

## ИЗУЧЕНИЕ СКОРОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ОБРАЗЦОВ СИЛЬВИНИТА РАЗЛИЧНОЙ ВЫСОТЫ В УСЛОВИЯХ ПОЛЗУЧЕСТИ

А.А. Ударцев

*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

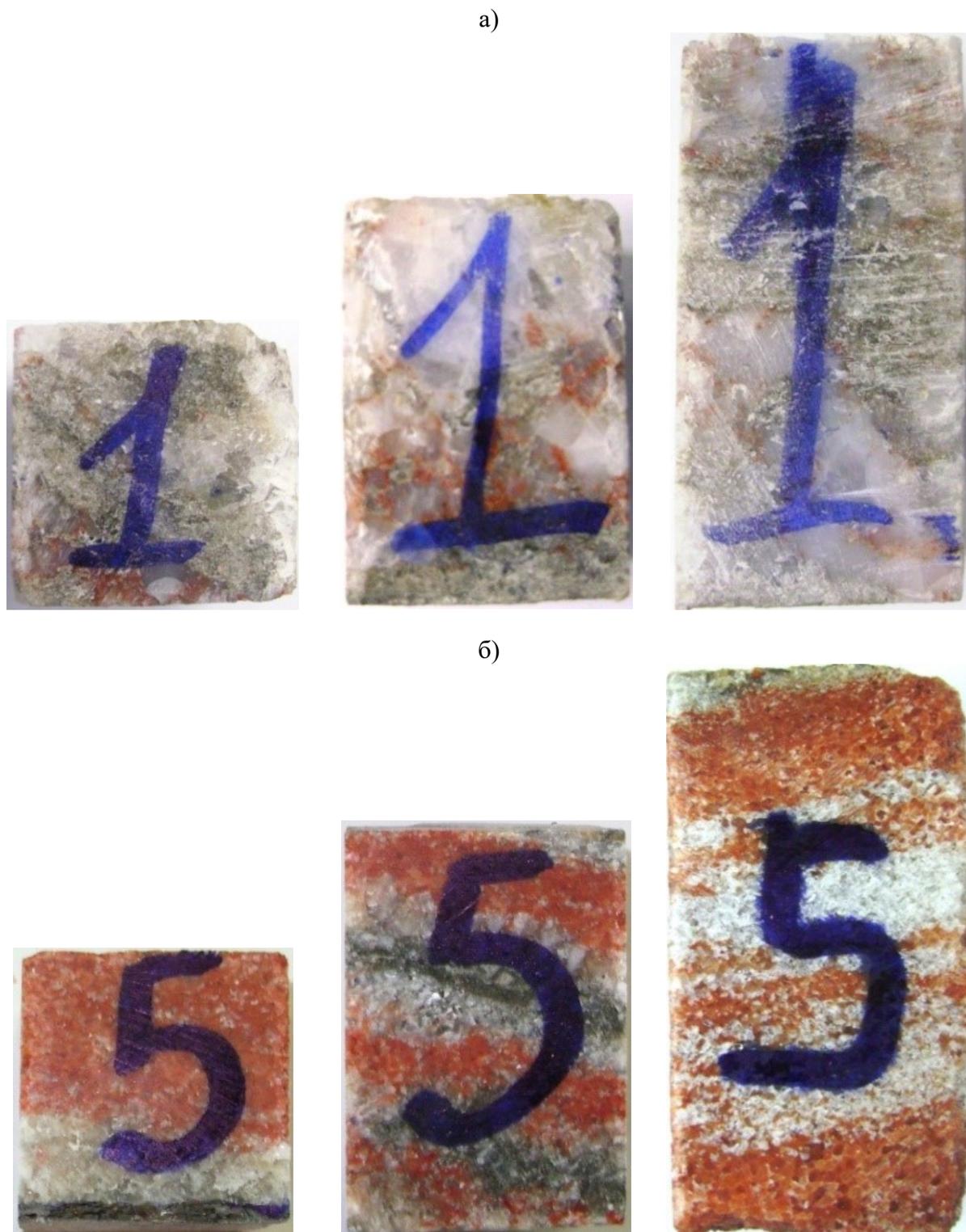
**Аннотация:** Проведен комплекс лабораторных экспериментов по изучению характера деформирования сильвинита пласта АБ и Кр. II, включающий условно-мгновенные испытания на одноосное сжатие и длительные испытания при различных степенях нагружения. По результатам исследований получены полные диаграммы деформирования и семейства кривых ползучести, по которым определялись механические характеристики пород и скорости деформирования образцов. Установлен характер изменения скорости установившейся ползучести от степени нагружения сильвинитовых образцов различной высоты, получены параметры аппроксимации.

**Ключевые слова:** сильвинит пестрый, сильвинит красный, условно-мгновенное сжатие, одноосная ползучесть, продольная деформация, скорость установившейся ползучести.

Ведение очистных работ на Верхнекамском месторождении калийных солей (ВКМКС) осуществляется за счет применения камерной системы разработки, где основными грузонесущими элементами системы служат поддерживающие междукамерные целики, работающие в режиме ползучести. Геометрические размеры междукамерных целиков определяются исходя из горно-геологических и горнотехнических факторов, а также условий залегания продуктивных пластов и могут различаться соотношением высоты ( $h$ ) к ширине ( $d$ ). Безопасность отработки месторождения обуславливается интенсивностью деформирования грузонесущих элементов камерной системы разработки, контроль которых осуществляется за счет проведения инструментальных измерений деформаций в натуральных условиях [1]. В этой связи адекватная геомеханическая оценка процесса деформирования междукамерных целиков невозможна без лабораторных исследований, направленных на экспериментальное изучение скорости деформирования сильвинитовых образцов пласта АБ и Кр. II различной высоты в условиях ползучести.

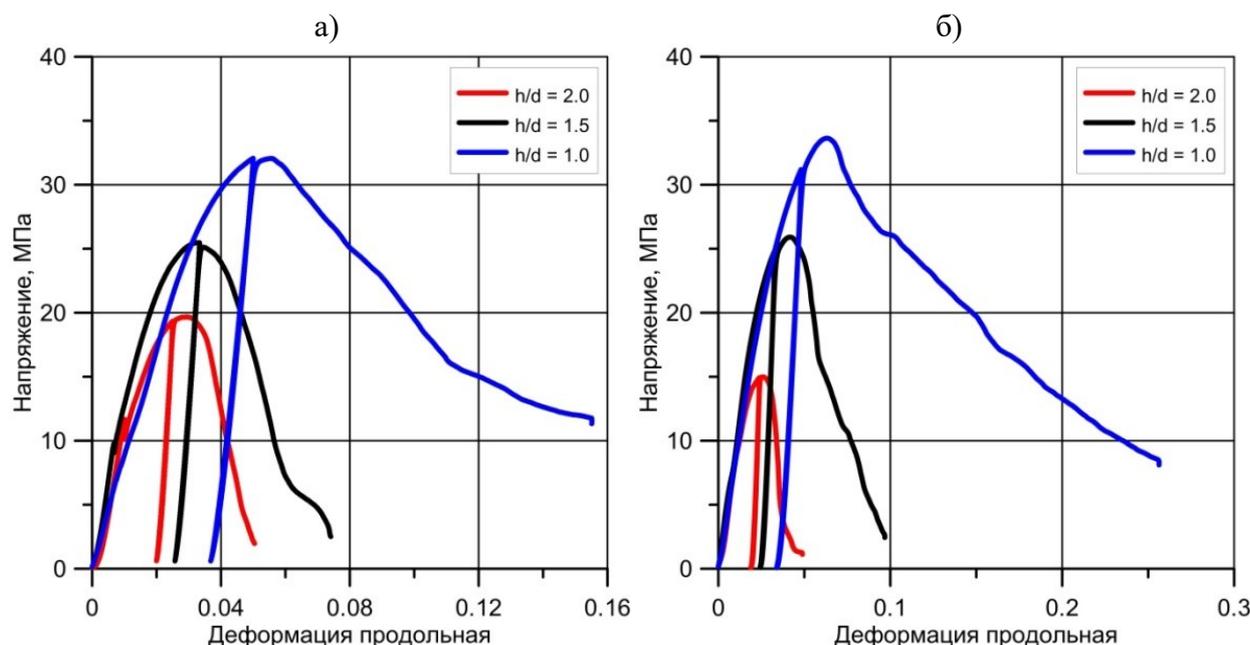
В целях реализации данного исследования производился отбор породных монолитов из продуктивных пластов шахтного поля рудника ПАО «Уралкалий». При помощи дискового отрезного станка без применения промывочной жидкости для каждого монолита отобранного с пласта АБ (сильвинит пестрый) и пласта Кр 2 (сильвинит красный) изготавливались три партии прямоугольных образцов, имеющих одинаковое основание – 40x40 мм и различную высоту – 40, 60 и 80 мм. Количество выпиленных образцов для каждой партии составляло около 30 шт., общее количество изготовленных образцов составило более 180 шт. Пример изготовленных образцов различной высоты для пестрого и красного сильвинита представлен на рис. 1.

Лабораторные исследования включали в себя комплекс мероприятий, которые проводились в два этапа. На первом этапе реализовывались эксперименты на одноосное сжатие в режиме условно-мгновенного нагружения с целью определения прочностных характеристик исследуемых пород и степеней нагружения для испытаний на ползучесть. На втором этапе с целью изучения закономерностей длительного деформирования и разрушения сильвинитовых пород, а также определения скоростей установившейся ползучести, проводились испытания в режиме длительного нагружения при одноосном сжатии. Методика проведения экспериментов на одноосное сжатие в режиме условно-мгновенного и длительного нагружения представлена в работе [2].



**Рис. 1.** Фотографии изготовленных образцов различной высоты пестрого (а) и красного (б) сельвинита

По результатам мгновенных испытаний строились диаграммы деформирования, по которым определялся полный комплекс прочностных и деформационных показателей. Пример полученных диаграмм деформирования для каждой партии сельвинита представлен на рис. 2.



**Рис. 2.** Пример диаграмм деформирования образцов пестрого (а) и красного (б) сильвинита

По результатам длительных испытаний строились кривые ползучести, где по оси ординат откладывалась продольная деформация образца, а по оси абсцисс – время. Эксперименты на ползучесть осуществлялись при уровнях нагрузки: 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7 и 0,8 от среднего предела прочности на сжатие ( $\sigma_{пр}$ ), полученного по результатам мгновенных испытаний. Пример характерных кривых ползучести для каждой партии сильвинита представлен на рис. 3.

Качественный анализ кривых длительной прочности сильвинитовых образцов позволил установить, что интенсивность деформирования на всех уровнях сжимающей нагрузки возрастает с уменьшением высота образца как для пестрого, так и для красного сильвинита.

Для всех уровней нагружения проводилась количественная оценка скорости деформирования соляных образцов на участках установившейся ползучести. Результаты определения скоростей установившейся ползучести представлены в табл. 1.

По результатам оценки скоростей установившейся ползучести было установлено, что практически на всех уровнях нагружения скорости красного сильвинита превосходят аналогичные скорости пестрого сильвинита. Ниже на рис. 4 представлены зависимости характера изменения скорости установившейся ползучести от степени нагружения.

Анализ влияния степени нагружения на скорость установившейся ползучести сильвинитовых образцов позволил установить, что характер его изменения в интервале от  $(0,2 \text{ до } 0,8) \cdot \sigma_{пр}$  удовлетворительно описывается экспоненциальной зависимостью:

$$\dot{\epsilon} = A \cdot e^{n \left( \frac{\sigma}{\sigma_{пр}} \right)},$$

где  $\sigma$  – действующее напряжение на образец,  $A$  и  $n$  – параметры аппроксимации.

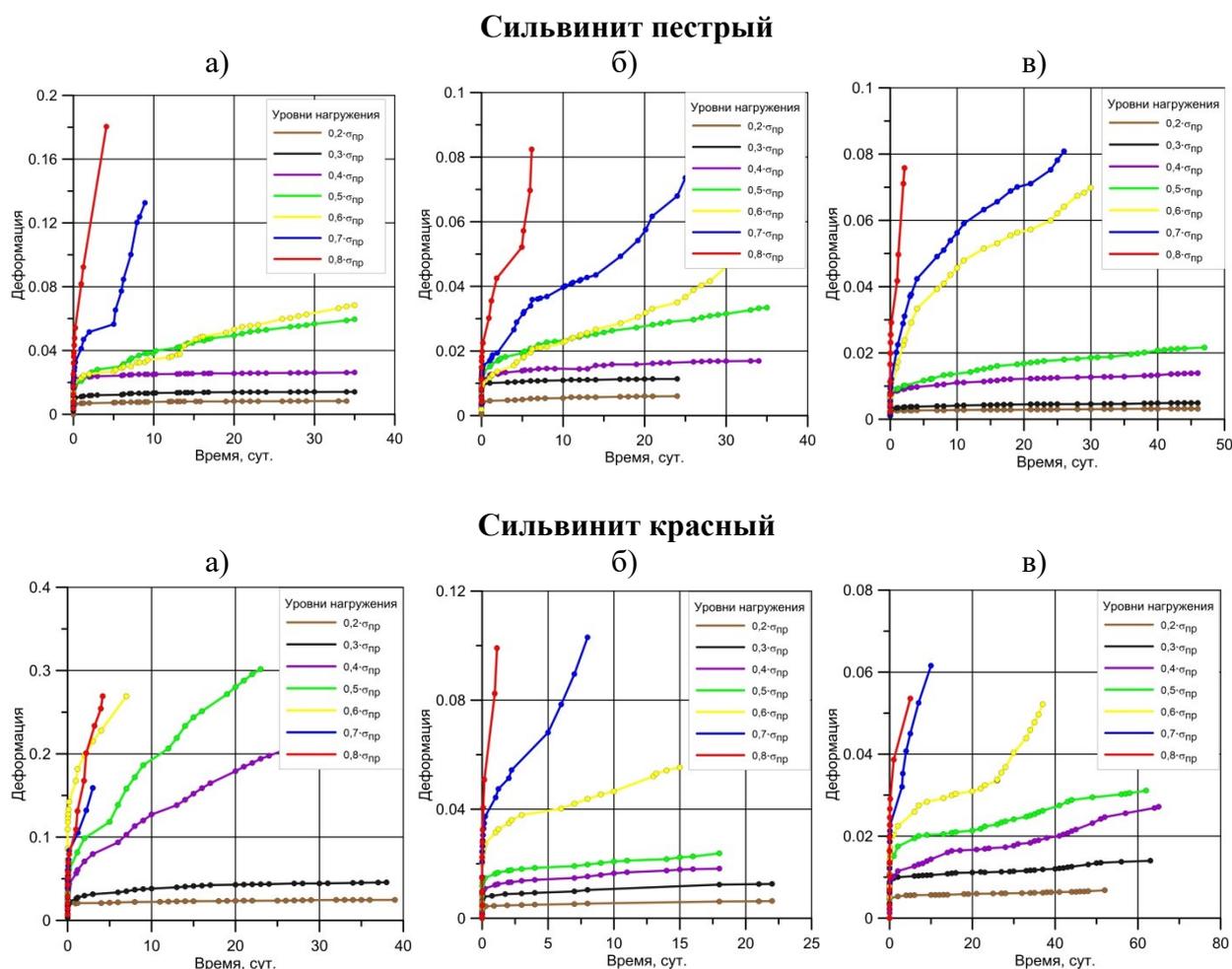
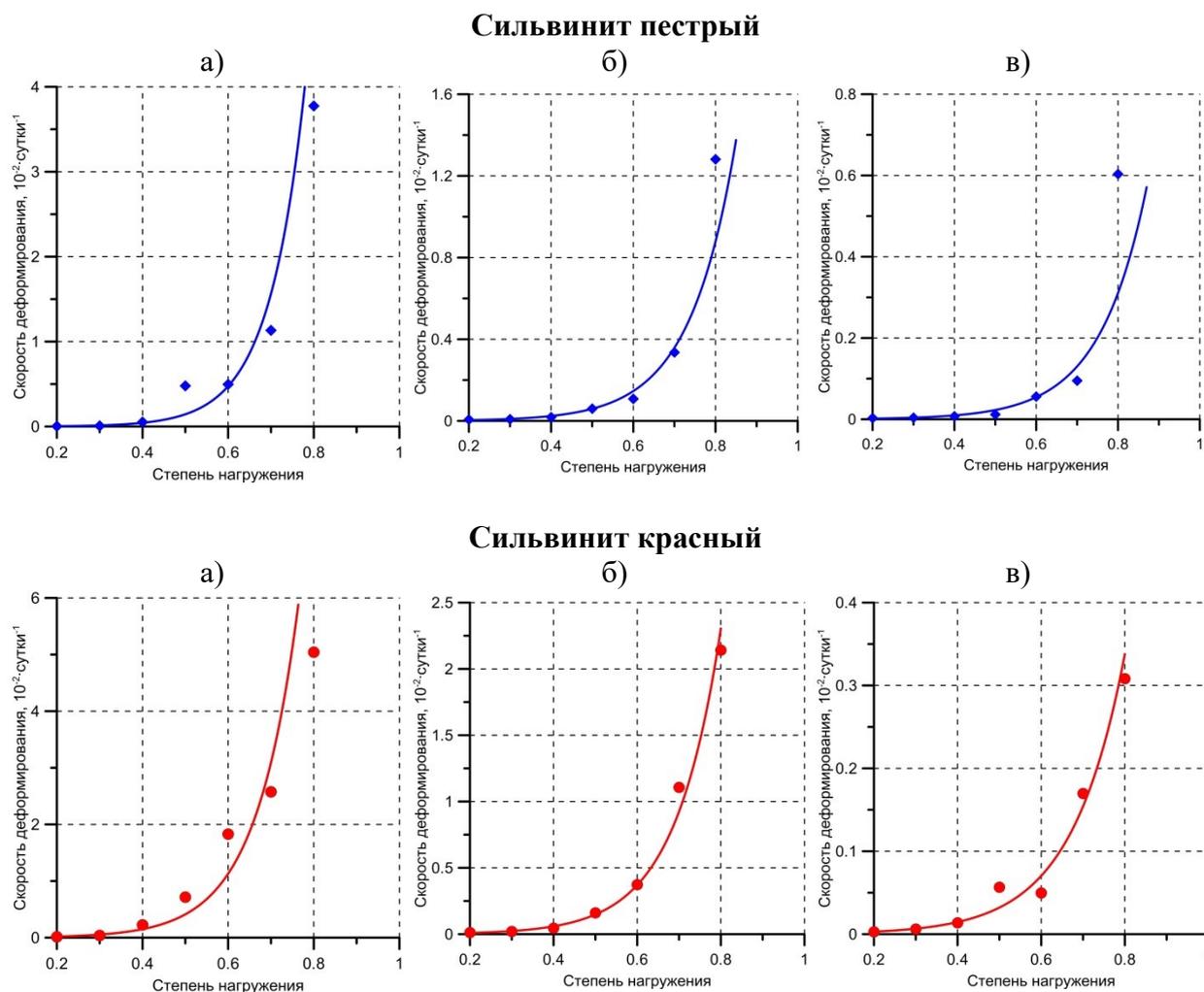


Рис. 3. Характерные семейства кривых ползучести сильвинитовых образцов:  
а –  $h/d=1,0$ ; б –  $h/d=1,5$ ; в –  $h/d=2,0$

**Таблица 1**  
Скорости установившейся ползучести пестрого и красного сильвинита

Степень нагружения	Скорость деформирования ( $\dot{\epsilon}$ ), $10^{-2} \cdot \text{сутки}^{-1}$					
	Сильвинит пестрый			Сильвинит красный		
	$h/d=1,0$	$h/d=1,5$	$h/d=2,0$	$h/d=1,0$	$h/d=1,5$	$h/d=2,0$
0,2	0,0035	0,0064	0,0029	0,0137	0,0123	0,0029
0,3	0,0071	0,0081	0,0039	0,0391	0,0201	0,0061
0,4	0,0522	0,0185	0,0074	0,2244	0,0455	0,0137
0,5	0,4783	0,0601	0,0119	0,7133	0,1602	0,0566
0,6	0,4964	0,1077	0,0556	1,8289	0,3726	0,0496
0,7	1,1312	0,3359	0,0948	2,5752	1,1064	0,1696
0,8	3,7740	1,2818	0,6033	5,0417	2,1412	0,3081



**Рис. 4.** Характер изменения скорости установившейся ползучести от степени нагружения сильвинитовых образцов: а –  $h/d=1,0$ ; б –  $h/d=1,5$ ; в –  $h/d=2,0$

В табл. 2 приведены результаты определения параметров аппроксимации  $A$  и  $n$  для образцов сильвинита с различным соотношением высоты к ширине ( $h/d$ ).

**Таблица 2**

Результаты определения параметров аппроксимации экспоненциальной функции

Параметр формы $h/d$	Параметры аппроксимации	
	$A$	$n$
<b>Сильвинит пестрый</b>		
1,0	$0,38 \cdot 10^{-3}$	11,91
1,5	$0,67 \cdot 10^{-3}$	8,97
2,0	$0,29 \cdot 10^{-3}$	8,70
<b>Сильвинит красный</b>		
1,0	$2,68 \cdot 10^{-3}$	10,07
1,5	$1,54 \cdot 10^{-3}$	9,14
2,0	$0,64 \cdot 10^{-3}$	7,85

Результаты проведенных исследований предназначены для получения объективной геомеханической оценки за процессом деформирования междукамерных целиков при отработке Верхнекамского месторождения калийных солей.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке  
Министерства науки и образования РФ (рег. номер 122012000403-1),  
а также гранта РФФИ № 20-45-596011.*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Евсеев А.В. Методика инструментального контроля процессов деформирования камерного блока при двухпластовой отработке сильвинитовых пластов // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 13 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2015. – С. 105-107.
2. Ударцев А.А., Паньков И.Л. Изучение характера деформирования сильвинита в условиях одноосного сжатия при различных режимах нагружения // Горное эхо. – 2022. – № 4 (89). – С. 54-59. – DOI: 10.7242/echo.2022.4.9.

## ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ НЕДР

УДК 550.834:622.12

DOI:10.7242/echo.2023.2.7

### О МЕТОДЕ ПРОГНОЗА ДИЗЬЮНКТИВОВ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ И ПРИУРОЧЕННЫХ К НИМ ЗОН СКОПЛЕНИЯ МЕТАНА

А.В. Анциферов, А.А. Глухов, В.В. Туманов

*Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт  
горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела (РАНИМИ), г. Донецк*

**Аннотация:** В данной статье приведены основы метода дифрагированных волн для прогноза разрывных тектонических нарушений угольных пластов и приуроченных к ним зон вероятного скопления метана. Универсальность метода заключается в том, что он не адаптирован к определенным схемам наблюдений. Представлен алгоритм расчета сейсмических изображений зоны наблюдений. Описаны критерии наличия геологических аномалий. Описана последовательность процедур обработки данных сейсмических наблюдений.

Метод может быть использован геофизическими службами и специализированными организациями для обработки результатов сейсмических исследований в качестве дополнительного способа обработки и анализа данных сейсморазведки.

**Ключевые слова:** шахтная сейсморазведка, прогноз дизъюнктивов, зоны вероятного скопления метана, метод дифрагированных волн, обработка данных сейсморазведки, программное обеспечение.

### Введение

В зонах тектонических структур достаточно часто наблюдается возрастание концентрации газов и тяжелых углеводородов. Такие образования можно рассматривать в качестве газосодержащих коллекторов. Их вскрытие горными выработками сопровождается выбросами газа и человеческими жертвами. При своевременном обнаружении таких аномалий и целенаправленном выполнении предварительной дегазации подобных аварий удалось бы избежать. Сейсмические методы, особенно методы шахтной сейсморазведки, являются достаточно апробированным средством обнаружения подобных аномалий [1].