

## ГОРНОЕ ДЕЛО

УДК 622.363.2

© Андрейко С.С., Гайсина Э.Р.,  
Красильникова К.А., Пачгин В.В., 2013

### ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОНОСНОСТИ СОЛЯНЫХ ПОРОД ПО СВЯЗАННЫМ ГАЗАМ НА НОВЫХ УЧАСТКАХ ШАХТНЫХ ПОЛЕЙ РУДНИКОВ ОАО «УРАЛКАЛИЙ»

**С.С. Андрейко\***, **Э.Р. Гайсина**, **К.А. Красильникова**, **В.В. Пачгин**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь, Россия

\*Горный институт Уральского отделения Российской академии наук,  
Пермь, Россия

Известно, что при проходке подготовительных выработок и ведении очистных горных работ на сильвинитовых пластах происходят газовыделения и газодинамические явления из разрабатываемых пластов и вмещающих пород, которые существенно снижают безопасность ведения горных работ и представляют серьезную угрозу жизни шахтеров. В связи с этим для обеспечения безопасности ведения горных работ в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей проводились экспериментальные исследования газоносности связанных газов в породах продуктивной толщи.

Предметом исследования является газоносность соляных пород по связанным газам на новых участках шахтных полей рудников Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС).

Количественные данные о газоносности продуктивных пластов и вмещающих пород используются при разработке и корректировке методики прогноза зон, опасных по ГДЯ. Кроме этого, результаты выполненных экспериментальных исследований будут использоваться при оценке газовой опасности продуктивных пластов.

Нами проводились исследования газоносности соляных пород по связанным газам (внутрикристаллическим, межкристаллическим и сорбированным).

Проведенные экспериментальные исследования позволили установить, что средняя газоносность соляных пород по связанным газам на шахтных полях рудников ВКМКС весьма значительна. Максимальные значения газоносности по связанным газам зафиксированы в сильвинитово-карналлитовом горизонте. Вниз по геологическому разрезу значения газоносности по связанным газам снижаются. Для безопасного ведения подготовительных и очистных горных работ на территории ВКМКС необходим комплекс мер по прогнозированию и предотвращению газодинамических явлений, а также локализации их последствий.

**Ключевые слова:** месторождение калийных солей, шахтное поле, очистные горные работы, безопасность, газоносность, газодинамические явления, связанные газы, растворение, усадка породы, газовый объеммер, газовое давление.

### INVESTIGATION OF SALT ROCKS GAS BEARING ACCORDING TO THE TIGHT GASES ON NEW AREAS OF MINE FIELDS OF OJSC "URALKALI"

**S.S. Andreiko\***, **E.R. Gaisina**, **K.A. Krasil'nikova**, **V.V. Pachgin**

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

\*Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Perm, Russian Federation

It is known that during drilling of development workings and mining clearing conducting of silvinit layers gassing and gasdynamic phenomena occur from the developed reservoirs and enclosing rocks, which significantly reduce the safety of mining operations and represent a serious threat to the lives of the miners. In this regard, to ensure the safety of mining operations in the conditions of Verkhnekamskoe deposit of potash salts experimental studies of tight gases gas-bearing in rocks of the productive strata were performed.

The subject of this study is salt rock gas-bearing on tight gases at new areas of Verkhnekamskoe deposit of potash salts.

Quantitative data about the gas-bearing of productive formations and enclosing rocks are used in the development and adjustment of the forecast methodology zones dangerous because of gasdynamic phenomena. In addition, the results of the pilot studies will be used to assess the danger of productive gas reservoirs.

We carried out studies of the salt rock gas-bearing on tight gases (intracrystalline, intercrystalline and adsorbed).

The experimental results revealed that the average salt rock gas-bearing on tight gases on mines of Verkhnekamskoe deposit of potash salts is very significant. Maximum values of the gas-bearing on tight gases are fixed in the silvinit-carnallite horizon. Down the geological section value of the gas-bearing on tight gases are reduced. For safe conduct of preparatory clearing and mining operations on the territory of Verkhnekamskoe deposit of potash salts it is necessary to develop a set of measures to predict and prevent the gas-dynamic phenomena, as well as localization of their consequences.

**Keywords:** potash salt deposit, mine field, clearing mining operations, security, gas-bearing, gas-dynamic phenomena, tight gases, dissolution, rock shrinkage, gas piston meter, gas pressure.

## Введение

Многолетняя практика ведения горных работ на сильвинитовых пластах Верхнекамского месторождения калийных солей показала, что разрабатываемые пласты являются опасными по газу и газодинамическим явлениям [1–3].

Тенденция роста мирового потребления калийных удобрений в последнее десятилетие привела к увеличению добычи калийных солей. Интенсивные газовыделения в атмосферу горных выработок приводят к возникновению аварийных ситуаций в виде вспышек, загораний и взрывов горючих газов, которые иногда приводят к травмированию и гибели шахтеров. Помимо аварийных ситуаций на режим ведения горных работ существенно влияют длительные остановки в связи с загазованием забоев. На некоторых участках Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС) разрабатываются калийные пласты, представленные пестрым сильвинитом. В этом случае при ведении горных работ наряду с горючими газами в атмосферу горных выработок выделяются такие ядовитые газы, как сероводород и оксид углерода. Выделения ядовитых газов также приводят к длительным остановкам горных работ [4].

Природные опасности в калийных рудниках, такие как газовыделения горючих и ядовитых газов, а также газодинамические явления, определяются газовым фактором массива соляных пород. Одной из основных количественных характеристик газового фактора является газоносность соляных пород, и точное определение газоносности является одним из важнейших элементов при разработке способов борьбы с природными опасностями в калийных рудниках [5–8]. Данные о газоносности калийных пластов используются при определении газовой опасности в рабочих зонах, а также на стадиях регионального и локального прогнозирования зон, опасных по газодинамическим явлениям, при разведке и разработке Верхнекамского калийного

месторождения. Необходимость определения газоносности калийных пластов регламентируется действующими нормативными документами, определяющими безопасные условия ведения горных работ при подземной разработке калийных пластов. Научное значение исследований по изучению газоносности калийных пластов заключается в получении новых данных о закономерностях распределения природных газов по площади и геологическому разрезу месторождения, которые позволяют разрабатывать научно обоснованные способы борьбы с природными опасностями, обусловленными газовым фактором [9–11]. Практическое значение исследований газоносности заключается в использовании количественных данных для определения газовой и газодинамической опасности, что позволяет существенно повысить безопасность ведения горных работ [12–16].

Газоносность продуктивных пластов Верхнекамского месторождения изучалась в 70–90-х гг. прошлого века сотрудниками Пермского политехнического института Г.Д. Поляниной, Н.Ф. Красюком, А.Н. Земсковым, Ю.А. Виноградовым, И.И. Трапезниковым [4, 17–20].

В настоящее время изучением газоносности соляных пород занимаются сотрудники Горного института Уральского отделения Российской академии наук. За последние 10 лет был выполнен значительный объем исследований по данной теме [21–25].

В связи с этим для обеспечения безопасности ведения горных работ в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей нами проводились экспериментальные исследования газоносности соляных пород по связанным газам в условиях рудников ВКМКС.

## Методики определения газоносности соляных пород

Природные газы делятся на две группы по методике их извлечения из пород:

– газы, самостоятельно выделяющиеся в свободную фазу за счет падения

внешнего пластового давления до атмосферного;

– газы, извлеченные принудительно каким-либо способом.

При изучении газоносности соляных пород принято использовать методы прямого и косвенного определения газосодержания в породах пластов [26–30]. Косвенные методы заключаются в определении общей газоносности соляных пород при изучении газообильности горных выработок. Прямые методы заключаются в раздельном определении газоносности по свободным и связанным газам [18].

По характеру связи с соляной породой газы подразделяются на свободные и связанные. Свободные газы находятся в открытых макропорах и трещинах породы под давлением, которое может достигать величины литостатического давления. Связанные газы заключены в виде микроскопических пузырьков внутри кристаллов соляных пород (внутрикристаллические газы) и в закрытых микропорах между кристаллами (межкристаллические газы), а также находятся в сорбированном состоянии на поверхности кристаллов, пор и трещин [17].

Газоносность породы определяется объемом газа, приходящимся на единицу массы или объема породы, и его компонентным составом [17].

#### **Методика определения газоносности пород по свободным газам**

Газоносность соляных пород по свободным газам изучается путем отбора проб и замеров характеристик выделяющихся шпуровых газов [18].

В свежееобнаженную стенку бурят шпур длиной 1 м. Шпур герметизировали на глубине 0,5 м газозатвором, например ЗГ-1. Измерение газового давления производили микроманометрами или расходомерами (дрессельным расходомером ПГ-2МА и др.).

По окончании первого цикла замеров шпур углубляют до 1,5 м и герметизируют на глубине 1 м и т.д. При длине шпура 2–3 м

получают 3–5 значений газовыделения. Определяют их среднюю величину.

Отношение величины газовыделения к объему зоны дренирования вокруг шпура дает величину газоносности [18]. Аналогичным образом бурят шпур в противоположную стенку выработки и осуществляют соответствующие замеры. Среднеарифметическое значение по двум шпурам дает показатель газоносности в данной точке пласта.

Для определения компонентного состава газа, выделившегося из шпура, периодически в стеклянные вакуумированные емкости или резиновые камеры отбирают пробы газовой смеси из шпура [18]; или же определяют на месте с помощью переносных хроматографических газоанализаторов типа ХПМ-4 и др.

#### **Методика определения газоносности соляных пород по связанным газам**

Основными методами извлечения из пород газов закрытых пор являются растворение, вакуумирование с подогревом породы, механическое измельчение. Для выделения микровключенных газов методом растворения используется специальная высоковакуумная установка, созданная во Всероссийском нефтяном научно-исследовательском геологоразведочном институте (г. Санкт-Петербург), состоящая из сосуда для растворения, дефлегматора, колбы с раствором поваренной соли [18]. Для контроля давления в растворяющей части установки в систему впаивают ртутный манометр. Смазкой стеклянный кран отделяет растворяющую часть системы через осушитель от высоковакуумной системы, состоящей из ртутного насоса Мак-Леода с измерительной бюреткой емкостью около 10 мл. Баллончик с активированным углем используется в качестве сорбционного насоса (рис. 1).

Перед проведением эксперимента насос Мак-Леода и манометр заполняются сухой ртутью. Через кран 4 предварительно откачивается атмосферный воздух форвакуумным насосом ( $p = 1 \text{СН мм рт. ст.}$ ).

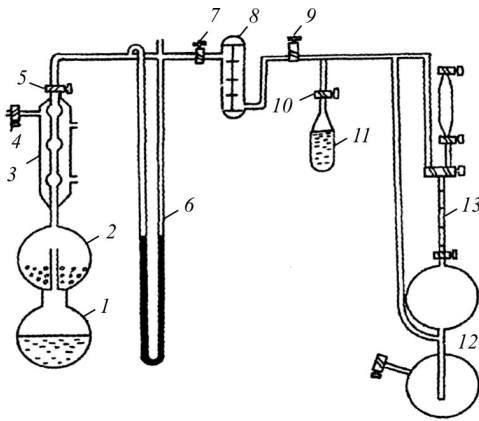


Рис. 1. Установка для извлечения газов из соляных пород: 1, 2 – емкости для растворения; 3 – дефлегматор; 4, 5, 7, 9, 10 – стеклянные смазные краны; 6 – манометр; 8 – осушитель; 11 – угольный сорбционный насос; 12 – насос Мак-Леода; 13 – измерительная бюретка

Более высокий вакуум ( $p = 10^{-4}$  мм рт. ст.) достигается угольным насосом 11. Установка проверяется на герметичность по манометрам 6, 12 в течение 5 ч.

Затем краны 4, 7 закрываются, и измельченная проба в количестве 100–150 г загружается в колбу 1. В нижнюю часть сосуда 1 заливается раствор поваренной соли (80–100 мм). Сосуд для растворения через шлиф соединяется с дефлегматором 3. Через кран 4 форвакуумным насосом откачивается атмосферный воздух.

Растворяющая часть системы проверяется на герметичность по манометру 6. Под нижнюю колбу сосуда для растворения подводится горячая водяная баня. В течение 5–7 мин установка продувается горячим паром. Опытным путем установлено, что за это время поверхность соли практически освобождается от сорбированного нацией воздуха. После этого можно приступить к растворению образца. Включается дефлегматор. Пары воды, конденсируясь в дефлегматоре, стекают в колбу 1, растворяют соль и через стеклянную сетку в дне колбы вновь попадают в колбу 1. Циркуляция воды в сис-

теме продолжается до полного растворения навески в течение 2–3 ч.

Наличие выделившегося из соли газа фиксируется манометром 6. После растворения соли водяная баня убирается, открываются краны 7, 9 и выделенный газ через осушитель откачивается насосом Мак-Леода в измерительную бюретку 13, где его объем может быть непосредственно определен при помощи манометра Мак-Леода.

Данный метод извлечения и количественного определения газа дает возможность получить абсолютные величины газосодержания соляных пород и избежать влияния многих факторов, обычно искажающих состав выделенных из солей газов [18]: например, наложение процессов сорбции-десорбции газа на породе, растворение газа в больших количествах воды, термический гидролиз карбонатов, окисление органических соединений [18].

### Описание газового объемомера ОГ-1М

Для выполнения экспериментальных исследований по оценке газоносности соляных пород по связанным газам использовался прибор для измерения усадки соляной породы и газовыделения из нее при растворении.

Общий вид газового объемомера ОГ-1М приведен на рис. 2. Конструктивно прибор состоит из герметично закрывающегося сосуда для растворения 5, DPI 740 1, держателя 4, соединительного трубопровода с двухходовым краном 2, дозирующего устройства 3.

Сосуд для растворения состоит из корпуса, герметично закрывающегося крышкой с прижимным устройством. Внутри сосуда размещается съемное промежуточное сетчатое днище и балласт-опора. В нижней части расположено сливное отверстие с пробкой. В верхней части имеются отверстия для подключения ниппеля и дозирующего устройства – насоса. Над промежуточным сетча-

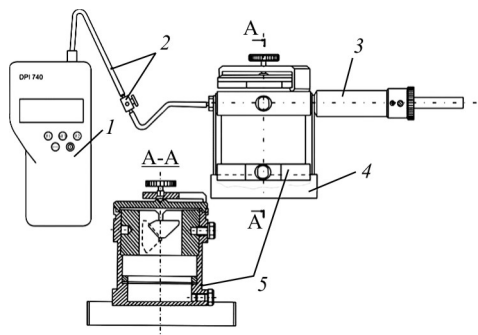


Рис. 2. Газовый объеммер ОГ-1М

тым дном в пазах балласта-опоры устанавливается лоток для пробы, который может свободно поворачиваться на  $90^\circ$  вокруг своей оси. Сосуд для растворения посредством ниппеля и соединительной трубки с двухходовым краном сообщается с DPI 740. С помощью дозирующего устройства – насоса – внутреннее пространство сосуда уменьшается или увеличивается на величину  $\Delta v$ , а соответствующее увеличение давления регистрируется манометром *I*. Также в комплекте: мерный стаканчик для пробы объемом 25–30 см<sup>3</sup>, мерный цилиндр для измерения растворителя объемом 300 см<sup>3</sup>, барометр-анероид, термометр для жидкости нормальный с ценой деления 0,1 °С.

### Принцип работы прибора

Методика проведения исследований заключается в следующем. Образцы исследуемой породы растворяют в газовом объеммере ОГ-1М.

С помощью дозирующего устройства – насоса – внутреннее пространство сосуда можно уменьшать или увеличивать на величину  $\Delta v$ .

В приборе при растворении пробы наблюдается ее усадка в растворе и выделение связанного газа в свободное пространство прибора (пространство, занятое воздухом). Усадка породы в пространстве определяется регистрацией приращения давления воздуха в приборе перед растворением и после полного растворения и последующим расчетом [4].

### Вывод приборной формулы

Как было отмечено выше, в процессе растворения пробы происходят ее усадка в растворе и выделение микровключенного газа в свободное пространство прибора. Таким образом, объем газа, выделившегося в свободное пространство прибора, можно представить в виде зависимости

$$V_{\Gamma} = \Delta V - V_{\text{ус}}, \quad (1)$$

где  $\Delta V$  – суммарное приращение объема свободного пространства прибора;  $V_{\text{ус}}$  – объем усадки породы в растворе.

Усадка породы в пространстве определяется регистрацией приращения давления воздуха в приборе перед растворением и после полного растворения и последующим расчетом. Объем газа можно представить в виде функции

$$V_{\Gamma} = f(\Delta V, P_1, P_2), \quad (2)$$

где  $P_1$  и  $P_2$  – полное давление воздуха в системе соответственно до и после растворения.

Полный дифференциал функции (2) имеет вид

$$dV_{\Gamma} = \frac{\partial V_{\Gamma}}{\partial \Delta V} d\Delta V + \frac{\partial V_{\Gamma}}{\partial P_1} dP_1 + \frac{\partial V_{\Gamma}}{\partial P_2} dP_2. \quad (3)$$

Частные производные определяются из уравнения Бойля – Мариотта и для данного прибора имеют вид

$$\frac{\partial V_{\Gamma}}{\partial \Delta V} = \frac{P_{\text{б}}}{P_1} + 1; \quad (4)$$

$$\frac{\partial V_{\Gamma}}{\partial P_1} = -\frac{P_{\text{б}} \Delta v}{P_1^2}; \quad (5)$$

$$\frac{\partial V_{\Gamma}}{\partial P_2} = -\frac{P_{\text{б}} \Delta v}{P_2^2}, \quad (6)$$

где  $P_{\text{б}}$  – барометрическое давление, Па.

После подстановки частных производных, интегрирования в пределах из-

менения аргументов  $P_1$  от 0 до  $\Delta p_1$ ,  $P_2$  от 0 до  $\Delta p_2$ ,  $\Delta V$  от 0 до  $\Delta v$   $\Delta P/(P_B + \Delta p_{II})$  и преобразования получим

$$dV_{\Gamma} = \frac{\Delta v}{\Delta p_1} \times \left[ P_B \left( \frac{\Delta p_1 - \Delta p_2}{\Delta p_2} \right) + \Delta p_{II} \left( \frac{P_B + \Delta p_1}{P_B + \Delta p_{II}} \right) \right], \quad (7)$$

где  $\Delta p_1$  и  $\Delta p_2$  – приращение давления газа в приборе при изменении его свободного пространства на  $\Delta v = \text{const}$ , Па;  $\Delta p_{II}$  – приращение давления газа в приборе, вызванное выделением газа и усадкой породы в растворе, Па.

В формуле (7)  $\Delta p_{II}$  подставляется со знаком минус при депрессии и знаком плюс при компрессии в приборе.

### Порядок проведения измерений

Прибор DPI 740 подсоединяется к сосуду для растворения резиновой трубкой с двухходовым краном. Проверяют герметичность системы, создавая избыточное давление. Если последнее остается постоянным в течение 5 мин, система считается герметичной.

Снимают крышку, извлекают лоток для пробы и мерным цилиндром заливают внутрь стакана 300 см<sup>3</sup> чистой воды при заданной температуре. После помещения в лоток пробы породы (буровой штыб 5 мм <  $\delta$  > 7 мм) его устанавливают в сосуд для растворения пробы в вертикальном положении. Сосуд закрывают крышкой и герметизируют прижимным устройством. Посредством двухходового крана внутреннее пространство сообщается с атмосферой, чем достигается выравнивание давления в системе. Затем кран устанавливают в положение, при котором внутреннее пространство сообщается с DPI 740. Посредством дозирующего устройства – насоса – внутреннее пространство прибора уменьшается (увеличивается) на величину  $\Delta v$ , которая для данного опыта или серии опытов принимается постоянной. При этом про-

исходит соответствующее приращение давления воздуха в системе  $\Delta p_1$ , пропорциональное  $\Delta v$ . Значения  $\Delta v$  и  $\Delta p_1$ , полученные в эксперименте, заносят в журнал.

Далее поршень дозирующего устройства устанавливают в первоначальное положение. Сосуд наклоняют относительно вертикальной оси держателя в сторону опрокидывания лотка, пробу опускают в растворитель. Растворение соляной породы вызывает ее фазовое превращение и способствует выделению микровключенных газов в атмосферу прибора, что отражается на изменении давления внутри него. Растворение пробы происходит в верхнем слое растворителя, что вызывает двойкий положительный эффект:

- достигается сравнительно быстрое растворение пробы (5–10 мин) без перемешивания раствора;

- существенное снижение растворения газов породы соляным раствором. После полного растворения пробы регистрируют и заносят в журнал величину  $\Delta p_{II}$ . Краном снова устанавливают давление внутри прибора, равное атмосферному, и затем кран закрывают. Внутреннее пространство прибора уменьшают на величину приращения объема  $\Delta v$  и снимают соответствующее значение избыточного давления  $\Delta p_2$ . При помощи DPI 740 регистрируют величину атмосферного давления  $P_B$ . Полученные результаты подставляют в формулу и подсчитывают объем свободно выделившегося из пробы газа.

### Результаты измерения газоносности соляных пород по связанным газам

Исследования по определению газоносности соляных пород по связанным газам проводились в условиях рудников СКРУ-2, СКРУ-3 и БКПРУ-4.

Экспериментальные исследования по определению газоносности соляных пород по связанным газам в условиях рудника СКРУ-3 ВКМКС проводились на 100 образцах керна, отобранных из скважин 755а, 764 а, 766 в соответствии с приведенной методикой.

Таблица 1

Газоносность соляных пород в условиях рудника СКРУ-3 ВКМКС по связанным газам,  $\text{м}^3/\text{м}^3$

Пласт	Минимальное	Максимальное	Среднее
Г	0,103	0,901	0,333
В	0,043	0,456	0,294
Б	0,035	0,699	0,235
А	0,056	0,423	0,201
КрI	0,058	0,446	0,194
КрII	0,015	0,339	0,179
КрIII	0,019	0,575	0,224

Результаты исследования газоносности в образцах керна выделившихся связанных газов из образцов пород в скважинах представлены в табл. 1. Как видно из табл. 1, для образцов пород из скважин рудника СКРУ-3 газоносность по связанным газам изменяется от  $0,015 \text{ м}^3/\text{м}^3$  (пласт Кр2 сл 1, скв. № 755а) до  $0,901 \text{ м}^3/\text{м}^3$  (пласт Г, скв. № 764а). Среднее значение газоносности пород по связанным газам изменяется от  $0,179 \text{ м}^3/\text{м}^3$  (Кр2) до  $0,333 \text{ м}^3/\text{м}^3$  (пласт Г).

На рис. 3 представлена диаграмма распределения средней газоносности пород в условиях рудника СКРУ-3 ВКМКС.

По результатам экспериментальных исследований в условиях рудника СКРУ-3 была построена кривая изменения средней газоносности соляных пород по геологическому разрезу, представленная на рис. 4.

Экспериментальные исследования по определению газоносности соляных пород по связанным газам в условиях рудника БКПРУ-4 ВКМКС проводились на 70 образцах керна, отобранных из скважин 1141А, 1143А в соответствии с приведенной методикой.

Результаты исследования газоносности в образцах керна выделившихся связанных газов из образцов пород в скважинах приведены в табл. 2.

На рис. 5 представлена диаграмма распределения средней газоносности пород в условиях рудника БКПРУ-4 ВКМКС.

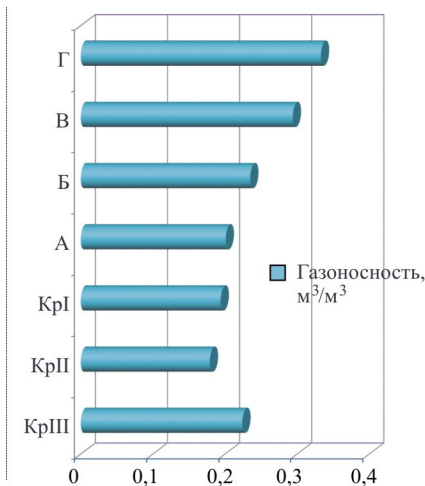


Рис. 3. Диаграмма распределения средней газоносности пород в условиях рудника СКРУ-3

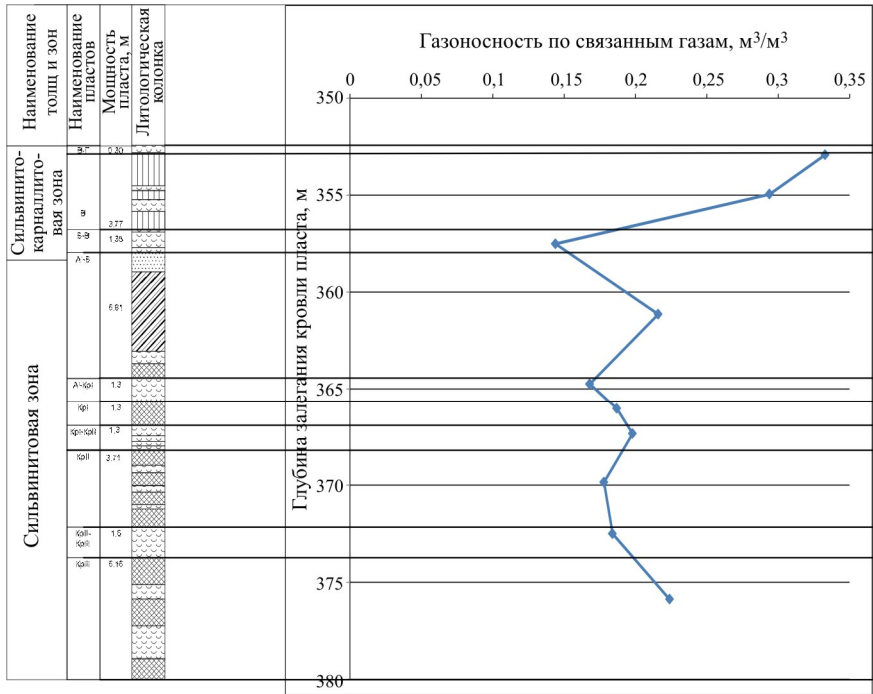
По результатам экспериментальных исследований пород в условиях рудника БКПРУ-4 был построен график изменения средней газоносности соляных пород по геологическому разрезу, представленный на рис. 6.

Экспериментальные исследования по определению газоносности соляных пород по связанным газам в условиях рудника СКРУ-2 ВКМКС проводились на 70 образцах керна, отобранных из скважин 693, 697, 704, 705, 707, 711, 713, 718, 719, 751а в соответствии с приведенной методикой.

Результаты исследования газоносности в образцах керна выделившихся связанных газов из образцов пород в скважинах представлены в табл. 3.

На рис. 7 приведена диаграмма распределения среднего значения газоносности пород по связанным газам в условиях СКРУ-2 ВКМКС.

На рис. 8 представлен график изменения газоносности пород от глубины залегания пласта, построенный по результатам экспериментальных исследований пород в условиях рудника СКРУ-2 ВКМКС.



Условные обозначения:

- Карналлитовая порода
- Сильвинит пестрый
- Сильвинит красный
- Каменная соль
- Сильвинит полосчатый

Рис. 4. Изменение средней газоносности соляных пород по геологическому разрезу в условиях рудника СКРУ-3

Таблица 2  
Газоносность соляных пород в условиях рудника БКПРУ-4 ВМККС по связанным газам, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>

Пласт	Максимальное	Минимальное	Среднее
В-Г	0,459	0,135	0,287
В	0,786	0,153	0,278
Б-В	0,399	0,149	0,204
А'-Б	0,662	0,043	0,237
А'-КрI	0,201	0,05	0,143
КрI	0,181	0,164	0,172
КрI-КрII	0,242	0,089	0,171
КрII	0,443	0,072	0,256
КрII-КрIII	0,291	0,112	0,163
КрIII	0,308	0,014	0,139

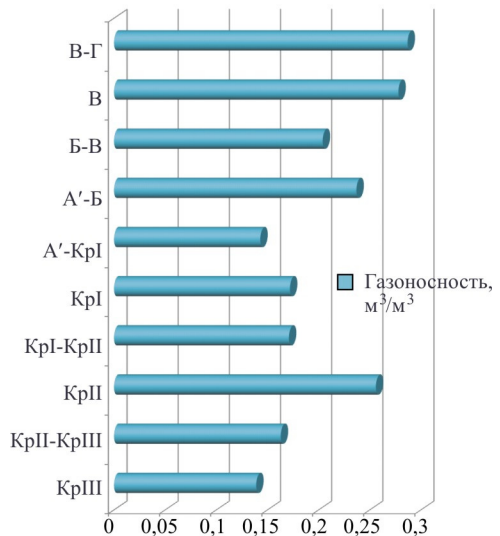


Рис. 5. Диаграмма распределения средней газоносности пород в условиях рудника БКПРУ-4



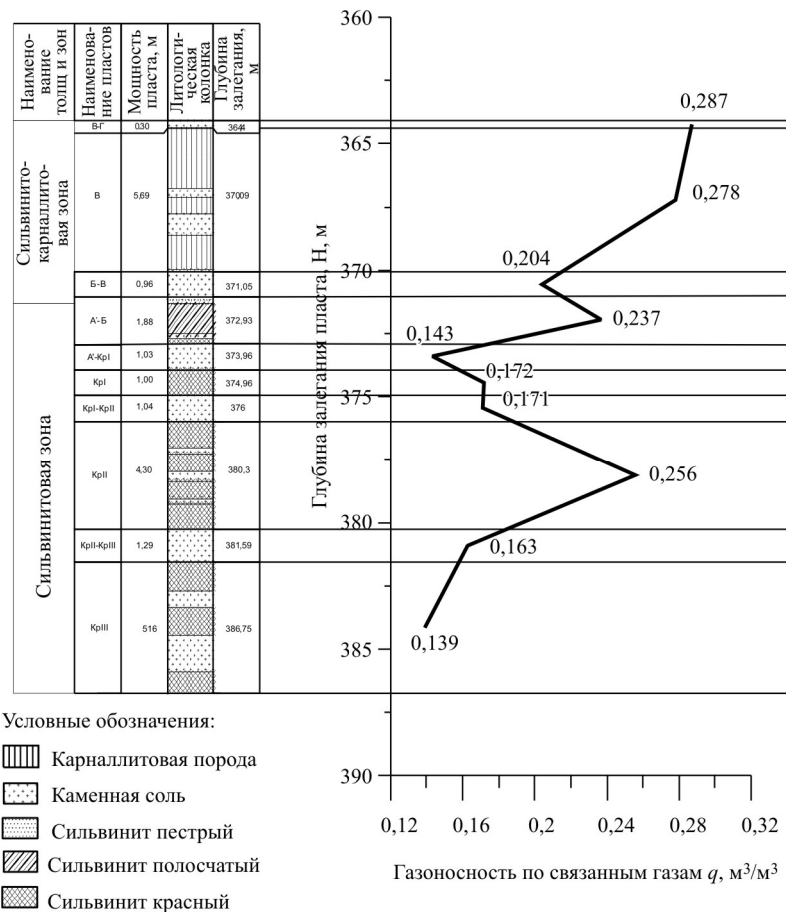


Рис. 6. Изменение средней газоносности соляных пород по геологическому разрезу в условиях рудника БКПРУ-4

Таблица 3  
Газоносность соляных пород в условиях рудника СКРУ-2 ВКМС по связанным газам,  $\text{м}^3/\text{м}^3$

Пласт	Максимальное	Минимальное	Среднее
В-Г	0,243	0,015	0,082
В	0,644	0,034	0,286
Б-В'	0,283	0,030	0,167
Б	0,500	0,100	0,227
А	0,323	0,010	0,184
А'-А	0,175	0,039	0,120
А'	0,319	0,034	0,252
А'-КрI	0,228	0,015	0,111
КрI	0,221	0,097	0,179
КрI-КрII	0,220	0,005	0,113
КрII	0,442	0,017	0,136
КрII-КрIII	0,193	0,100	0,148

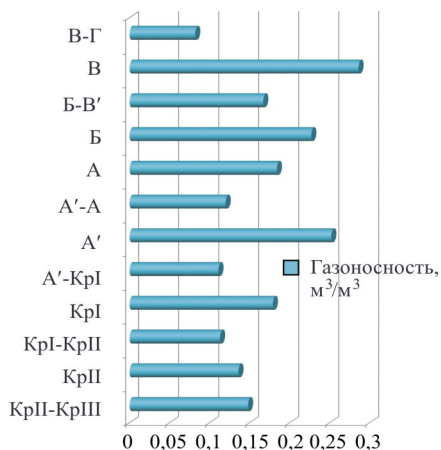


Рис. 7. Диаграмма распределения средней газоносности пород в условиях рудника СКРУ-2

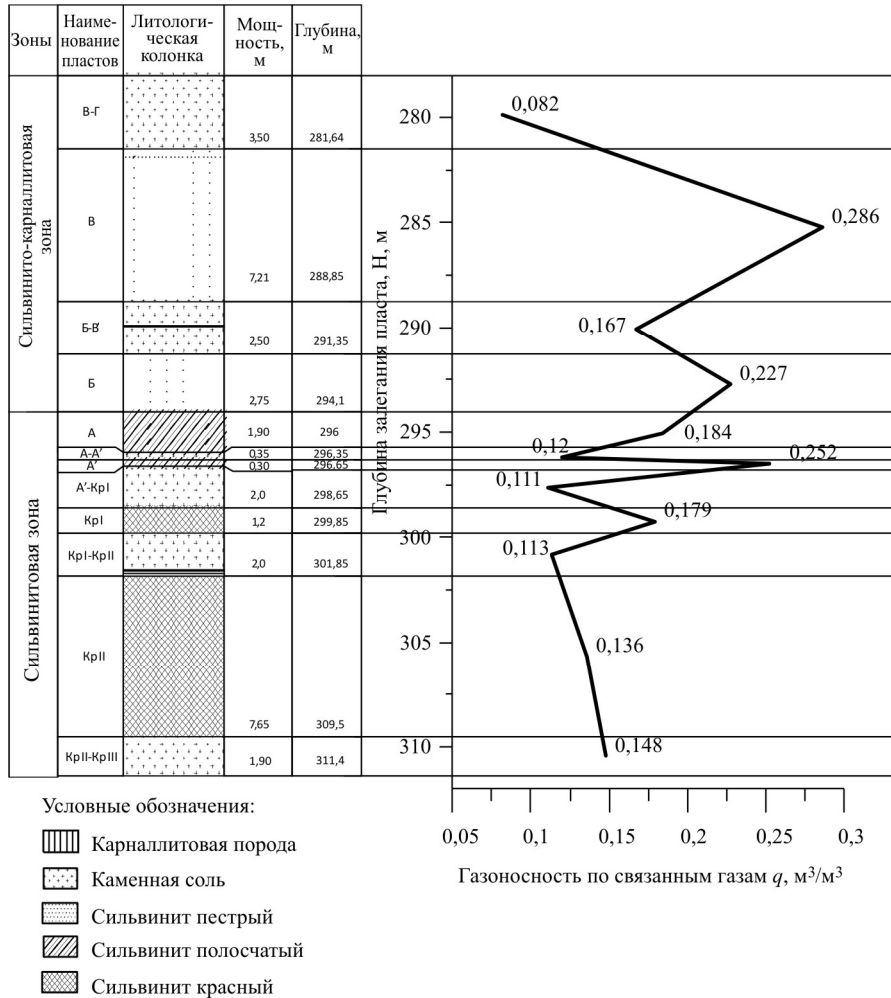


Рис. 8. Изменение средней газоносности соляных пород по геологическому разрезу в условиях рудника СКРУ-2

### Выводы

На основании проведенных экспериментальных исследований газоносности соляных пород по данным бурения геологоразведочных скважин на территории ВКМКС можно сделать следующие выводы:

1. Пласты Г, В, АВ, КрI, КрII и КрIII в пределах рассмотренных рудников, а именно – СКРУ-2, СКРУ-3 и БКПРУ-4, аналогично соседним участкам центральной части Верхнекамского месторождения, – газоносны.

2. Проведенные исследования позволили установить, что средняя газоносность пород по связанным газам весьма значительна и изменяется на СКРУ-3 от 0,179 до 0,333 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. Максимальные значения газоносности по связанным газам зафиксированы в карналлитовых породах пласта Г. Вверх и вниз по разрезу от этого пласта значения газоносности по связанным газам снижаются.

3. Средняя газоносность пород по связанным газам на СКРУ-2 изменяется в пределах от 0,082 до 0,286 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. Макс-

симальное значение средней газоносности зафиксировано на пласте В, сложенном преимущественно пестрым сильвинитом.

4. Значение средней газоносности пород на БКПРУ-4, в соответствии с результатами исследования, изменятся по пластам от 0,139 до 0,287 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. Максимальное значение средней газоносности

соляных пород зафиксировано на пласте В-Г, сложенном каменной солью.

5. Для безопасного ведения подготовительных и очистных горных работ на новых участках шахтных полей рудников ОАО «Уралкалий» необходим комплекс мер по прогнозированию и предотвращению газодинамических явлений, а также локализации их последствий.

#### Список литературы

1. Бикмаева Т.А., Андрейко С.С. Разработка математической модели метода прогнозирования внезапных разрушений пород почвы горных выработок при очистной выемке карналлитового пласта в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей // Вестник Пермского государственного технического университета. Геология, геоинформационные системы, горно-нефтяное дело. – 2010. – № 5. – С. 75–81.

2. Кормщиков Д.С. Применение программного модуля «Электронный план ликвидации аварии» // Вестник Пермского государственного технического университета. Геология, геоинформационные системы, горно-нефтяное дело. – 2010. – № 5. – С. 86–89.

3. Зайцев А.В., Круглов Ю.В. Оценка погрешности применения законов расчета стационарного воздухораспределения в вентиляционной сети // Вестник Пермского государственного технического университета. Геология, геоинформационные системы, горно-нефтяное дело. – 2010. – № 5. – С. 90–94.

4. Медведев И.И., Полянина Г.Д. Газовыделения на калийных рудниках. – М.: Недра, 1974. – 168 с.

5. Андрейко С.С., Лялина Т.А. Оценка корреляционных связей между содержанием сульфата кальция и содержанием нерастворимого остатка в соляных породах Верхнекамского месторождения // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2011. – № 1. – С. 94–104.

6. Андрейко С.С., Лялина Т.А. Результаты оценки закономерностей распределения газодинамических явлений при бурении геологоразведочных скважин с поверхности на Верхнекамском месторождении калийных солей // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2011. – № 1. – С. 105–120.

7. Асанов В.А., Бельтюков Н.Л. Исследование масштабного эффекта в слоистых соляных породах при сдвиге // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2011. – № 1. – С. 121–127.

8. Литвиновская Н.А. Определение параметров мелкошпурового и глубокого профилактического бурения дегазационных шпуров в почву подготовительных горных выработок калийного горизонта Старобинского месторождения // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2011. – № 1. – С. 128–135.

9. Казаков Б.П., Зайцев А.В., Шалимов А.В. Влияние закладочных работ на формирование теплового режима в горных выработках в условиях рудников ОАО «Норильский никель» // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2012. – № 2. – С. 110–114.

10. Левин Л.Ю., Зайцев А.В., Новоселицкая Л.Л. Исследование газовой обстановки в тупиковой выработке при наличии рециркуляционных потоков // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2012. – № 3. – С. 124–128.

11. Казаков Б.П., Трушкова Н.А., Зайцев А.В. Применение частичного повторного использования воздуха для снижения количества выпадающей влаги в калийных рудниках // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2012. – № 3. – С. 124–128.

12. Круглов Ю.В., Мальцев С.В. Применение технологии непрерывной доставки руды в условиях рудников Верхнекамья // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2012. – № 3. – С. 134–137.
13. Левин Л.Ю., Клюкин Ю.А. Исследование и пути решения характерных проблем работы вентиляторных систем воздухоподготовки на примере главной системы воздухоподготовки рудника «Мир» // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2012. – № 3. – С. 138–142.
14. Соловьев В.А., Секунцов А.И. Пластовый способ подготовки очистных блоков в условиях рудников // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2013. – № 7. – С. 68–78.
15. Андрейко С.С., Зверева Е.В. Прогнозирование зон, опасных по газодинамическим явлениям, на шахтном поле рудника СКРУ-3 ОАО «УРАЛКАЛИЙ» на основе структурно-тектонического анализа строения пласта АБ // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2013. – № 7. – С. 79–88.
16. Андрейко С.С., Лялина Т.А. Оценка возможности развития газодинамических явлений в виде внезапных разрушений пород почвы горных выработок, сопровождающихся газовыделением, в условиях южной части Верхнекамского месторождения // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2013. – № 7. – С. 107–115.
17. Полянина Г.Д., Земсков А.Н., Падерин Ю.Н. Технология и безопасность разработки Верхнекамского калийного месторождения. – Пермь: Перм. кн. изд-во, 1990. – 262 с.
18. Земсков А.Н., Кондрашев П.И., Травникова Л.Г. Природные газы калийных месторождений и меры борьбы с ними. – Пермь, 2008. – 414 с.
19. Красюк Н.Ф. Исследование газоносности солевых пород и ее роли во внезапных выбросах: автореф. ... дис. канд. техн. наук. – Л., 1975. – 21 с.
20. Сиренко Ю.Г. Совершенствование технологии отработки нарушенных зон выбросоопасных калийных пластов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Л., 1989.
21. Изучение газоносности и газодинамических характеристик пластов В и Г карналлитового состава в условиях рудников ОАО «Сильвинит»: отчет о НИР / ГИ УрО РАН; рук. С.С. Андрейко. – Пермь, 2004. – 25 с.
22. Изучение газоносности и газодинамических характеристик пластов В и Г в условиях рудников ОАО «Сильвинит»: отчет о НИР / ГИ УрО РАН; рук. С.С. Андрейко. – Пермь, 2005. – 26 с.
23. Изучение газоносности и газодинамических характеристик пластов В и Г в условиях рудников СКПРУ-2 и СКПРУ-3 ОАО «Сильвинит»: отчет о НИР / ГИ УрО РАН; рук. С.С. Андрейко. – Пермь, 2007. – 29 с.
24. Изучение газоносности и газодинамических характеристик пластов В и Г в условиях рудников СКПРУ-2 и СКПРУ-3 ОАО «Сильвинит»: отчет о НИР / ГИ УрО РАН; рук. С.С. Андрейко. – Пермь, 2009. – 33 с.
25. Иванов О.В. Оценка газоносности пород сильвинитовых и карналлитовых пластов Верхнекамского месторождения калийных солей // Стратегия и процессы освоения георесурсов: материалы ежегод. науч. сессии Горного института УрО РАН по результатам НИР в 2005 г., 6–13 апреля 2006 г. / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2006. – С. 160–163.
26. Gerling P., Beer W., Bornemann O. Gasförmige Kohlenwasserstoffe in Evaporiten des deutschen Zechsteins // Kali und Steinsalz. – 1991. – Band 10, H. 11. – S. 376–383.
27. Freyer H.D. Nachweis atmosphärischer Gase in gasarmen Salzgesteinen // Kali und Steinsalz 6. – H. 4. – S. 117–121.
28. Jaritz W., Bornemann O., Giesel W., Vierhuff H. Geoscientific investigation of the Gorleben site // Proceedings of an international symposium on the siting, design and construction of underground repositories for radioactive wastes, organized by the International Atomic Energy Agency, 3–7 March 1986. – Hanover, 1986. – S. 371–384.
29. Hempel D. Neuere Erkenntnisse über das Auftreten natürlicher brennbarer Gase in Kaligruben der DDR // Neue Berg-bautechnik 4. – 1974. – H. 8. – S. 592–596.
30. Loftier I. Die Kali- und Steinsalzlagerstätten des Zechsteins in der Deutschen Demokratischen Republik, Teil III, Sachsen-Anhalt. Freib. Forschungshefte C 97/111.

## References

1. Bikmaeva T.A., Andreyko S.S. Razrabotka matematicheskoi modeli metoda prognozirovaniia vnezapnykh razrushenii porod pochvy gornykh vyrabotok pri ochildnoi vyemke karnallitovogo plasta v usloviakh Verkhnekamskogo mestorozhdeniia kaliinykh solei [Development of mathematical model for forecasting sudden destruction of mountain developments soil rocks during sewage extraction of carnallite formation in conditions of Verkhnekamskoye potash deposit]. *Vestnik Permskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Geologiya, geoinformatsionnye sistemy, gorno-neftianoe delo*, 2010, no. 5, pp. 75–81.
2. Kormshchikov D.S. Primenenie programmnoho modulia "Elektronnyi plan likvidatsii avarii" [Application of software module "Electronic emergency response plan"]. *Vestnik Permskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Geologiya, geoinformatsionnye sistemy, gorno-neftianoe delo*, 2010, no. 5, pp. 86–89.
3. Zaitsev A.V., Kruglov Y.V. Otsenka pogreshnosti primeneniia zakonov rascheta statsionarnogo vozdukhoraspredeleniia v ventilatsionnoi seti [Estimates for the error calculation of the steady air distribution law application in ventilation system]. *Vestnik Permskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Geologiya, geoinformatsionnye sistemy, gorno-neftianoe delo*, 2010, no. 5, pp. 90–94.
4. Medvedev I.I., Polianina G.D. Gazovydeniia na kaliinykh rudnikakh [Gassing on potash mines]. Moscow: Nedra, 1974. 168 p.
5. Andreyko S.S., Lyalina T.A. Otsenka korreliatsionnykh svyazei mezhdz soderzhaniem sul'fata kal'tsiia i soderzhaniem nerastvorimogo ostatka v solianykh porodakh Verkhnekamskogo mestorozhdeniia [Identification and estimation of correlations between the calcium sulfate content and the insoluble constituent content in salt rocks the Verkhnekamskoye]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo*, 2011, no. 1, pp. 94–104.
6. Andreyko S.S., Lyalina T.A. Rezul'taty otsenki zakonomernosti raspredeleniia gazodinamicheskikh iavlenii pri burenii geologorazvedochnykh skvazhin s poverkhnosti na Verkhnekamskom mestorozhdenii kaliinykh solei [Evaluation of gas-dynamics phenomena distribution laws in exploration drilling wells from the surface in Verkhnekamskoye deposit of potassium salts]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo*, 2011, no. 1, pp. 105–120.
7. Asanov V.A., Belyukov N.L. Issledovanie masshtabnogo effekta v sloistykh solianykh porodakh pri sdvige [The scale effect researching in stratified salt rocks by direct shear]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo*, 2011, no. 1, pp. 121–127.
8. Litvinovskaya N.A. Opredelenie parametrov melkoshpurovogo i glubokogo profilakticheskogo bureniia degazatsionnykh shpurov v pochvu podgotovitel'nykh gornykh vyrabotok kaliinogo gorizonta Starobinskogo mestorozhdeniia [Shallow and deep degasification holes into development working sole on the 1st potash horizon of Starobinskoye deposit preventive boring characterization]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo*, 2011, no. 1, pp. 128–135.
9. Kazakov B.P., Zaytsev A.V., Shalimov A.V. Vliianie zakladochnykh rabot na formirovanie teploвого rezhima v gornykh vyrabotkakh v usloviakh rudnikov OAO "Noril'skii nikel'" [Influence of backfill operations on the formation of thermal conditions of mine workings in OJSC MMC "Norilsk nickel"]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo*, 2011, no. 1, pp. 110–114.
10. Levin L.Y., Zaytsev A.V., Novoselitskaya L.L. Issledovanie gazovoi obstanovki v tupikovoi vyrabotke pri nalichii retsirkulatsionnykh potokov [Study of the gas situation in the presence of elaboration dome recirculating flows]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo*, 2012, no. 3, pp. 124–128.
11. Kazakov B.P., Trusckova N.A., Zaytsev A.V. Primenenie chastichnogo povtornogo ispol'zovaniia vozdukhа dlia snizheniia kolichestva vypadaushchei vlagi v kaliinykh rudnikakh [Application of partial reuse of air to reduce the amount of moisture precipitate in potash mines]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo*, 2012, no. 3, pp. 124–128.

12. Kruglov Y.V., Maltsev S.V. Primenenie tekhnologii nepreryvnoi dostavki rudy v usloviakh rudnikov Verkhnekam'ia [Continuous use of technology in the delivery of ore mine Verkhnekamye]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo*, 2012, no. 3, pp. 134–137.

13. Levin L.Y., Klyulin Y.A. Issledovanie i puti reshenia kharakternykh problem raboty ventilyatornykh sistem vozdukhopodgotovki na primere glavnoi sistemy vozdukhopodgotovki rudnika "Mir" [Research and solutions of the problem characteristic fan system air handling an example of main air systems mine "Mir"]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo*, 2012, no. 3, pp. 138–142.

14. Solov'ev V.A., Sekuntsov A.I. Plastovyi sposob podgotovki ochestnykh blokov v usloviakh rudnikov [Interbedding method of treating blocks preparation in the mines of Verkhnekamskoye potash field]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo*, 2013, no. 7, pp. 68–78.

15. Andreiko S.S., Zvereva E.V. Prognozirovaniye zon, opasnykh po gazodinamicheskim iavleniyam, na shakhtnom pole rudnika SKRU-3 OAO "URALKALII" na osnove strukturno-tektonicheskogo analiza stroeniya plasta AB [Forecasting of zones, dangerous because of gas-dynamic events, on mine field SKRU-3 of OJSC "URALKALI" based on the structural-tectonic analysis layers AB structure]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo*, 2013, no. 7, pp. 79–88.

16. Andreiko S.S., Lialina T.A. Otsenka vozmozhnosti razvitiya gazodinamicheskikh iavlenii v vide vnezapnykh razrusheniya porod pochvy gornyykh vyrabotok, soprovozhdaushchikhsia gazovydeleniyem, v usloviakh iuzhnoi chasti Verkhnekamskogo mestorozhdeniya [Capability assessment of gasdynamic effects development as sudden destruction of mine workings rocks of soil, accompanied by gas evolution, in conditions of the southern part of Verkhnekamskoye field]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo*, 2013, no. 7, pp. 107–115.

17. Polianina G.D., Zemskov A.N., Paderin Iu.N. Tekhnologiya i bezopasnost' razrabotki Verkhnekamskogo kaliynogo mestorozhdeniya [Technology and security elaboration Verkhnekamskoe potash deposit]. Perm: Permskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1990. 262 p.

18. Zemskov A.N., Kondrashev P.I., Travnikova L.G. Prirodnye gazy kaliynykh mestorozhdenii i mery bor'by s nimi [Natural gases potash deposits and measures of their control]. Perm, 2008. 414 p.

19. Krasiuk N.F. Issledovanie gazonosnosti solevykh porod i ee roli vo vnezapnykh vybrosakh: avtoreferat dissertatsii kandidata tekhnicheskikh nauk [Investigation of the gas-bearing rock salt and its role in the sudden releases]. Abstract of the thesis of the Ph.D. in Technical Sciences, Leningrad, 1975. 21 p.

20. Sirenko Iu.G. Sovershenstvovaniye tekhnologii otrabotki narushennykh zon vybrosopasnykh kaliynykh plastov [Improving the technology of working off zone disturbed ejection of hazardous potash layers]. Abstract of the thesis of the Ph.D. in Technical Sciences, Leningrad, 1989. 23 p.

21. Andreiko S.S. Izuchenie gazonosnosti i gazodinamicheskikh kharakteristik plastov V i G karnallitovogo sostava v usloviakh rudnikov OAO "Sil'vinit" [Study of the gas-bearing and gas-dynamic characteristics layers C and D of carnallite mine in conditions the mines JSC "Silvinit"]. Perm: Gornyi institut Ural'skogo otdeleniya Rossiiskoi akademii nauk, 2004. 25 p.

22. Andreiko S.S. Izuchenie gazonosnosti i gazodinamicheskikh kharakteristik plastov V i G v usloviakh rudnikov OAO "Sil'vinit" [Study of the gas-bearing and gas-dynamic characteristics layers C and D in conditions the mines JSC "Silvinit"]. Perm: Gornyi institut Ural'skogo otdeleniya Rossiiskoi akademii nauk, 2005. 26 p.

23. Andreiko S.S. Izuchenie gazonosnosti i gazodinamicheskikh kharakteristik plastov V i G v usloviakh rudnikov SKPRU-2 i SKPRU-3 OAO "Sil'vinit" [Study of the gas-bearing and gas-dynamic characteristics layers C and D in conditions the mines SKPRU-2 And SKPRU-3 JSC "Silvinit"]. Perm: Gornyi institut Ural'skogo otdeleniya Rossiiskoi akademii nauk, 2007. 29 p.

24. Andreiko S.S. Izuchenie gazonosnosti i gazodinamicheskikh kharakteristik plastov V i G v usloviakh rudnikov SKPRU-2 i SKPRU-3 OAO "Sil'vinit" [Study of the gas-bearing and gas-dynamic characteristics layers C and D in conditions the mines SKPRU-2 And SKPRU-3 JSC "Silvinit"]. Perm: Gornyi institut Ural'skogo otdeleniya Rossiiskoi akademii nauk, 2009. 33 p.

25. Ivanov O.V. Otsenka gazonosnosti porod sil'vinitovykh i karnallitovykh plastov Verkhnekamskogo mestorozhdeniya kaliynykh solei [Evaluation of gas bearing rock sylvinite and carnallite layers Verkhne-

kamskoye potash deposit]. Materialy ezhegodnoi sessii "Strategiia i protsessy osvoeniia georesursov". Perm: Gornyi institut Ural'skogo otdeleniia Rossiiskoi akademii nauk, 2006. pp. 160–163.

26. Gerling P., Beer W., Bornemann O. Gasförmige Kohlenwasserstoffe in Evaporiten des deutschen Zechsteins. *Kali und Steinsalz*, 1991. vol. 10, no. 11, pp. 376–383.

27. Freyer H.D. Nachweis atmosphärischer Gase in gasarmen Salzgesteinen. *Kali und Steinsalz*, 1973, no. 4, pp. 117–121.

28. Jaritz W., Bornemann O., Giesel W., Vierhuff H. Geoscientific investigation of the Gorleben site. *Proceedings of an "International symposium on the siting, design and construction of underground repositories for radioactive wastes", organized by the International Atomic Energy Agency*. Hanover, 1986. pp. 371–384.

29. Hempel D. Neuere Erkenntnisse über das Auftreten natürlicher brennbarer Gase in Kaligruben der DDR. *Neue Berg-bautechnik*, 1974, no. 8, pp. 592–596.

30. Löffler J., Schulze G. Die Kali- und Steinsalzlagerstätten des Zechsteins in der Deutschen Demokratischen Republik; Teil 3: Sachsen-Anhalt. *Freiberger Forschungshefte. Geologie*, 1962, vol. 97, no. 3, pp. 97–111.

### Об авторах

**Андрейко Сергей Семенович** (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией геотехнологических процессов и рудничной газодинамики Горного института Уральского отделения Российской академии наук (614007, г. Пермь, ул. Сибирская, 78а; e-mail: ssa@mi-perm.ru).

**Гайсина Эльвира Ринатовна** (Пермь, Россия) – Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: elya\_gaisina@mail.ru).

**Красильникова Ксения Андреевна** (Пермь, Россия) – Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: Ksusha-K-91@mail.ru).

**Пачгин Владимир Вячеславович** (Пермь, Россия) – Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: vovchik092@mail.ru).

### About the authors

**Sergei S. Andreiko** (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Laboratory geotechnical processes and mine gas dynamics, Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (614007, Perm, Sibirskaya st., 78A; e-mail: ssa@mi-perm.ru).

**El'vira R. Gaisina** (Perm, Russian Federation) – Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29; e-mail: elya\_gaisina@mail.ru).

**Kseniia A. Krasil'nikova** (Perm, Russian Federation) – Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29; e-mail: Ksusha-K-91@mail.ru).

**Vladimir V. Pachgin** (Perm, Russian Federation) – Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29; e-mail: vovchik092@mail.ru).

Получено 28.08.2013