

# РУДНИЧНАЯ АЭРОГАЗОДИНАМИКА И ГОРНАЯ ТЕПЛОФИЗИКА

УДК 622.831.322

DOI:10.7242/echo.2025.4.7

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА СВОБОДНЫХ И СВЯЗАННЫХ ГАЗОВ В ПОРОДАХ КАЛИЙНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

О.В. Иванов

*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация:** Представлены объёмы многолетних исследований на газовых хроматографах компонентного состава свободных и связанных газов, отобранных из пород различных месторождений. Выполнен количественный анализ отобранных проб свободных и связанных газов, представлен перечень объектов исследований. Дана сравнительная характеристика компонентного состава свободных газов, отобранных при бурении геологоразведочных скважин с поверхности, на Верхнекамском и Гремячинском месторождениях калийных солей.

**Ключевые слова:** месторождение калийно-магниевых солей, газоносность пород, свободные и связанные газы, компонентный состав, газовый хроматограф.

### Введение

Анализ компонентного состава свободных и связанных газов с 2009 года выполнялся с применением научно-учебного измерительного комплекса на базе вузовско-академической кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» горно-нефтяного факультета ПНИПУ. Данный комплекс предназначен для определения компонентного состава, а также газоносности пород по свободным и связанным газам методом механического измельчения, и включает газовый хроматограф 450-GC компании «Varian», щековую дробилку, планетарно-шаровую мельницу с системой оперативного контроля давления и температуры «Retsch».

### Методика проведения исследований

Определение компонентного состава свободных и связанных газов заключается в следующем. Для свободных газов – выполняется только анализ компонентного состава на газовом хроматографе проб газов, выделившихся в процессе бурения шпуров или скважин непосредственно в подземных горных выработках. Для связанных газов – с использованием щековой дробилки и планетарно-шаровой мельницы образцы пород разрушаются до микрометра, выделившийся при этом газ также анализируется на газовом хроматографе. Оценка компонентного состава свободных и связанных газов проводится в соответствии с ГОСТ 31371.7-2020 «Газ природный. Определение состава методом газовой хроматографии с оценкой неопределенности». Используемый тип хроматографа обладает сертификатом об утверждении типа средств измерений под № 25231, зарегистрированным в Государственном реестре средств измерений под № 39087-08, допущен к применению в Российской Федерации. Хроматограф имеет свидетельство о поверке № С-ВН/24-06-2025/442742695. Для калибровки прибора применяется метод абсолютной калибровки, заключающийся в вычислении объёмной доли компонентов газа путем сравнения площадей, соответствующих компонентов на хроматограммах испытуемого газа и градуировочной газовой смеси, записанных при одинаковых условиях испытания.

### Результаты проведенных исследований

Всего с 2009 по 2024 год проведено 3941 исследование компонентного состава свободных и связанных газов, из них 2346 (60%) по связанным газам и 1595 (40%) по свободным газам. На рисунке 1 представлена диаграмма количества выполненных с использованием научно-учебного комплекса анализов компонентного состава свободных и связанных газов по годам. Диаграмма наглядно показывает рост количества выполненных замеров – от 54 в 2014 году до 515 в 2023 году. Ежегодно в среднем выполнялось порядка 100 исследовательских анализов компонентного состава свободных газов и около 150 – связанных газов.

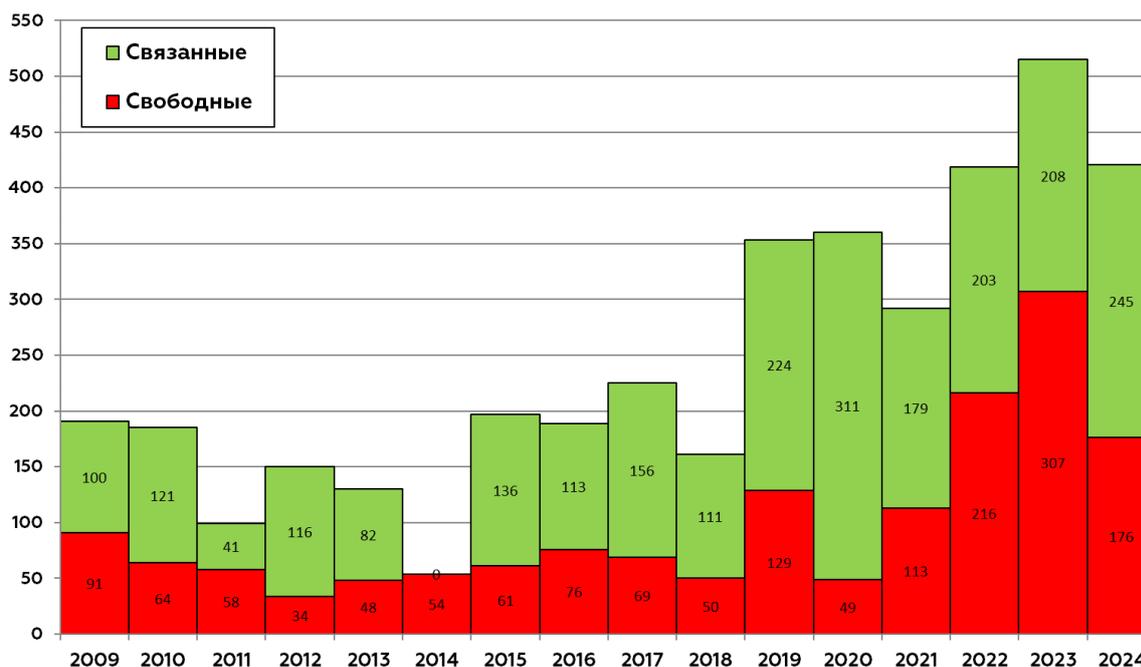


Рис. 1. Объём проведённых исследований с 2009 по 2024 годы

География объектов исследований весьма широка и разнообразна: в первую очередь, как наиболее многочисленные, разрабатываемые участки и проектируемые к разработке ПАО «Уралкалий»: Половодовский, Южный участок СКРУ-2, Романовский, Вогульский, Изверский; участки ООО «ЕвроХим-УКК»: Палашерский, Белопапшенский; участки АО «ВКК»: Талицкий, Восточно-Талицкий; участки ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий»: Гремячинский, Равнинный, Даргановский, Восточно-Гремячинский; планируемые к разработке участки ООО «ЕвроХим-СаратовКалий»: Западно-Перелюбский, Восточно-Целинный, Западно-Иванихинский, Центрально-Иванихинский, Восточно-Перелюбский, Западно-Целинный; рудники АК «Алроса»: «Интернациональный» и «Удачный»; рудники ПАО «ГМК «Норильский никель»: «Октябрьский», «Таймырский», «Комсомольский», «Скалистый» и «Маяк»; месторождения, разрабатываемые ОАО «Беларуськалий»: Старобинское и Петриковское; нефтяные шахты № 1, 2 и 3 НШУ «Яреганефть»; Пешеланская гипсовая шахта ООО ПГЗ «Декор-1»; перспективное Якшинское калийное месторождение, а также месторождения калийных солей Тюбегатан (Узбекистан), Жилианское и Сатимола (Казахстан).

Проведенные исследования компонентного состава свободных и связанных газов позволяют дать сравнительную оценку газоносности одинаковых пород различных участков или месторождений. К примеру, сравнение компонентного состава из-за наибольшего количества исследований, порядка 230 замеров, выполнено на Верхне-

камском и Гремячинском месторождениях калийных солей. При этом для сравнительной оценки пород этих месторождений отобраны только пробы свободных газов, выделенных при бурении геологоразведочных скважин с поверхности.

Так, в таблице 1 представлен средний компонентный состав свободных газов по породам и лицензионным участкам. В скважинах Талицкого участка пробы выделенного при бурении свободного газа отбирались только по сильвинитовым породам.

**Таблица 1**

Компонентный состав связанных газов по породам и участкам (об. %)

№	Участок	Порода	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	i-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	n-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	N <sub>2</sub>
1	Гремячинский	галит	3,52	-	1,210	2,052	0,609	0,758	0,382	0,258	91,16
		сильв.	2,40	0,02	0,599	0,393	0,283	0,289	0,195	0,145	95,63
		карн.	2,69	0,34	0,346	0,275	0,198	0,195	0,142	0,099	95,66
2	Талицкий	сильв.	3,58	0,02	2,179	1,611	0,868	1,003	0,977	0,389	89,33
3	Половодовский	галит	4,45	0,06	1,871	0,734	0,181	0,303	0,331	0,044	92,03
		сильв.	14,73	1,06	2,511	0,574	0,154	0,193	0,153	0,022	80,61
		карн.	18,58	2,76	2,910	0,605	0,150	0,156	0,100	0,009	74,74
4	Белопашненский	галит	0,62	0,42	0,130	0,076	0,043	0,032	0,027	0,013	98,91
		сильв.	9,57	1,52	0,862	0,200	0,111	0,115	0,079	0,042	87,78
		карн.	10,62	2,48	1,232	0,348	0,167	0,127	0,108	0,033	85,51
	Среднее		7,08	0,96	1,385	0,687	0,276	0,317	0,249	0,105	89,14

Представленный анализ компонентного состава свободных газов соляных пород на всех участках показал, что он по своему типу метаново-азотный. Различием в составе газов в сильвинитовых и карналлитовых породах является различное содержание метана. В свободных газах в галите Белопашненского участка содержание метана составляет 0,62%, а в карналлите Половодовского участка – 18,58%, в среднем составляя 7,08%. Таким же образом изменяется содержание водорода в компонентном составе свободных газов: в сильвинитах Гремячинского и Талицкого участков – 0,02%, 2,76% в карналлитах Половодовского участка, в среднем составляя 0,96%. В составе свободных газов, отобранных из галита Гремячинского участка, водород не обнаружен.

Ниже на рисунках 2-4 представлены диаграммы распределения содержания метана (CH<sub>4</sub>) и суммарного содержания углеводородов метанового ряда (C<sub>2</sub>+C<sub>3</sub>) в компонентном составе свободных газов по породам и участкам.

Представленные ниже диаграммы наглядно показывают, что максимальное значение суммарного содержания метана и водорода (25,56%) отмечено в составе свободных газов в карналлите, а минимальное значение (2,41%) – в каменной соли Белопашненского участка ВКМКС. По суммарному содержанию углеводородов метанового ряда (C<sub>2</sub>+C<sub>3</sub>) максимальное значение в 7,027% фиксируется в сильвинитовых породах Талицкого участка, минимальное значение (0,922%) – отмечается в карналлитовых породах Половодовского участка. Содержание азота в компонентном составе свободных газов изменяется от 72,76% до 96,38%, причем как максимальное, так и минимальное значения отмечены на Белопашненском участке в каменной соли и карналлите, соответственно.

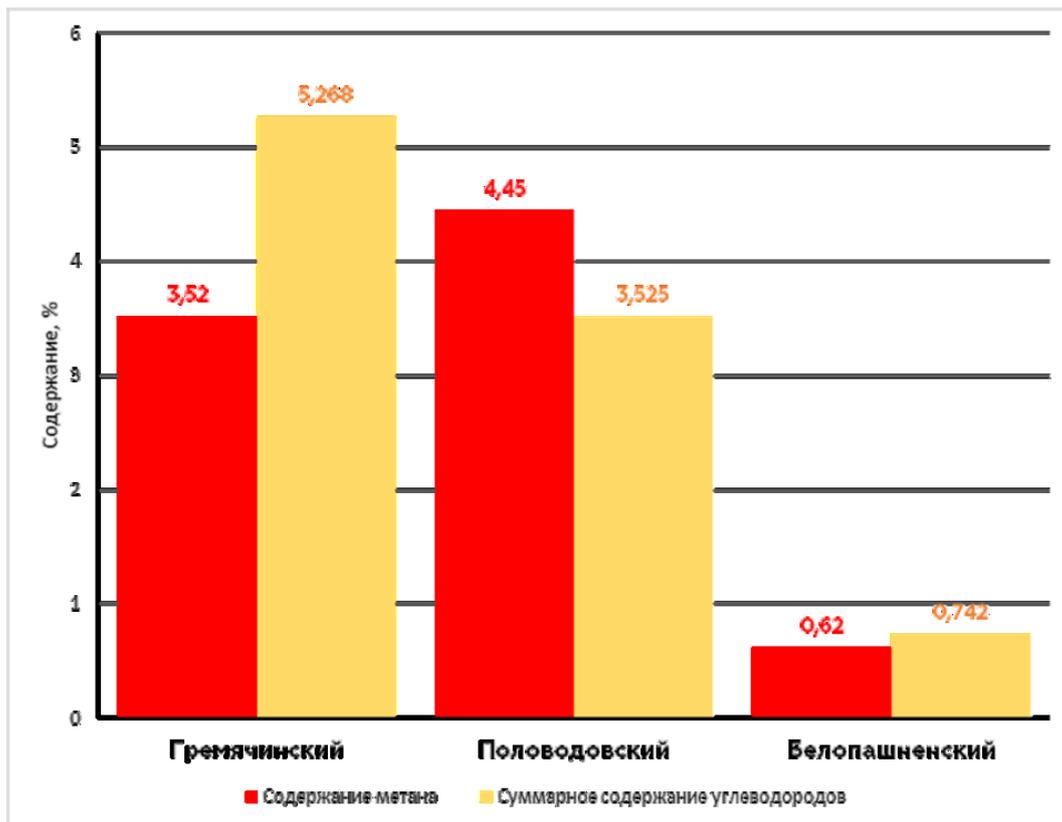


Рис. 2. Диаграмма распределения по участкам в компонентном составе свободных газов содержания метана (CH<sub>4</sub>) и суммарного содержания углеводородов метанового ряда (C<sub>2</sub>+C<sub>5</sub>) в каменной соли

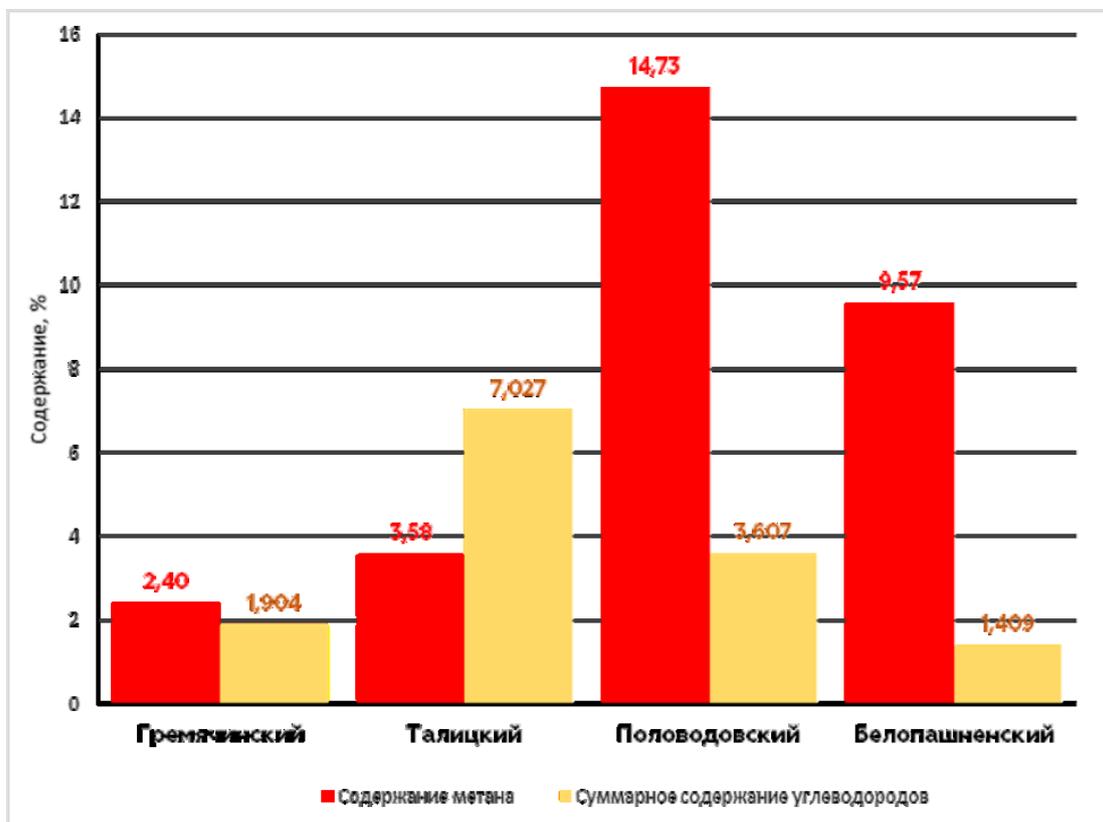


Рис. 3. Диаграмма распределения по участкам в компонентном составе свободных газов содержания метана (CH<sub>4</sub>) и суммарного содержания углеводородов метанового ряда (C<sub>2</sub>+C<sub>5</sub>) в сильвините



Рис. 4. Диаграмма распределения по участкам в компонентном составе содержания метана ( $\text{CH}_4$ ) и суммарного содержания углеводородов метанового ряда ( $\text{C}_2+\text{C}_3$ ) свободных газов в карналлите

### Заключение

В настоящее время накопленный опыт проведения исследований компонентного состава свободных и связанных газов позволяет предварительно дать оценку газоносности исследуемых пород, выполнить сравнительную оценку компонентного состава газов различных участков или месторождений, а также подготовить данные для прогноза газодинамической опасности разрабатываемых пластов. По результатам сравнительного анализа компонентного состава свободных газов, выделившихся из пород в процессе бурения поверхностных геологоразведочных скважин на разных участках, а также месторождениях, можно сделать вывод, что содержание метана и суммарное содержание углеводородов метанового ряда в компонентном составе из сильвинитовых и карналлитовых пород Гремячинского месторождения в 7-10 раз ниже, чем из тех же пород Верхнекамского месторождения. Зато в компонентном составе свободных газов, выделившихся из каменной соли Гремячинского месторождения, преобладает суммарное содержание углеводородов метанового ряда, что практически в 2 раза выше, чем в аналогичных породах Верхнекамского месторождения.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иванов О.В. Научно-учебный измерительный комплекс для изучения газоносности горных пород по связанным газам // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 10 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2012. – С. 223-225.
2. Медведев И.И., Полянина Г.Д. Газовыделения на калийных рудниках. – М.: Недра, 1974. – 163 с.
3. 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.
4. 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.

5. Андрейко С.С., Калугин П.А., Щерба В.Я. Газодинамические явления в калийных рудниках: Генезис, прогноз и управление / под. ред. В.Я. Прушака. – Минск: Выш. шк., 2000. – 335 с.: ил.
6. Андрейко С.С. Газодинамические явления в калийных рудниках: методы прогнозирования и способы предотвращения: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во. ПГТУ, 2007. – 208 с.
7. Андрейко С.С., Иванов О.В., Литвиновская Н.А. Прогнозирование и предотвращение газодинамических явлений из почвы при проходке подготовительных выработок в подработанном массиве соляных пород. – Пермь: изд-во ПНИПУ, 2015. – 159 с.
8. Андрейко С.С., Иванов О.В., Нестеров Е.А. Борьба с газодинамическими явлениями при разработке Верхнекамского и Старобинского месторождений калийных солей // Науч. исслед. и инновации. – 2009. – Т. 3, № 4. – С. 34-37.
9. Андрейко С.С., Литвиновская Н.А. Локальный прогноз зон, опасных по газодинамическим явлениям из почвы горных выработок пласта АБ на южной части шахтного поля БКПРУ-4 Верхнекамского месторождения калийных солей // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № 4. – С. 205-211.

УДК 66.045.3

DOI:10.7242/echo.2025.4.8

## ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Я.Д. Кузнецов

*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация:** Выполнен сравнительный анализ теплофизических свойств основных классов теплоизоляционных материалов с выделением ключевых зависимостей. Экспериментальная часть исследования включает лабораторные испытания образцов конструкционного бетона, композиционного материала на бетонной основе с теплоизоляционной прослойкой и отдельного теплоизоляционного компонента. Полученные результаты дают основу для выбора и проектирования эффективных теплоизоляционных решений при креплении горных выработках в условиях повышенных температур массива горных пород.

**Ключевые слова:** тепловой режим, теплоизоляция, композиционный материал, теплофизические свойства, теплоемкость, теплопроводность, плотность.

Следствием разработки месторождений на большой глубине и эксплуатации высокопроизводительной техники является прогрессирующий нагрев рудничной атмосферы, что ухудшает микроклиматические условия в рабочих зонах [1]. Ярким примером являются условия шахты «Глубокая» рудника «Скалистый» ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель», где температура массива способна достигать 49,4°С при глубине ведения горных работ более 1500 метров. В таких экстремальных условиях традиционные горнотехнические методы охлаждения воздуха не способны сильно повлиять на снижение температуры, что может привести к значительному ухудшению микроклимата в выработках, снижению производительности труда и созданию прямых угроз для безопасности горнорабочих.

Согласно требованиям пункта 156 «Правил безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых», температура воздуха в забоях подготовительных и очистных выработок и на рабочих местах с постоянным присутствием персонала не должна превышать +26°С [2]. При температуре воздуха свыше допустимой должно предусматриваться его охлаждение.

Ключевым направлением в решении проблемы повышенной температуры воздуха является применение специальных строительных материалов крепи и теплоизоляции горных выработок. Эффективность таких материалов, включающих композиционные структуры на основе бетона с интегрированной теплоизоляционной прослойкой,