

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СКЛАДЧАТЫХ СТРУКТУР  
СИЛЬВИНИТОВОГО ПЛАСТА АБ,  
ОПАСНЫХ ПО ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ ЯВЛЕНИЯМ,  
В УСЛОВИЯХ ШАХТНОГО ПОЛЯ РУДНИКА БКПРУ-2  
ПАО «УРАЛКАЛИЙ»**

Е.В. Лукьянец

*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация.** Методы локального прогнозирования зон, опасных по газодинамическим явлениям, в настоящее время не учитывают структурно-тектоническое строение калийных пластов, элементы которого во многом определяют газодинамическую опасность калийных пластов и вмещающих пород. Поэтому целью данной работы стала оценка вероятности прогнозирования антиклинальных складок с помощью сети подготовительных выработок в меридиональном и широтном направлениях, а также выбор оптимального метода интерполяции структурно-тектонического строения сильвинитового пласта АБ. Для оценки геометрической вероятности нахождения антиклинальной складки применяемой системой подготовительных выработок при панельно-блоковой схеме подготовки участков шахтного поля были произведены расчеты по методу вычисления для круглых и методу вычисления линейных целей при параллельной схеме поиска и субмеридианальном расположении антиклинальных складок. В процессе проведения исследований сформулированы гипотезы нахождения антиклинальной складки третьего порядка по классификации Б.М. Голубева. Произведен выбор метода пространственной интерполяции данных с целью прогнозирования складчатых структур, опасных по газодинамическим явлениям. На примере юго-восточной части шахтного поля рудника БКПРУ-2 ПАО «Уралкалий» построена пространственная модель поверхности сильвинитового пласта АБ с помощью метода скользящего среднего. Полученные результаты будут использоваться при разработке метода локального прогнозирования газодинамических явлений, основанного структурно-тектоническом анализе строения калийных пластов.

**Ключевые слова:** калийный пласт, геометрическая вероятность, антиклинальная складка, пространственная интерполяция, очаг газодинамического явления, поверхность пласта сильвинитового пласта АБ, подготовительные выработки, складчатость, газодинамическое явление.

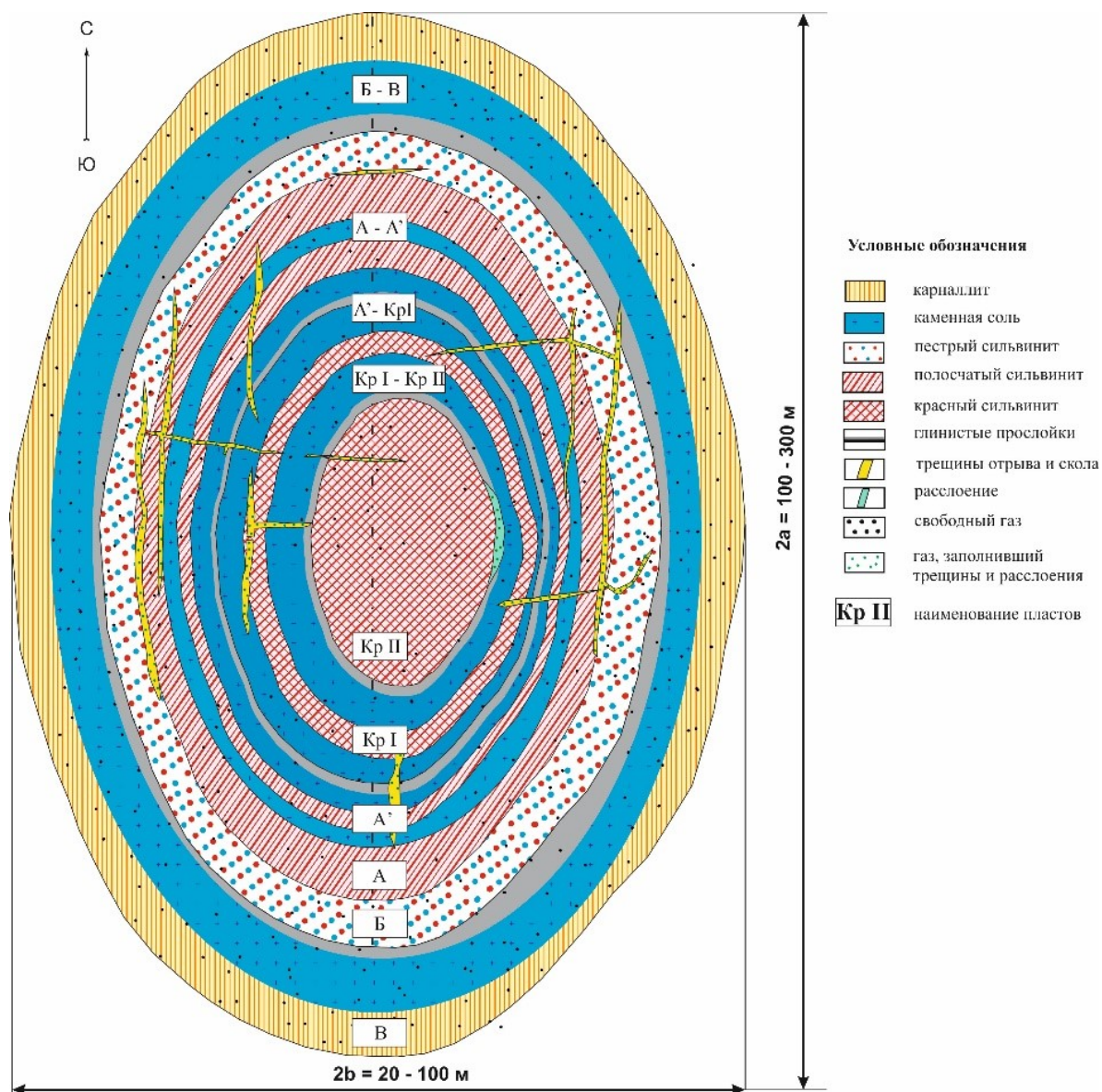
### **Введение**

Статистический анализ геологических условий проявления газодинамических явлений при отработке сильвинитового пласта АБ показал, что к антиклинальным складкам третьего порядка по классификации к.г.-м.н. Б.М. Голубева приурочено более 70% от их общего числа [1-4]. Так, при ведении подготовительных и очистных работ в области распространения антиклинальной складки комбайн попадает в зону с двумя потенциальными очагами газодинамических явлений. Во-первых, осуществляется подрезка в кровле выработки пласта каменной соли Б-В (подрезка на величину более 0,4 м является предупредительным признаком газодинамического явления, а на величину более 0,6 м – предвестником газодинамического явления) и вскрытие карналлитового пласта В, наиболее газоносного и опасного по газодинамическим явлениям. Во-вторых, горной выработкой происходит пересечение совокупности трещин и расслоений, образовавшихся в пределах сформировавшейся складчатой структуры и заполненных свободным газом под давлением, представляющих собой потенциальный очаг газодинамического явления, сформировавшийся в соляном породном массиве [6-12].

### **Оценка вероятности прогнозирования антиклинальной складки с помощью сети подготовительных выработок в меридиональном и широтном направлениях**

Для оценки геометрической вероятности нахождения антиклинальной складки были использованы два метода: метод вычисления для круглых и линейных целей при па-

раллельной схеме поиска [14-16]. При использовании метода для круглых целей предполагается, что цель, которую нужно найти, является эллипсом. В нашем случае эллипсом будет являться область распространения антиклинальной складки с размерами по ширине 20-100 м, по длине 100-300 м (рис. 1).



**Рис. 1.** Горизонтальный разрез антиклинальной складки третьего порядка

Схема поиска в данном случае состоит в проведении серии параллельных прямых на расстоянии  $D$  – в нашем случае серии подготовительных выработок на расстоянии 200 м и 800 м (при панельно-блоковой схеме подготовки участков шахтного поля). Вероятность того, что антиклинальная складка (меньшая, чем расстояние между профилями) будет пересечена некоторой линией определяется выражением:

$$P = \frac{p}{\pi D},$$

где  $D$  – расстояние между профилями (200 и 800 м);  $p$  – периметр эллиптической цели, рассчитываемый по формуле:

$$p = 2\pi \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{2}},$$

где  $a$  и  $b$  – значения полуосей эллипса (половины значений ширины и длины антиклинальной складки (рис. 1).

Метод для линейных целей при расчете геометрической вероятности нахождения антиклинальной складки используется, если одна из осей эллипса может быть настолько короткой, что цель становится случайно ориентированной линией. В нашем случае длина антиклинальной складки преобладает над шириной, поэтому вероятность того, что антиклинальная складка длиной  $2a$ , брошенная на множество параллельных прямых (профилей горных выработок), расположенных на расстоянии  $D$  (200 м и 800 м) друг от друга, пересечет хотя бы одну из этих прямых будет определяться выражением:

$$P = \frac{4 \times a}{\pi \times D}.$$

### Результаты расчета геометрической вероятности нахождения антиклинальной складки

Результаты расчета геометрической вероятности нахождения антиклинальной складки методом вычисления для круглых целей (параллельная схема поиска и субмеридиональном направлении складки) приведены на графиках, представленных на рисунке 2.

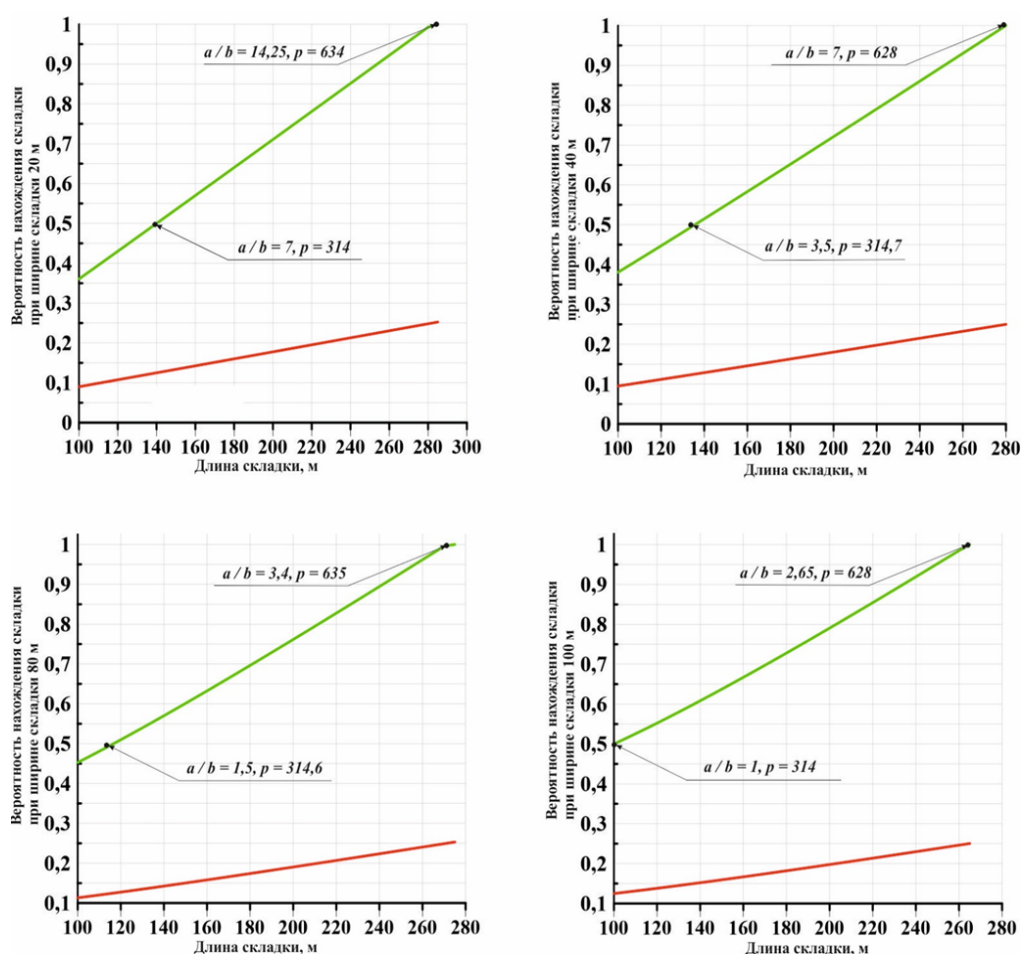


Рис. 2. Результаты расчета геометрической вероятности нахождения антиклинальной складки методом вычисления для круглых целей (параллельная схема поиска и субмеридиональном направлении складки)

Красной линией на графиках (рис. 2) отображена геометрическая вероятность нахождения антиклинальной складки при расстоянии между профилями горных выработок 800 м. Геометрическая вероятность при этом будет изменяться от 0,09 (при ширине складки 20 м и длине 100 м) и достигнет максимального значения 0,25 при длине складки от 270 м и любой ширине складки. При расстоянии между профилями 200 м (зеленые линии на графиках на рис. 2) равновероятностная гипотеза прогнозирования антиклинальной складки третьего порядка характеризуется периметром складки 314 м, что соответствует отношению параметров длины  $2a$  к ширине  $2b$  складки:  $a/b = 7$  - при ширине складки 20 м,  $a/b = 3,5$  - при 40 м,  $a/b = 2,1$  - при 60 м,  $a/b = 1,5$  - при 80 м,  $a/b = 1$  - при 100 м. При увеличении отношения параметров длины к ширине при любой ширине складки геометрическая вероятность нахождения антиклинальной складки стремится к 1, и достигает вероятности, равной единице, при следующих параметрах складки:

- при ширине складки 20 м –  $a/b = 14,25$ ,  $p = 634$  м;
- при ширине складки 40 м –  $a/b = 7$ ,  $p = 628$  м;
- при ширине складки 60 м –  $a/b = 4,67$ ,  $p = 635$  м;
- при ширине складки 80 м –  $a/b = 3,4$ ,  $p = 635$  м;
- при ширине складки 100 м –  $a/b = 2,65$ ,  $p = 628$  м.

Результаты расчета геометрической вероятности нахождения антиклинальной складки методом вычисления для линейных целей (параллельная схема поиска и субмеридиональное направление складки) представлены в таблице 1.

**Таблица 1**

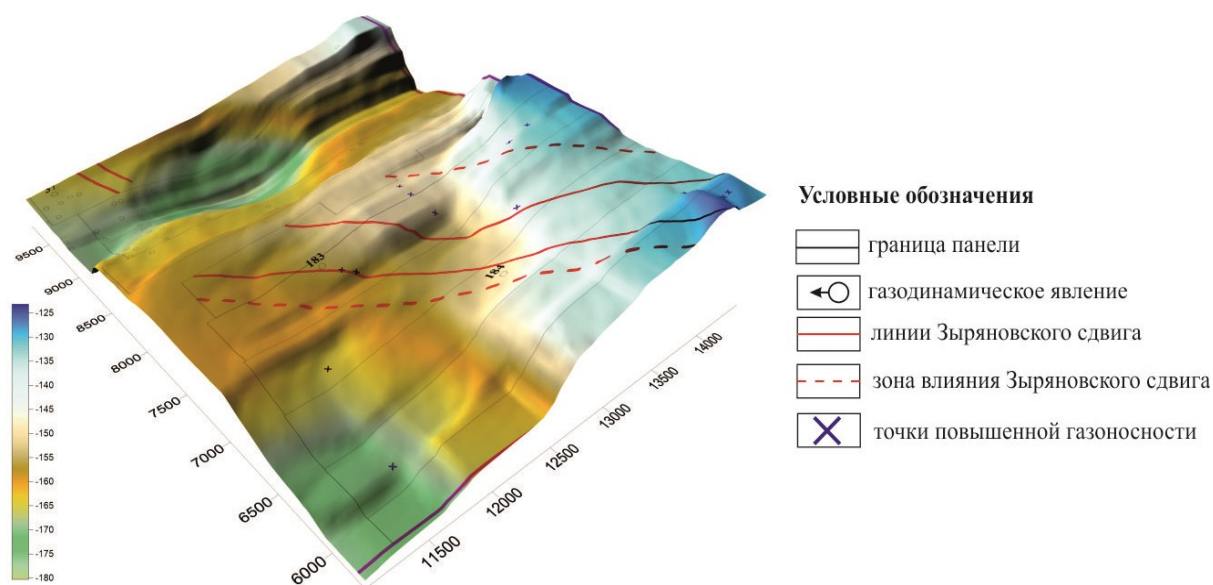
Результаты расчета геометрической вероятности нахождения антиклинальной складки методом вычисления для линейных целей (параллельная схема поиска и субмеридиональном направлении складки)

Длина антиклинальной складки, м	Геометрическая вероятность нахождения антиклинальной складки при расстоянии между профилей		Периметр складки, м
	200 м	800 м	
100	0,32	0,0003	226 - 314
120	0,38	0,0003	270-347
140	0,45	0,0004	314-382
156	0,50	0,0004	349-411
160	0,51	0,0004	358-419
180	0,57	0,0005	402-457
200	0,64	0,0005	446-496
220	0,70	0,0006	490-537
240	0,76	0,0006	535-577
260	0,83	0,0007	579-619
280	0,89	0,0007	623-660
300	0,96	0,0008	668-702

По результатам расчета геометрической вероятности нахождения антиклинальной складки методом вычисления для линейных целей, представленных в таблице 1, можно увидеть, что при расстоянии между профилями 800 м вероятность будет ничтожно мала и не превысит 0,008. Равновероятностная гипотеза поиска антиклинальной складки при расстоянии между профилями 200 м будет соответствовать длине складки 156 м (при этом периметр складки может находиться в пределах 349-411 м) и стремиться к 1 с увеличением длины.

### Выбор метода пространственной интерполяции структурно-тектонического строения сильвинитового пласта АБ

Методы пространственной интерполяции позволяют оценить положение пласта АБ в точках, где не известны его координаты. Известными координатами считаются глубинная координата  $Z$  кровли сильвинитового пласта АБ, координаты точек исследования кровли сильвинитового пласта АБ на плоскости  $XY$ . Перечисленные координаты были получены путем снятия точек с геологических профилей горных выработок, которые рисуются геологами на рудниках ПАО «Уралкалия» вручную. Для выбора метода пространственной интерполяции используется программный комплекс SURFER, который предлагает 12 методов пространственной интерполяции. Для оценки рассеяния возможных значений случайной величины вокруг ее среднего значения рассмотрено среднее квадратическое отклонение [13]. Выбор метода интерполяции производится с целью прогнозирования складчатых структур, опасных по газодинамическим явлениям. Поэтому при вводе параметров интерполяции необходимо учитывать параметры складчатых структур, а именно, антиклинальных складок третьего порядка, амплитуда которых начинается от 3 м и может достигать 12 м, ширина от 20 до 100 м, длина до 300 м [13, 17]. Наименьшее значение среднее квадратическое отклонение (12,64) было получено при использовании метода скользящего среднего. В результате построена пространственная модель сильвинитового пласта АБ юго-восточной части шахтного поля рудника БКПРУ-2 ПАО «Уралкалий», основанная на интерпретации данных с помощью метода скользящего среднего (рис. 3).



**Рис. 3.** Пространственная модель сильвинитового пласта АБ юго-восточной части шахтного поля рудника БКПРУ-2 ПАО «Уралкалий», основанная на интерпретации данных с помощью метода скользящего среднего



Результаты пространственной интерполяции с помощью метода скользящего среднего можно использовать для местонахождения антиклинальных складок третьего порядка, в пределах которых произошло около 70% от общего количества газодинамических явлений в условиях рудника БКПРУ-2. Полученные результаты будут использоваться при разработке метода локального прогнозирования газодинамических явлений, основанного на структурно-тектоническом анализе строения калийных пластов.

### Выводы

Результаты оценки возможности прогнозирования складчатых структур сильвинитового пласта АБ, опасных по газодинамическим явлениям, в условиях шахтного поля рудника БКПРУ-2 ПАО «Уралкалий» позволяют сделать следующие выводы.

1. При проходке подготовительных выработок и очистных камер в пределах антиклинальных складок третьего порядка проходческо-очистной комбайн пересекает область с двумя потенциальными очагами газодинамических явлений: осуществляется подрезка в кровле выработки пласта каменной соли Б-В, выполняющего функцию «защитной пачки» и вскрытие карналлитового пласта В; пересечение совокупности трещин и расслоений, заполненных свободным газом под давлением, в пределах самой складчатой структуры.

2. Прогнозирование складчатых структур – антиклинальных складок третьего порядка является возможным при расстоянии между профилями подготовительных горных выработок 200 м и размерами складки по ширине 20-100 м, по длине 100-300 м. При этом равновероятностная гипотеза прогнозирования антиклинальной складки третьего порядка реализуется для периметра складки 314 м, что соответствует отношению параметров длины  $a$  к ширине  $b$  складки:  $a/b = 7$  – при ширине складки 20 м,  $a/b = 3,5$  – при 40 м,  $a/b = 2,1$  – при 60 м,  $a/b = 1,5$  – при 80 м,  $a/b = 1$  – при 100 м. При увеличении отношения параметров  $a/b$  при любой ширине складки вероятность прогнозирования антиклинальной складки стремится к 1.

3. Результаты пространственной интерполяции данных о гипсометрии пласта АБ с помощью метода скользящего среднего можно использовать для прогнозирования антиклинальных складок третьего порядка. Результаты пространственной интерполяции данных могут быть использованы для разработки локального метода прогнозирования газодинамических явлений, основанного структурно-тектоническом анализе строения калийных пластов.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Голубев Б.М. Морфологические особенности складок внутри калийной толщи Верхнекамского месторождения и условия их формирования // Докл. АН СССР. – 1972. – Т. 204, № 3. – С. 671-673.
2. Голубев Б.М. О несогласном залегании пород внутри соляной толщи Верхнекамского месторождения // Геология и гидрогеология соляных месторождений. – Л., 1972. – С. 8-12. – (ВНИИГ. Вып. 56).
3. Голубев Б.М. Строение соляной толщи Верхнекамского месторождения: автореф. дис. ... к.г.-м.н. / Голубев Борис Михайлович. – Пермь: 1972. – 31 с.
4. Голубев Б.М. Особенности внутреннего строения соляной толщи Верхнекамского месторождения // Проблемы соленакпления: сб. / Ин-т геологии и геофизики СО АН СССР. – Новосибирск, 1977. – Т. 2. – С. 115-118.
5. Andreiko S.S. Statistical criteria and estimation results for regularities of gas-dynamic phenomenon distribution in potash deposits // Journal of Mining Science. – 2003. – V. 39, № 4. – P. 354-363.

6. Андрейко С.С., Иванов О.В. Метод прогноза газодинамических явлений при разработке сильвинитовых пластов Верхнекамского месторождения калийных солей // Горн. информ.-аналит. бюл. – 2009. – № 7. – С. 368-373.
7. Барях А.А., Андрейко С.С., Федосеев А.К. Газодинамическое обрушение кровли при разработке месторождений солей // Записки Горного института. – 2020. – Т. 246. – С. 601-609. – DOI: 10.31897/PMI.2020.6.1.
8. Andreyko S.S., Lyalina T.A. Rockburst from floors // Soils and Rocks. – 2019. – V. 42, 1. – P. 77-82. – DOI: 10.28927/SR.421077.
9. Андрейко С.С. Современное состояние проблемы газодинамических явлений на Верхнекамском месторождении калийных солей // Стратегия и процессы освоения георесурсов: материалы ежегод. науч. сес. ГИ УрО РАН по результатам НИР в 2009 г. – Пермь, 2010. – С. 211-213.
10. Андрейко С.С. Мониторинг газодинамической опасности при ведении подземных горных работ на рудниках ОАО «Уралкалий»: современное состояние и направления совершенствования // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 9. / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2011. – С. 254-256.
11. Андрейко С.С. Анализ структурно-тектонических условий проявления газодинамических явлений в надвиговых и сдвиговых зонах на шахтных полях рудников БКПРУ-2 и БКПРУ-4 // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 13 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2015. – С. 225-228.
12. Андрейко С.С. Геологический механизм дегазации карналлитового пласта Б на участках распространения смешанных солей // Горное эхо. – 2022. – № 3 (88). – С. 55-60. – DOI: 10.7242/echo.2022.3.9.
13. Лукьянец Е.В., Бобров Д.А. Механизм образования очагов газодинамических явлений в складчатых структурах калийных пластов // Горное эхо. – 2020. – № 2 (79). – С. 106-114. – DOI: 10.7242/echo.2020.2.21.
14. Дэвис Дж. Статистический анализ данных в геологии: Пер. с англ. в 2 кн./ Пер. В.А. Голубевой; Под ред Д.А. Родионова. – М.: Недра. 1990. – Кн.1. – 319 с.
15. Дэвис Д.С. Статистический анализ данных в геологии. В 2 кн. / Пер. с англ. В.А. Голубевой; Под ред Д.А. Родионова. – М.: Недра. 1990. – Кн.2. – 427 с.
16. Боровко Н.Н. Статистический анализ пространственных геологических закономерностей – Л.: Недра, 1971. – 174 с.
17. Андрейко С.С., Лукьянец Е.В. Пространственные модели пласта АБ на шахтном поле БКПРУ-2 ПАО «Уралкалий» // Изв. Тульского гос. ун-та. Науки о Земле. – 2023. – №. 1. – С. 523-531.

УДК 622.4

DOI:10.7242/echo.2023.2.19

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОТЫДЕЛЕНИЙ ТЕХНИКИ С ДВС НА ПРОВЕТРИВАНИЕ ТУПИКОВЫХ КАМЕРООБРАЗНЫХ ВЫРАБОТОК

Е.В. Накаряков

*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация:** В работе представлены результаты многопараметрического численного моделирования процесса проветривания тупиковых очистных камер с учетом тепловыделений техники, работающей в очистном пространстве. Произведена оценка влияния тепловой конвекции на распределение скоростей воздуха и концентраций. Показано, что при расчетном количестве воздуха, подаваемом на проветривание тупиковой выработки, концентрация вредных компонентов выхлопных газов в устье выработки имеет одинаковый характер возрастания и асимптоту как с учетом тепловыделений, так и без их учета. При учете теплового расширения выхлопных газов тепловыделениями в пределах очистного пространства для решения задачи эффективности проветривания тупиковых очистных камер можно пренебречь.

**Ключевые слова:** рудничная вентиляция, двигатель внутреннего сгорания, выхлопные газы, ядовитые газы, расход воздуха, расчет количества воздуха.