоцированных разностях таких брекчий отмечается парагенезис золото-пирротин-рутил. На востоке месторождения, где в рудовмещающем разрезе широко представлены известняки, встречаются полимиктовые существенно известковистые брекчии. Они состоят из слабоокатанных разного размера обломков органогенных известняков, углеродистых кремнистых сланцев и руд. Цементирующий материал в них представлен кварцем, железистым карбонатом, хлоритом и серицитом. Местами они имеют белесую светло-зеленую окраску за счет приповерхностных процессов каолинизации. Рудные обломки сложены тонкокристаллическим или фрамбоидальным пиритом, игольчатым арсенопиритом и содержат вкрапления видимого золота. Вокруг них в цементирующем кварц-карбонат-слюдистом агрегате встречаются более крупнокристаллические сульфиды и золото [3].

Рассматриваемая зона 1–3 представлена основными пятью рудными телами. Наиболее крупными из них являются рудные тела 1–1 и 1–4.

Рудное тело 1–1 прослежено буровыми скважинами по простиранию на 660 м, по падению на 122 м, мощность от 1 до 30 м, средний угол падения 57°. Рудная минерализация представлена в основном пиритом.

Рудное тело 1–4 локализуется в лежачем боку рудного тела 1–1, прослежено по простиранию на 500 м, по падению на 170 м, средняя мощность 2,8 м, средний угол падения 60°. Минерализация представлена пиритом, арсенопиритом, пирротином, содержащими тонкодисперсную вкрапленность золота.

Рудное тело 1–5 расположено в лежачем боку рудного тела 1–4, прослежено по простиранию на 200 м, по падению – на 130 м, мощность 1,7 м, средний угол падения 67°.

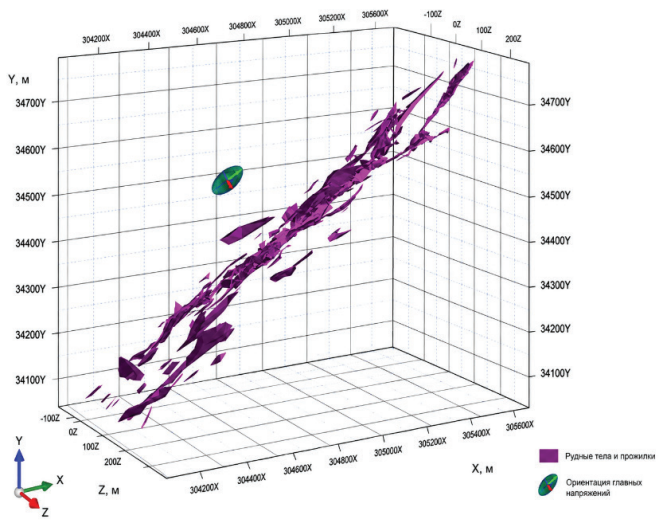

Рис. 1. Аксонометрическая проекция рудной зоны 1–3.
Сурет 1. 1–3 кен аймағының аксонометриялық проекциясы.
Figure 1. Axonometric projection of ore zone 1–3.

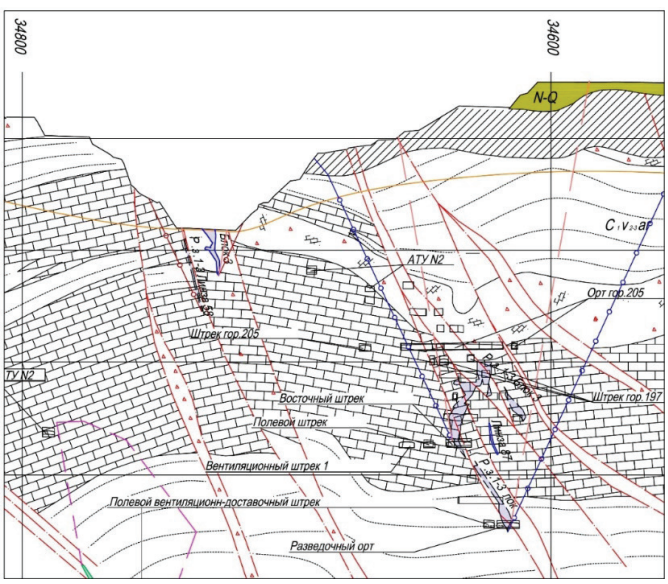

Рис. 2. Геологический разрез по линии 18 р.з. 1–3, 2.
Сурет 2. 1–3 және 2 кен аймақтарының 18 сызығы бойынша геологиялық қимасы.
Figure 2. Geological cross-section along line 18 of ore zones 1–3 and 2.

Рудная зона 1–3 непосредственно привязана к Суздальскому разлому. Рудные тела занимают секущее положение по отношению к вмещающим породам, которые представлены в основном:

- *известняками, от массивных до тонкослоистых или их брекчиями, которые сцементированы карбонатом;*
- *раздробленными известковисто-углистыми алевролитами на восточном фланге рудной зоны.*

Вследствие того, что рудные тела приурочены к зоне разлома, руды по литологическому признаку представлены этими же породами, только с повышенным содержанием сульфидных минералов. Поэтому в зависимости от литологической разновидности породы и руды рудной зоны 1–3 можно отнести большей частью к устойчивым и средней устойчивости, в местах интенсивного дробления, которые приурочены к тектоническим швам – к неустойчивым. Примерное соотношение устойчивых, среднеустойчивых и неустойчивых пород и руд выглядит как 40 × 40 × 20%. Объемный вес вмещающих пород от 2,64 до 2,73 т/м^3 (средний 2,7 т/м^3) [4–6].

Методология

Участок скважины изолируют двухпакерным зондом и нагружают путем нагнетания жидкости в межпакерное пространство до достижения критических растягивающих напряжений, вызывающих разрыв породы. Метод измерительного гидроразрыва основан на зависимости критических давлений от прочности пород и действующих в массиве напряжений. По диаграммам «давление – время» определяют давление разрыва, раскрытия и закрытия трещины, которые используются для оценки напряженного состояния массива. Поскольку давление и напряжение имеют одинаковую размерность, определение деформационных характеристик пород не требуется. Для контроля напряжений выбирают участки, максимально удаленные от зоны очистных работ, где оборудуют замерные станции с тремя скважинами диаметром 76 мм и глубиной до 12 м.

На замерной станции бурят контрольные скважины и проводят их обследование. В выбранном интервале устанавливают измерительный зонд и выполняют испытания методом гидроразрыва с регистрацией давления разрыва и стабилизации, которое фиксируют в течение 5 минут. Испытания повторяют 2–3 раза, после чего зонд последовательно перемещают по длине скважины с шагом 1,0–1,5 м для проведения дополнительных измерений. По результатам гидравлических тестов определяют меньшую и рассчитывают большую горизонтальные компоненты напряжений, после чего зонд извлекают [7].

Замерная станция включает четыре скважины глубиной до 12 м: одну горизонтальную в грудь забоя, две по бортам и одну вертикальную. Места их расположения выбирают с учетом горнотехнических условий, удаленности от очистных работ, отсутствия влияния подработки или надработки и возможности выполнения алмазного бурения диаметром 76 мм.

Для проведения измерений используют переносной измерительно-вычислительный комплекс «Гидроразрыв» (рис. 3), включающий двухпакерный зонд, насос, манометр, напорные трубопроводы, систему регистрации давления с прессметром и датчиком, а также персональный компьютер. Комплекс обеспечивает регистрацию, передачу и автоматическую обработку данных в подземных условиях [8].

В натурных экспериментах применяются измерительные зонды двух конструкций (рис. 4 и 5). В зонде с четырьмя пакерующими элементами предусмотрено два гидроцилиндра, с помощью которых производится их осевое сжатие. Имелась возможность изменять протяженность межпакерного пространства путем замены центральной части несущего стержня. При выполнении тестов гидро-

Рис. 3. Фотографии оборудования для замера природного поля напряжений на замерной станции рудника Суздальский.
Сурет 3. Суздаль кенішінің өлшеу станциясында табиғи кернеу өрісін өлшеуге арналған жабдықтың фотосуреттері.
Figure 3. Photographs of the equipment used for in situ natural stress field measurements at the measurement station of the Suzdal Mine.

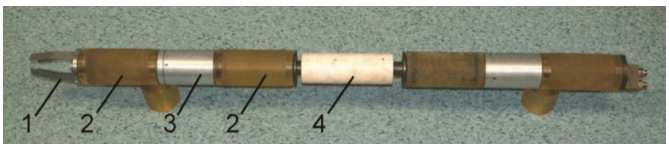

Рис. 4. Общий вид измерительного зонда с четырьмя пакерами: *1 – направляющие пластины; 2 – полиуретановые пакеры; 3 – гидроцилиндры; 4 – втулка для заполнения межпакерного пространства.*
Сурет 4. Төрт пакерлі өлшеу зондтарының жалпы көрінісі: *1 – бағыттаушы пластиналар; 2 – полиуретанды пакерлер; 3 – гидроцилиндрлер; 4 – пакераралық кеңістікті толтыруға арналған төлке.*
Figure 4. General view of the measuring probe with four packers: *1 – guide plates; 2 – polyurethane packers; 3 – hydraulic cylinders; 4 – sleeve for filling the inter-packer space.*

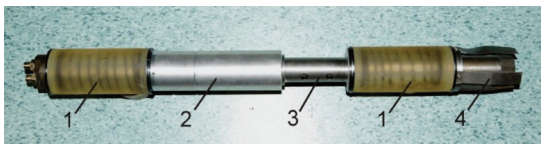

Рис. 5. Общий вид двухпакерного измерительного зонда: *1 – полиуретановые пакеры с пружинами; 2 – гидроцилиндр; 3 – втулка распорная; 4 – направляющие пластины.*
Сурет 5. Екі пакерлі өлшеу зондтарының жалпы көрінісі: *1 – серіппелері бар полиуретанды пакерлер; 2 – гидроцилиндр; 3 – аралық төлке; 4 – бағыттаушы пластиналар.*
Figure 5. General view of the two-packer measuring probe: *1 – polyurethane packers with springs; 2 – hydraulic cylinder; 3 – spacer sleeve; 4 – guide plates.*

разрыва размер межпакерного пространства составлял 5–6 диаметров. Для беспрепятственной досылки устройства в измерительную скважину диаметром 76 мм зонд был оснащен направляющими пластинами [9].

В двухпакерном зонде осевое сжатие пакерующих элементов производится с помощью гидроцилиндра, расположенного в центральной части. В конструкции было предусмотрено использование пакерующих элементов, армированных пружинами.

Методика выполнения тестов измерительного гидроразрыва. Для контроля напряженного состояния массива выбирают участки, удаленные от зоны очистных работ, где бурят скважины диаметром 76 мм и глубиной до 12 м. После обследования стенок скважины устанавливают измерительный зонд и проводят испытания методом гидроразрыва с регистрацией давления разрыва и стабилизации. Испытания повторяют 2–3 раза, последовательно перемещая зонд по длине скважины с шагом 1,0–1,5 м. По результатам испытаний определяют меньшую и рассчитывают большую горизонтальные компоненты напряжений.

Исследования выполняют на пяти замерных станциях, расположенных в рудных зонах 1–3 и Л-7 (восточный участок). Каждая станция включает четыре скважины диаметром 76 мм и глубиной 12 м: одну в грудь забоя, две по бортам и одну вертикальную. Места размещения станций определяют с учетом горнотехнических условий, удаленности от очистных работ и возможности выполнения алмазного бурения [10].

Результаты и обсуждения

За всю историю отработки Суздальского месторождения не проводилось изучения природного поля действующих напряжений [Анализ имеющихся геомеханических и гидрогеологических данных и программа по доизучению месторождения Суздаль / Отчет SRK Consulting (Russia) Ltd., 2020]. В нынешней ситуации, при увеличении глубины отработки и

увеличении фронта работ по площади, необходимо понимание действия природного поля напряжений как величин, так и направления действия главных сжимающих напряжения.

В связи с чем SRK Consulting (Russia) Ltd. совместно с геомеханической службой рудника была предложена концепция размещения замерных станций для выполнения замеров компонентов тензора напряжений методом гидроразрыва на Суздальском месторождении.

Следует отметить, что Суздальский тектонический блок в структурном отношении представляет собой антиклиналь, пересеченную Горностаевским надвигом, что может свидетельствовать о наличии высоких горизонтальных напряжений, отличающихся по величинам, замеренными в лежачем и висячем крыльях разлома.

В лежачем крыле Горностаевского разлома расположены станции № 3 и № 5, в висячем крыле Горностаевского разлома распложены станции № 2 и № 4.

На рис. 6–9 представлен общий вид мест заложения рекомендуемых станций для изучения тензора напряжений.

Выбор мест заложения замерных станций определен консалтинговой компанией SRK с учетом текущего состояния добычных работ. При этом учитывается удаление зоны экспериментов от фронта очистных работ, отсутствие подработки либо надработки контролируемого участка массива, возможность размещения бурового оборудования. Было выбрано 5 точек замера на горизонтах -40 м, -85 м, -180 м, -280 м и -340 м.

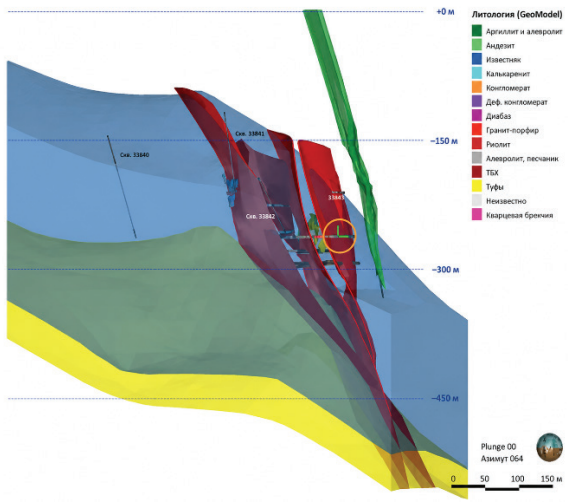

Рис. 6. Заложение замерной станции № 4.
Сурет 6. № 4 өлшеу станциясының орналасуы.
Figure 6. Layout of measurement station No. 4.

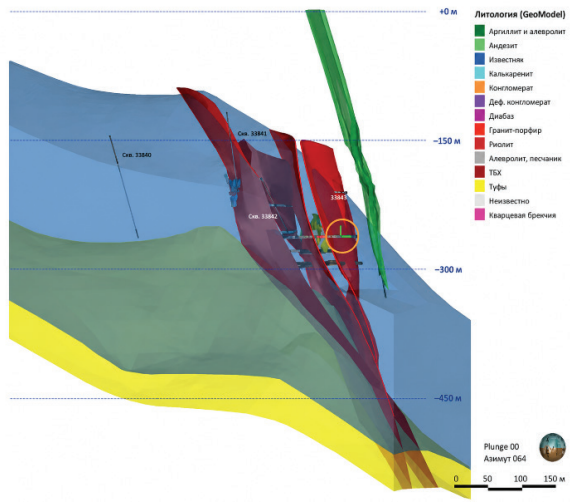

Рис. 7. Заложение замерной станции № 5.
Сурет 7. № 5 өлшеу станциясының орналасуы.
Figure 7. Layout of measurement station No. 5.

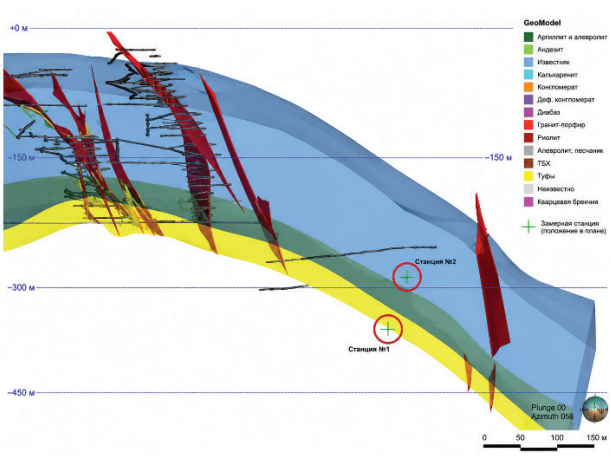

Рис. 8. Заложение замерных станций № 2 и № 3.
Сурет 8. № 2 және № 3 өлшеу станцияларының орналасуы.
Figure 8. Layout of measurement stations No. 2 and No. 3.

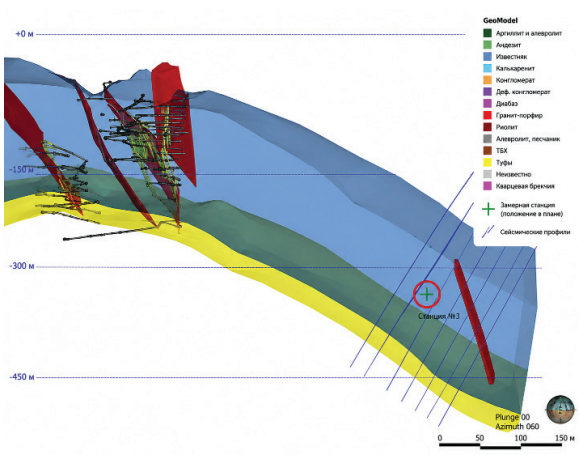

Рис. 9. Заложение замерной станции № 1.
Сурет 9. № 1 өлшеу станциясының орналасуы.
Figure 9. Layout of measurement station No. 1.

Примечание:

желтым цветом выделены туфы в основании которых лежит сместитель Горностаевского разлома; красным цветом обозначены закартированные рудообразующие разломы; голубым известняки

Из-за большой трещиноватости массива расчет главных напряжений произведен по методу «Повторного раскрытия природных трещин». В местах, где указана прочность породы на разрыв произведен расчет по классической схеме. Из прочности на разрыв видно, что во всех этих замерах гидроразрыв проведен по залечинным жилам, а не по самой породе, так как прочность пород на разрыв должна быть на порядок больше чем полученная.

Экспериментальные данные и их анализ

Количественная и качественная оценка НДС массива на руднике Суздальский. Эксперименты выполнены на чуть выше отметки горизонта -40. Замеры проведены в скважинах 1–1 (правый борт выработки) и 1–2 (забой выработки). На рис. 10 представлена замерная станция № 1 (р.з. 1–3 (Л-7), буровая камера 15, профиль 20+50) разведочного штрека горизонта -40 м.

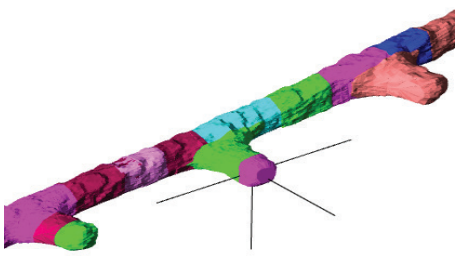

Рис. 10. Замерная станция № 1 (р.з. 1–3 (Л-7), буровой камеры 15 (профиль 20+50) разведочного штрека гор. -40 м, 33850.
Сурет 10. № 1 өлшеу станциясы (1–3 кен аймағы (Л-7), 15-бұрғылау камерасы (20+50 профиль), -40 м барлау штрегі, 33850.
Figure 10. Measurement station No. 1 (ore zone 1–3 (L-7), drill chamber 15 (profile 20+50), exploration drift, -40 m level, 33850.

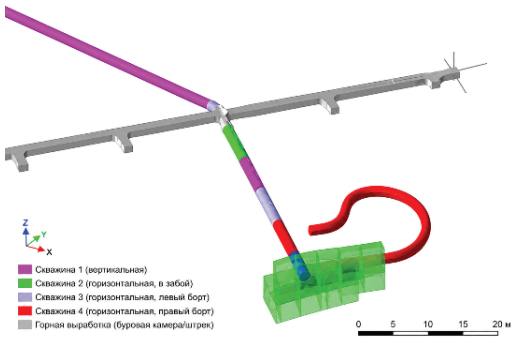

Рис. 11. Замерная станция № 3 (р.з. 1–3 (Л-7), разведочный штрек 1, гор. -180 м (в груди забоя).
Сурет 11. № 3 өлшеу станциясы (1–3 кен аймағы (Л-7), 1-барлау штрегі, -180 м горизонт (забойдың кеуде бөлігінде).
Figure 11. Measurement station No. 3 (ore zone 1–3 (L-7), exploration drift No. 1, -180 m level, at the face.

Литостатическое давление $(\sigma_h = \gamma h)$ для замерной станции на горизонте -40 м составляет около 8,5 МПа. На замерной станции № 1 выполнено 15 тестов гидроразрыва. В результате обработки $P - t$ диаграмм установлены следующие значения напряжений, действующих в массиве:

$\sigma_{min} = 10{,}86 \div 11{,}58$ МПа; $\sigma_{max} = 19{,}41 \div 21{,}96$ МПа,

$\sigma_{верт} = 8{,}79$ МПа.

Высокое значение горизонтальной составляющей может быть обусловлено близостью к зоне сопряжения или распределением вертикальной составляющей от бортов отработанного карьера (которое снижается с глубиной). Результаты испытаний методом гидроразрыва на замерной станции № 2 приведены в таблице 1. Значения компонент природных напряжений, определенные по результатам экспериментов на горизонте -85 м, приведены в таблице 2.

Таблица 1

Журнал наблюдений при выполнении тестов гидроразрыва на замерной станции № 2 рудника Суздальский (без учета влияния выработки)

Кесте 1

Суздаль кенішінің № 2 өлшеу станциясында гидрожару сынақтарын жүргізу кезіндегі бақылау журналы (қазба әсерін ескермегенде)

Table 1

Observation log of hydraulic fracturing tests conducted at measurement station No. 2 of the Suzdal mine (without considering excavation influence)

Координаты эксперимента		1-ое нагружение		2-е нагружение		3-е нагружение		Прочность породы на разрыв T_c, МПа
Индекс измерительной скважины	Расстояние от контура выработки до места гидроразрыва, м	Давление гидроразрыва P_r, МПа	Давление запирания P'_s, МПа	Давление раскрытия трещины P'_r, МПа	Давление запирания P''_s, МПа	Давление раскрытия трещины P''_r, МПа	Давление запирания P'''_s, МПа	
2-1	10	14,9	10,7	11,8	10,94	11,7	10,7	Трещина
2-1	9	12,4	10,88	12,1	11,2	11,3	10,04	Трещина
2-1	8	13,6	10,52	11,2	11,11	11,2	10,36	Трещина
2-2	10	15,2	11,02	13,8	11,72	13,4	11,05	Трещина
2-2	9	14,3	11,13	13,3	9,8	13,3	9,36	Трещина
2-2	8	14,0	9,68	11,9	9,9	12,0	9,34	Трещина

Таблица 2

Значения компонент напряжений, установленные в экспериментах на горизонте -85 м

Кесте 2

-85 м горизонтта жүргізілген тәжірибелер нәтижесінде анықталған кернеу компоненттерінің мәндері

Table 2

Stress component values determined from experiments conducted at the -85 m level

Индекс измерительной скважины	Расстояние от контура выработки, м	$\sigma_{верт}$, МПа	σ_{min}, МПа	σ_{max}, МПа
2-1	10		10,78	
2-1	9		10,7	
2-1	8		10,66	
2-2	10			11,26
2-2	9	9,58		
2-2	8	9,64		

Примечание:
в таблице приведены осредненные значения полученных напряжений

Эксперименты выполнены на отметке -180 м. Замеры проведены в скважинах 3–1 (левый борт выработки) и 3–2 (забой выработки).

Выводы

В результате выполненных исследований проведена оценка природного поля напряжений массива горных пород Суздальского месторождения методом измерительного гидроразрыва. Обоснованы места размещения замерных станций с учетом геологического строения месторождения, горнотехнических условий и удаленности от фронта очистных работ, что обеспечило получение достоверных экспериментальных данных.

Установлено, что напряженно-деформированное состояние массива характеризуется преобладанием горизонтальных напряжений, величина и направление которых определяются глубиной ведения горных работ и особенностями тектонического строения месторождения, включая влияние Горностаевского разлома. Полученные результаты позволяют объективно оценить напряженное состояние массива на различных горизонтах разработки.

Полученные данные могут быть использованы при уточнении геомеханических моделей месторождения, проектировании параметров крепления горных выработок, выборе рациональных технологических схем разработки и прогнозировании проявлений горного давления, что будет способствовать повышению безопасности и эффективности подземной разработки Суздальского месторождения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Haimson B. C., Cornet F. H. Рекомендуемые методы ISRM по определению напряжений в горных породах. Часть 3. Гидроразрыв и (или) гидравлические испытания ранее существовавших трещин // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2003. – Т. 40. – № 7–8. – С. 1011–1020 (на английском языке)*
2. *Amadei B., Stephansson O. Напряженное состояние массива горных пород и методы его измерения. – Лондон: Chapman & Hall, 1997. – 490 с. (на английском языке)*
3. *Zang A., Stephansson O. Поле напряжений земной коры. – Дордрехт: Springer, 2010. – 322 с. (на английском языке)*
4. *Золото коры выветривания Суздальского месторождения (Казахстан) / Ю. А. Калинин [и др.] // Геология и геофизика. – 2009. – Т. 50. – № 3. – С. 241–257 (на русском языке)*
5. *Суздальское золото-сульфидное месторождение в черносланцевых толщах Восточного Казахстана / Ю. А. Калинин [и др.] // Геология рудных месторождений. – 2012. – Т. 54. – № 4. – С. 305–328 (на русском языке)*
6. *ТОО «Региональное обучение». Вскрытие и отработка запасов глубоких горизонтов Суздальского месторождения рудных зон 1–3, 2 и 4 до горизонта -500 м. Часть технологическая (подземный рудник): проект. – Усть-Каменогорск, 2012 (на русском языке)*
7. *Haimson B. C., Cornet F. H. Рекомендуемые методы ISRM по определению напряжений в горных породах. Часть 3. Гидроразрыв и (или) гидравлические испытания ранее существовавших трещин // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2003. – Т. 40. – № 7–8. – С. 1011–1020 (на английском языке)*
8. *Amadei B., Stephansson O. Напряженное состояние массива горных пород и методы его измерения. – Лондон: Chapman & Hall, 1997. – 490 с. (на английском языке)*
9. *Zang A., Stephansson O. Поле напряжений земной коры. – Дордрехт: Springer, 2010. – 322 с. (на английском языке)*
10. *SRK Consulting (Russia) Ltd. Анализ имеющихся геомеханических и гидрогеологических данных и программа по доизучению месторождения Суздаль: отчет. – 2020 (на русском языке)*

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. *Haimson B. C., Cornet F. H. ISRM ұйымының тау жыныстарындағы кернеулерді анықтауға арналған ұсынылатын әдістері. 3-бөлім. Гидрожару және (немесе) бұрыннан бар жарықтарды гидравликалық сынау // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2003. – Т. 40. – № 7–8. – Б. 1011–1020 (ағылшын тілінде)*

2. *Amadei B., Stephansson O. Тау жыныстары массивінің кернеулік күйі және оны өлшеу әдістері. – Лондон: Chapman & Hall, 1997. – 490 б. (ағылшын тілінде)*
3. *Zang A., Stephansson O. Жер қыртысының кернеу өрісі. – Дордрехт: Springer, 2010. – 322 б. (ағылшын тілінде)*
4. *Суздаль кен орнының үгілу қыртысындағы алтын (Қазақстан) / Ю. А. Калинин [және т. б.] // Геология и геофизика. – 2009. – Т. 50. – № 3. – Б. 241–257 (орыс тілінде)*
5. *Шығыс Қазақстанның қара тақтатасты қабаттарындағы Суздаль алтын-сульфидті кен орны / Ю. А. Калинин [және т. б.] // Кен кен орындарының геологиясы. – 2012. – Т. 54. – № 4. – Б. 305–328. (орыс тілінде)*
6. *«Региональное обучение» ЖШС. Суздаль кен орнының терең горизонттарындағы қорларды ашу және игеру. 1–3, 2 және 4 кен аймақтарын -500 м горизонтқа дейін игеру. Технологиялық бөлім (жерасты кеніші): жоба. – Өскемен, 2012 (орыс тілінде)*
7. *Haimson B. C., Cornet F. H. ISRM ұйымының тау жыныстарындағы кернеулерді анықтауға арналған ұсынылатын әдістері. 3-бөлім. Гидрожару және (немесе) бұрыннан бар жарықтарды гидравликалық сынау // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2003. – Т. 40. – № 7–8. – Б. 1011–1020 (ағылшын тілінде)*
8. *Amadei B., Stephansson O. Тау жыныстары массивінің кернеулік күйі және оны өлшеу әдістері. – Лондон: Chapman & Hall, 1997. – 490 б. (ағылшын тілінде)*
9. *Zang A., Stephansson O. Жер қыртысының кернеу өрісі. – Дордрехт: Springer, 2010. – 322 б. (ағылшын тілінде)*
10. *SRK Consulting (Russia) Ltd. Қолда бар геомеханикалық және гидрогеологиялық деректерді талдау және Суздаль кен орнын қосымша зерттеу бағдарламасы: есеп. – 2020 (орыс тілінде)*

REFERENCES

1. *Haimson B. C., Cornet F. H. ISRM Suggested Methods for Rock Stress Estimation – Part 3: Hydraulic Fracturing (HF) and/or Hydraulic Testing of Pre-Existing Fractures (HTPF) // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2003. – Vol. 40. – No. 7–8. – P. 1011–1020 (in English)*
2. *Amadei B., Stephansson O. Rock Stress and Its Measurement. – London: Chapman & Hall, 1997. – 490 p. (in English)*
3. *Zang A., Stephansson O. Stress Field of the Earth's Crust. – Dordrecht: Springer, 2010. – 322 p. (in English)*
4. *Zoloto kory vyvetrivaniya Suzdal'skogo mestorozhdeniya (Kazakhstan) [Gold in the Weathering Crust of the Suzdal Deposit (Kazakhstan)] Yu. A. Kalinin et al. Geologiya i geofizika Geologiya i geofizika [Geology and Geophysics]. – 2009. – Vol. 50. – No. 3. – P. 241–257 (in Russian)*
5. *Suzdal'skoe zoloto-sul'fidnoe mestorozhdenie v chernoslantsevykh tolshchakh Vostochnogo Kazakhstana [Suzdal Gold-Sulfide Deposit in Black-Shale Strata of Eastern Kazakhstan] Yu. A. Kalinin et al. Geologiya rudnykh mestorozhdenii [Geology of Ore Deposits]. – 2012. – Vol. 54. – No. 4. – P. 305–328 (in Russian)*
6. *TOO «Regional'noe obuchenie». Vskrytie i otrabotka zapasov glubokikh gorizontov Suzdal'skogo mestorozhdeniya rudnykh zon 1–3, 2 i 4 do gorizonta -500 m. Chast' tekhnologicheskaya (podzemnyi rudnik): proekt [Regional Training LLP. Development and Mining of Deep-Level Reserves of the Suzdal Deposit: Ore Zones 1–3, 2 and 4 to the -500 m Level. Technological Part (Underground Mine): Project]. – Ust-Kamenogorsk, 2012 (in Russian)*
7. *Haimson B. C., Cornet F. H. ISRM Suggested Methods for Rock Stress Estimation – Part 3: Hydraulic Fracturing (HF) and/or Hydraulic Testing of Pre-Existing Fractures (HTPF) // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2003. – Vol. 40. – No. 7–8. – P. 1011–1020 (in English)*
8. *Amadei B., Stephansson O. Rock Stress and Its Measurement. – London: Chapman & Hall, 1997. – 490 p. (in English)*
9. *Zang A., Stephansson O. Stress Field of the Earth's Crust. – Dordrecht: Springer, 2010. – 322 p. (in English)*
10. *SRK Consulting (Russia) Ltd. Analiz imeyushchikhsya geomekhanicheskikh i gidrogeologicheskikh dannykh i programma po doizucheniyu mestorozhdeniya Suzdal': otchet [SRK Consulting (Russia) Ltd. Analysis of Available Geomechanical and Hydrogeological Data and Program for Further Investigation of the Suzdal Deposit: Report]. – 2020 (in Russian)*

Сведения об авторах:
Саркулова Ж. С., Ph.D, ассоциированный профессор (доцент), кафедра «Нефтегазовое дело», Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова (г. Актобе, Казахстан), *zhadi_0691@mail.ru;* https://orcid.org/0000-0001-8539-1802
Матвиенко Н. В., магистр технических наук, Руководитель НИОКР ТОО «Expert Pro» (г. Усть-Каменогорск, Казахстан), *n.matvienko@expertpro.kz;* https://orcid.org/0009-0006-2622-0732
Зикирова К. Т., магистр технических наук, инженер-обогатитель ТОО «Expert Pro» (г. Усть-Каменогорск, Казахстан), *k.zikirova@expertpro.kz;* https://orcid.org/0000-0002-6261-9170
Гусманова А. Г., к. т. н., Ph.D, профессор, Каспийский университет технологий и инжиниринга им. Ш. Есенова (г. Актау, Казахстан), *aigul.gusmanov@yu.edu.kz;* https://orcid.org/0000-0002-3163-153X

Авторлар туралы мәліметтер:
Сарқұлова Ж. С., Ph.D, қауымдастырылған профессор (доцент), Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, «Мұнай-газ ісі» кафедрасы (Ақтөбе қ., Қазақстан)
Матвиенко Н. В., техника ғылымдарының магистрі, «Expert Pro» ЖШС ғылыми-зерттеу және тәжірибелік-конструкторлық жұмыстар бөлімінің жетекшісі (Өскемен қ., Қазақстан)
Зикирова К. Т., техника ғылымдарының магистрі, «Expert Pro» ЖШС байыту инженері (Өскемен қ., Қазақстан)
Гусманова А. Г., т. ғ. к., Ph.D доктор, профессор, Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инженерия университеті (Ақтау қ., Қазақстан)

Information about the authors:
Sarkulova Zh. S., Ph.D., Associate Professor, Department of Oil and Gas Engineering, K. Zhubanov Aktobe Regional University (Aktobe, Kazakhstan)
Matvienko N. V., M.Sc. (Tech.), Head of R&D, Expert Pro LLP (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)
Zikirova K. T., M.Sc. (Tech.), Mineral Processing Engineer, Expert Pro LLP (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)
Gusmanova A. G., Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Professor, Sh. Yessenov Caspian University of Technology and Engineering (Aktau, Kazakhstan)