

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ГАЗОНОСНОСТИ  
СОЛЯНЫХ ПОРОД ПО СВЯЗАННЫМ ГАЗАМ  
НА БЕЛОПАШНИНСКОМ, РОМАНОВСКОМ И ВОГУЛЬСКОМ УЧАСТКАХ  
ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

А.С. Папулов  
*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация:** Представлены результаты лабораторных исследований газоносности по связанным газам образцов керна геологоразведочных скважин Белопашнинского, Романовского и Вогульского участков. Основной задачей являлось выявление пространственных и стратиграфических различий в газоносности калийных пластов. В качестве материала использованы 93 образца, из которых связанные газы выделялись при измельчении пород. Построены диаграммы размаха газоносности по связанным газам, а также карты распределения газоносности на исследуемых площадях. Результаты показали, что газоносность соляных пород обладает значительной изменчивостью, обусловленной литологическими характеристиками пород. Некоторые образцы демонстрируют значительно повышенные показатели газоносности по сравнению с фоновыми значениями, что подчеркивает неоднородность распределения газов и необходимость дальнейшего детального анализа свойств каждого пласта при оценке потенциальной газодинамической опасности.

**Ключевые слова:** газоносность, соляные пласты, связанные газы, Верхнекамское месторождение, диаграмма размаха, распределение.

### **Введение**

Исследования распределения газоносности по связанным газам используются при построении моделей механизма формирования газонасыщенных зон в соляном породном массиве. Проблематика газоносности соляных пород изучается на протяжении многих десятилетий, начиная с первых этапов освоения калийных месторождений, и отражена в многочисленных научных публикациях [1-11].

Данное исследование проводилось с целью дать количественную оценку газоносности соляных пород по связанным газам на участках, расположенных в южной части Верхнекамского месторождения калийных солей, которые ранее не были охвачены подобными исследованиями, а также для сравнительной оценки показателей газоносности по связанным газам указанных участков месторождения.

### **Распределение газоносности соляных пород**

Для анализа были отобраны 93 пробы керна соляных пластов (КрIII, КрII, КрII, А, Б и В) из 4 геологоразведочных скважин Белопашнинского, 8 геологоразведочных скважин Романовского и 4 геологоразведочных скважин Вогульского участков (см. рис. 1).

В ходе исследований применялся комплекс методов, основанный на анализе связанных газов, выделившихся при измельчении образцов пород в планетарно-шаровой мельнице [12].

В результате проведенных исследований установлено, что газоносность соляных пород калийных пластов на исследуемой площади изменяется в широких пределах – от  $0,012 \text{ м}^3/\text{м}^3$  до  $0,08 \text{ м}^3/\text{м}^3$ . Существенная изменчивость газоносности, вероятно, обусловлена комплексом факторов, включая литологические особенности пород или особенностей седиментационной обстановки, эпигенетических процессов и тектонических особенностей строения участков месторождения. Диаграммы размаха газоносности по связанным газам калийных пластов в южной части Верхнекамского месторождения калийных солей представлены на рис. 2.

Как видно из рисунка, из всех пластов наиболее газоносным является пласт А ( $\bar{X} = 0,045 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ,  $Me = 0,043 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ). Максимальная газоносность зафиксирована в образце красного сильвинита пласта КрII из скважины № 2019, в котором газоносность

составляет  $0,08 \text{ м}^3/\text{м}^3$ . Анализ средних и медианных значений указывает на то, что практически все изученные пласти характеризуются повышенной газоносностью – выше  $0,04 \text{ м}^3/\text{м}^3$ . Наименее газоносным является пласт В ( $\bar{X} = 0,038 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ,  $Me = 0,029 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ), что, вероятно, связано с его неоднородным литологическим составом: в пределах пласта встречаются как карналлитовые разности, так и пестрые сильвиниты и каменная соль.

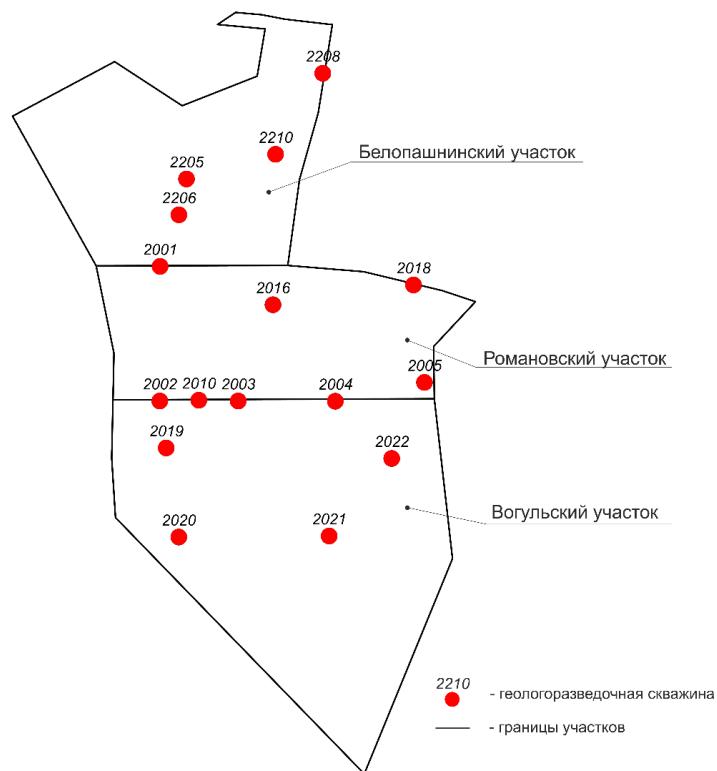


Рис. 1. Схема расположения геологоразведочных скважин

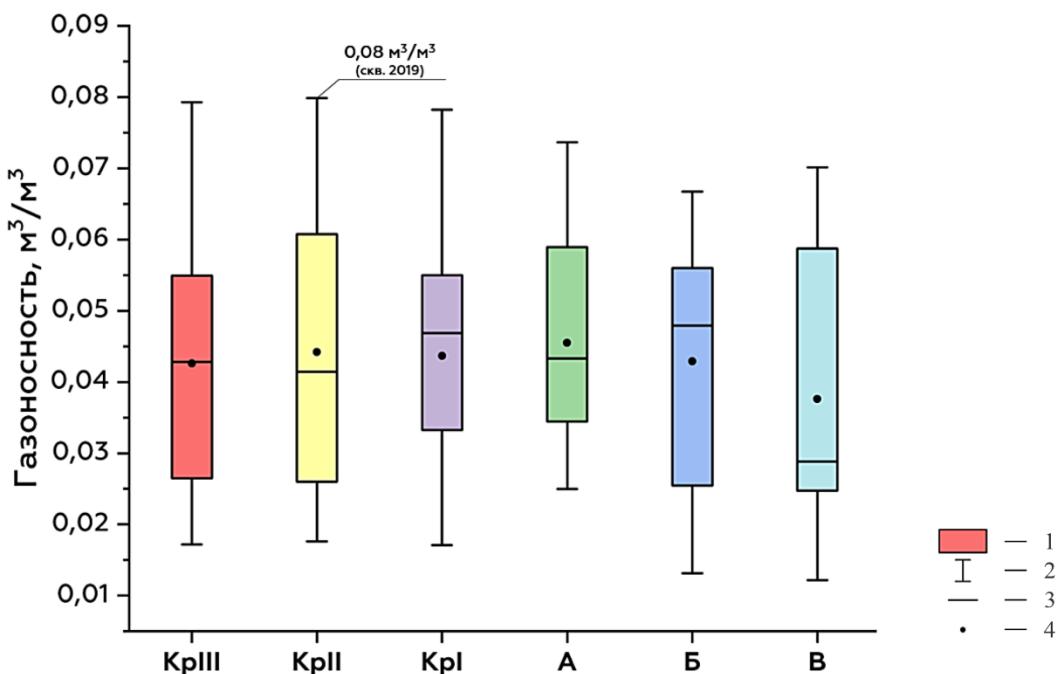
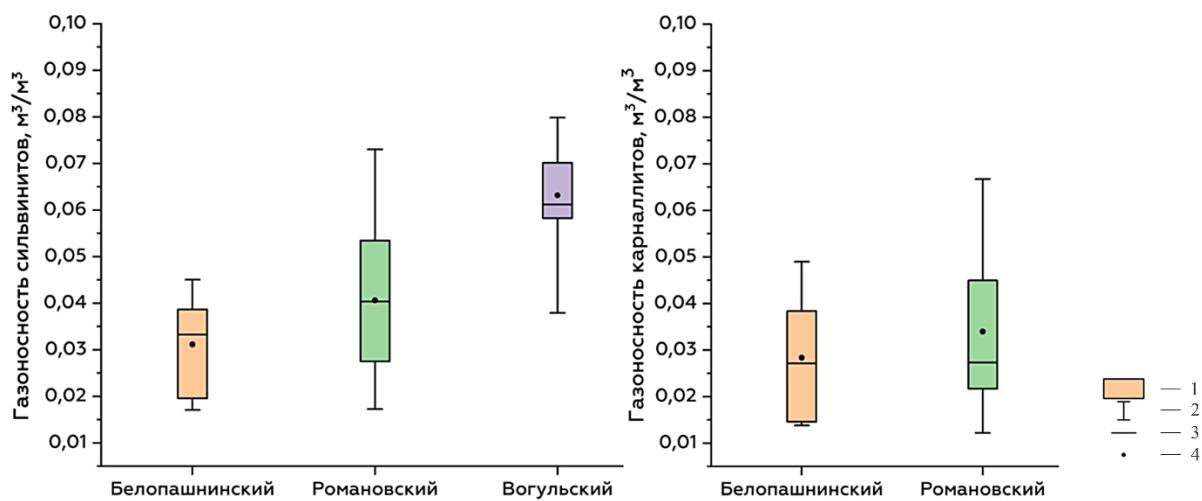


Рис. 2. Диаграммы размаха газоносности по связанным газам калийных пластов в южной части Верхнекамского месторождения калийных солей: 1 – межквартильный размах (25-75-й процентиль), 2 – границы размаха данных, 3 – медиана (50-й процентиль), 4 – среднее значение

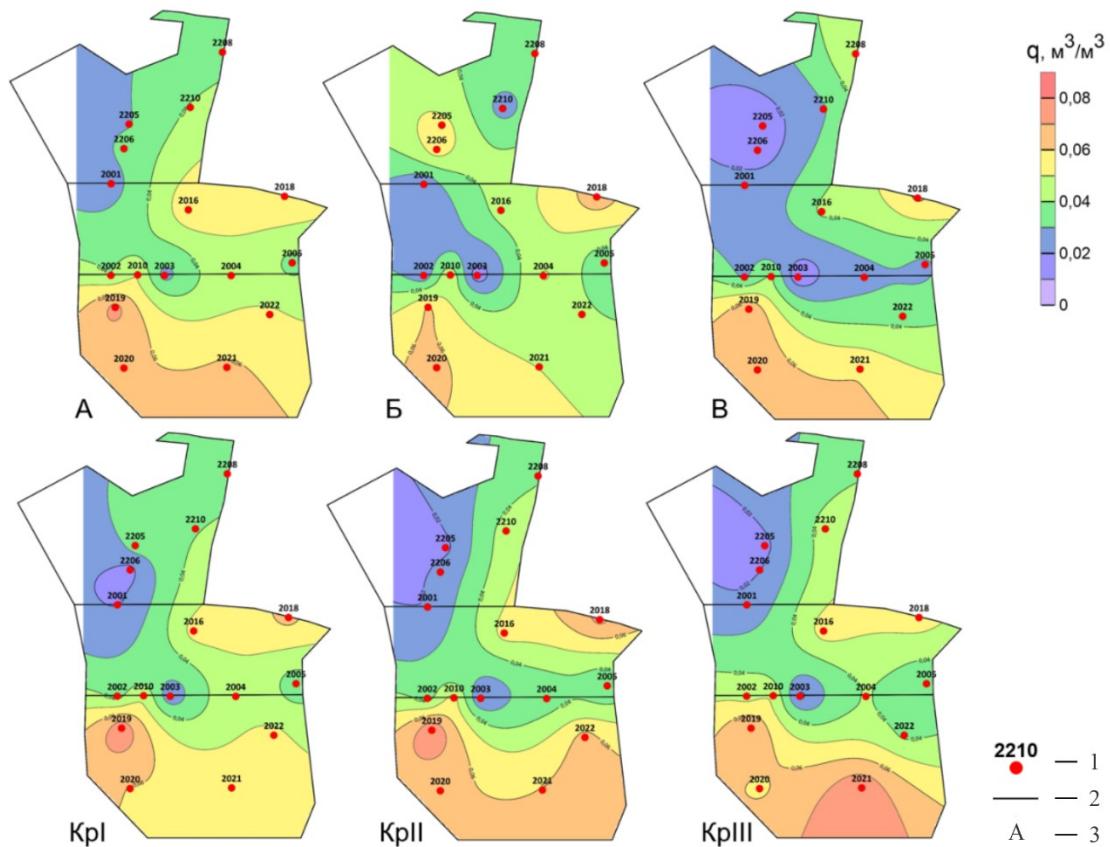
При отдельном рассмотрении газоносности сильвинитов по исследуемым участкам выявлены региональные различия в газоносности. Вогульский участок выделяется медианой  $0,06 \text{ м}^3/\text{м}^3$ , что примерно в 1,5 раза превышает показатели Белопашинского и Романовского участков. На Белопашинском участке зафиксированы минимальные медианные значения газоносности, тогда как на Романовском участке наблюдается значительный разброс данных как в сильвинитовых, так и в карналлитовых породах. Для карналлитовых пород медианные и средние значения газоносности близки (около  $0,03 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ), что указывает на относительную равномерность распределения газов в этих породах, в отличие от сильвинитов, где изменчивость существенно выше. Диаграммы размаха газоносности по связанным газам сильвинитов и карналлитов в южной части Верхнекамского месторождения калийных солей представлены на рис. 3.



**Рис. 3.** Диаграммы размаха газоносности по связанным газам сильвинитов и карналлитов в южной части Верхнекамского месторождения калийных солей: 1 – межквартильный размах (25-75-й процентиль), 2 – границы размаха данных, 3 – медиана (50-й процентиль), 4 – среднее значение

Построение карт распределения газоносности выполнено на основе результатов лабораторных исследований керна геологоразведочных скважин. Анализ полученных данных показывает, что газоносность соляных пластов по связанным газам характеризуется высокой изменчивостью как по исследуемой площади, так и по стратиграфическому разрезу. Как видно на рис. 4, прослеживается тенденция увеличения газоносности в направлении восточной границы Романовского участка и южной границы Вогульского участка.

Из общей закономерности выделяются две скважины Романовского участка (№ 2001 и 2003), в которых по всему интервалу исследования (от пласта КрIII до пласта В) зафиксированы пониженные значения газоносности – в среднем около  $0,02 \text{ м}^3/\text{м}^3$ . Особый интерес представляют образцы из пласта Б скважин № 2205 и 2206, представленные пёстрым сильвинитом. Газоносность данных образцов превышает средний фон, что, вероятно, связано с процессами сильвинитизации карналлитовых пород: за исключением пласта Б по всему интервалу преобладают низкие значения газоносности ( $\bar{X} = 0,022 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ). Выделяются два образца с аномально высокими значениями газоносности, отклоняющимися от общей тенденции: образец из пласта КрIII скважины 2021 (газоносность, которого составляет  $0,079 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ), представленный сильвин-галитовым составом, и образец из пласта Б скважины 2020 (газоносность, которого составляет  $0,062 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ), представленный галопелитовой породой. Особенность заключается в том, что оба образца относятся к литологическим типам, для которых характерны низкие значения газоносности (в среднем ниже  $0,04 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ).



**Рис. 4.** Распределение газоносности по связанным газам в породах соляных пластов в южной части Верхнекамского месторождения калийных солей:  
1 – геологоразведочная скважина, 2 – граница участков, 3 – наименование пласта

### Заключение

Исследование газоносности соляных пород по связанным газам в южной части Верхнекамского месторождения показало, что распределение газа как по площади исследуемого участка, так и по разрезу является неравномерным. Отдельные участки и образцы характеризуются повышенными показателями газоносности, что свидетельствует об особенностях локальных геологических процессов, влияющих на аккумуляцию газа. При этом выявленное распределение носит региональный характер, что подчеркивает необходимость учета характеристик каждого пласта при оценке масштаба и характера выделения газов и планировании разработки месторождения. Наиболее газоносными породами по всему разрезу от пласта КрIII до пласта В являются породы Богучанского участка, что, по-видимому, связано с эпигенетическими процессами в соляном породном массиве.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Морачевский Ю.В., Самарцева А.Г., Черепенников А.А. Газоносность толщи калийных солей Верхнекамского месторождения // Калий. – 1937. – № 7. – С. 24-31.
2. Несмелова З.Н. Газоносность соляной толщи Березниковского калийного рудника: автореф. дис. ...к.г-м.н. – Л., 1956. – 14 с.
3. Полянина Г.Д., Земсков А.Н., Красюк Н.Ф. Некоторые данные о газоносности соляных пород Второго Соликамского рудника // Вентиляция шахт и рудников. – 1976. – № 3. – С. 57.
4. Черепенников А.А., Божовская Т.К. Исследование газоносности Третьего калийного горизонта Первого Солигорского рудника // Вопросы разработки месторождений калийных солей: сб. ст. – Л., 1969. – С. 135. – (Тр.ВНИИГ, вып. 51).

5. Земсков А.Н., Кондрашев П.И., Травникова Л.Г. Природные газы калийных месторождений и меры борьбы с ними. – Пермь: Тип. Купца Тарасова, 2008. – 412 с.: ил., табл.
6. Андрейко С.С., Иванов О.В., Нестеров Е.А., Литвиновская Н.А. Исследование газоносности продуктивных калийных пластов на новых участках шахтных полей калийных рудников ОАО «Уралкалий» и ОАО «Сильвинит» // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2010. – № 4. – С. 186-190.
7. Андрейко С.С., Иванов О.В., Нестеров Е.А., Головатый И.И., Береснев С.П. Исследование газоносности соляных пород третьего калийного пласта на шахтном поле Краснослободского рудника // Горн. журн. – 2013. – № 6. – С. 69-73.
8. Андрейко С.С., Лукьянец Е.В. Анализ факторов газоносности и тектонического строения сильвинитовых пластов в надвиговых и сдвиговых зонах шахтных полей рудников БКПРУ-2 и БКПРУ-4 ПАО «Уралкалий» // Вестн. Кузбасского гос. технич. ун-та. – 2017. – № 6. – С. 31-41.
9. Андрейко С.С., Бобров Д.А., Нестеров Е.А., Лукьянец Е.В. Оценка газоносности и газодинамических характеристик пород соляных и глинисто-карбонатных пачек на шахтном поле рудника второго рудоуправления ОАО «Беларуськалий» // Недропользование. – 2020. – Т. 20, № 3. – С. 270-279. – DOI: 10.15593/2712-8008/2020.3.7.
10. Андрейко С.С., Иванов О.В., Лялина Т.А., Нестеров Е.А. Газоносность по свободным газам пород сильвинитовой и сильвинито-карналлитовой зон Верхнекамского месторождения // Горная промышленность. – 2021. – № 4. – С. 125-133. – DOI: 10.30686/1609-9192-2021-4-125-133.
11. Андрейко С.С., Чайковский И.И., Нестеров Е.А., Папулов А.С. Экспериментальные исследования газоносности пластов сильвинит-карналлитового состава в условиях Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей // Горный журнал. – 2023 – № 11. – С. 89-93. – DOI: 10.17580/gzh.2023.11.15.
12. Иванов О.В. Оценка газоносности пластов А, Б, В, КР1, КР2, КР3 по связанным газам в скважинах на шахтном поле южного рудника СКРУ-2 ПАО «Уралкалий» // Горное эхо. – 2021. – № 1 (82). – С. 109-115. – DOI: 10.7242/echo.2021.1.20.

УДК 622.4

DOI:10.7242/echo.2025.3.9

## МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИММЕТРИЧНОЙ ПРОДОЛЬНОЙ ДИСПЕРСИИ ВРЕДНЫХ ПРИМЕСЕЙ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

М.А. Семин  
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

**Аннотация:** Рассмотрено моделирование переноса вредных примесей в системах горных выработок с учётом асимметрии продольной дисперсии. Показано, что классическое одномерное конвективно-диффузионное уравнение не отражает наблюдаемую несимметрию фронта примеси, возникающую из-за неоднородности поля скоростей воздушного потока. Для корректного описания эффекта продольной дисперсии предложено использовать подход аномальной диффузии. Рассмотрены три варианта его реализации: применение фракционных производных, учёт анизотропной дисперсии и введение временного запаздывания. Сравнение показало, что последний подход наиболее адекватно описывает асимметричный характер распространения примеси вдоль выработки.

**Ключевые слова:** рудничная вентиляция, продольная дисперсия, аномальная диффузия, фракционное дифференцирование, анизотропная дисперсия.

Перенос концентрации вредных примесей  $C$  (а также других скалярных характеристик потока) по произвольным системам горных выработок в рудничной вентиляции обычно описывается с использованием одномерного конвективно-диффузионного уравнения [1, 2]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial C U}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial C}{\partial x} \right), \quad (1)$$

где  $t$  – время,  $x$  – координата по пространству,  $U$  – средняя скорость потока воздуха в сечении горной выработки, а  $D$  – коэффициент продольной дисперсии.