

УДК 550.8:622.363.2

Б.А. Бачурин, А.А. Борисов, С.В. Глебов

**ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРОЦЕССОВ
ТЕХНОГЕНЕЗА В ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЕ
КАЛИЙНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Проведены исследования по изучению особенностей приповерхностного газового фона в пределах шахтных полей калийных рудников. Установлено, что изменчивость содержания в подпочвенных газах углеводородных компонентов отражает характер деформации породного массива, что позволяет использовать газогеохимические методы при контроле процессов техногенеза в геологической среде калийных месторождений.

Ключевые слова: калийные месторождения, газы, процессы деформации, мониторинг.

В настоящее время газогеохимические исследования, основанные на изучении особенностей приповерхностного газового фона, получают все более широкое применение при решении различных горно-геологических задач. Накопленная информация свидетельствует, что газы литосферы, являющиеся наиболее мобильным ее компонентом, несут важнейшую информацию об особенностях ее строения и происходящих в ней природных и природно-техногенных процессах.

Проведенные исследования свидетельствуют, что газы приповерхностной части осадочной толщи в своем качественном и количественном составе могут формировать различные ассоциации компонентов, генезис которых обусловлен не только сингенетическими, но и глубинными источниками, причем роль последних в значительной степени зависит от геолого-тектонических условий, определяющих интенсивность процессов восходящей миграции газовых компонентов («газовое дыхание недр»). Не

вдаваясь в подробности обсуждения механизма восходящей миграции газов, отметим, что в настоящее время преобладает мнение, что в случае наличия в разрезе системы взаимосвязанных пор и трещин наиболее вероятен их струйный массоперенос в виде микропузырьков. Высказываются предположения, что данный процесс носит пульсационный характер, причем максимальные его скорости характерны для периодов усиления геодинамической активности недр [1]. Исходя из отмеченного, можно предполагать не только значительную площадную изменчивость приповерхностного газового фона (приуроченность аномалий к участкам повышенной трещиноватости разреза), но и его временную флуктуацию. Последнее может быть вызвано и техногенными факторами – изменением напряженно-деформированного состояния массива пород (включая образование и раскрытие трещин) вследствие ведения горных работ. Это дает теоретическую основу использования газогеохимических мето-

Таблица 1
Сведения о составе связанных газов соляных пород ВКМКС [3]

Порода	Газонасыщенность, м ³ /м ³	Компонентный состав, % об.					
		CH ₄	H ₂	CO ₂	H ₂ S	N ₂	O ₂
карналлит	<u>0,06</u> н.с.	<u>7,0-9,9</u> 8,4	<u>25,5-32,6</u> 29,0	<u>10,6-22,0</u> 16,3	н.с.	<u>38,0-54,1</u> 46,0	н.с.
пестрый сильвинит	<u>0,11-0,13</u> 0,12	<u>0,6-5,4</u> 2,8	<u>1,1-14,1</u> 6,3	<u>3,2-15,2</u> 11,2	н.с.	<u>26,0-87,0</u> 73,0	н.с.
полосчатый сильвинит	<u>0,08-0,20</u> 0,14	<u>0,7-10,4</u> 3,8	<u>0,2-12,8</u> 5,8	<u>0,5-8,5</u> 4,5	<u>0,1-2,4</u> 0,7	<u>30,0-89,2</u> 68,9	<u>23,0-29,0</u> 26,0
красный сильвинит	<u>0,02-0,46</u> 0,15	<u>1,8-7,6</u> 4,2	<u>0-22,9</u> 8,6	<u>0,1-8,0</u> 5,0	<u>1,1-8,6</u> 4,8	<u>52,0-85,6</u> 73,4	<u>22,0-25,3</u> 23,8
каменная соль	<u>0,14-0,20</u> 0,17	<u>7,0-13,0</u> 10,0	<u>2,9-6,7</u> 4,8	<u>0,7-2,4</u> 1,6	<u>0,2-1,5</u> 0,8	<u>52,0-66,4</u> 59,2	<u>24,0-28,0</u> 26,0

Примечание: в числителе – пределы колебаний, в знаменателе – среднее значение; н.с. – нет сведений

дов для мониторинга происходящих в геологической среде процессов техногенеза.

В качестве объекта газогеохимического опробования наиболее информативно зондирование почвенного покрова, выступающего в качестве природного сорбционного геохимического барьера, перехватывающего миграционные компоненты. Проведенные исследования показали, что сорбированные в почво-грунтах газы отражают кумулятивный эффект накопления миграционных компонентов, а рассеянные в подпочвенном воздухе – относительно «свежее» их поступление. Это позволяет путем комплексирования данных методов исследований газовой составляющей почв с определенной степенью достоверности судить о времени формирования газовых аномалий и динамике процессов вертикального массопереноса миграционных компонентов.

Вместе с тем, несмотря на теоретическую простоту применения методов газогеохимического зондирования для оценки уровня интенсивности

процессов техногенеза горнодобывающего профиля в недрах, существует целый ряд методических трудностей интерпретации получаемой информации, наиболее значительным из которых является определение уровня информативности различных газовых компонентов. Выбор газов-индикаторов, с одной стороны, должен быть обусловлен их взаимосвязью с минеральными ассоциациями полезных ископаемых, с другой стороны, позволять выделять миграционные компоненты из природного приповерхностного газового фона.

Применительно к месторождениям калийных солей использование газогеохимических методов базируется на наличии в породах галогенных формаций значительного количества свободных и связанных газов (табл. 1).

Обобщение имеющейся информации свидетельствует, что газонасыщенность соляных пород колеблется в пределах 0,024-0,216 м³/м³ (в среднем 0,131 м³/м³). Основной особенностью состава данных газов является высокая степень их насыщенности уг-

леводородами: содержание метана достигает до 5-15%, а его гомологов (до пентана включительно) – 2-10%. Еще одной особенностью состава данных газов является присутствие водорода, максимальные концентрации характерны для карналлитовых пород.

Несомненно, что нарушение данных пород будет приводить к высвобождению определенного количества связанных газов в свободную фазу и дальнейшему их перераспределению в надпродуктивной части разреза. Максимальной интенсивности данные процессы будут достигать в случае выщелачивания соленосного массива, когда растворение пород будет приводить к высвобождению в свободную фазу всех содержащихся в них газах.

Последнее подтвердилось при контроле за развитием аварийной ситуации, связанной с затоплением рудника БКПРУ-1 Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (ВКМКС) вследствие нарушения водозащитной толщи. Проведенные газогеохимические исследования показали, что выщелачивание солей привело к высвобождению столь значительного количества газов, что содержание метана в подпочвенном воздухе за относительно короткий период возросло в данном районе до 20000-60000 ppm (2-6%), а в сорбированных в почво-грунтах газах – 7,5-20,6% [2].

В этот же период получил практическую апробацию при проведении газогеохимических исследований газоанализатор Escorprobe-5 (производство фирмы RS DINAMICS Ltd, Чехия), предназначенный для экспресс-анализа состава подпочвенного воздуха, откачиваемого из шпуров глубиной 0.5-0.8 м. Сочетание в данном приборе ФИД- и ИК-детекторов позволяет с высокой чувствительностью (20 ppm или 0,002%) измерять концентрацию метана, диоксида углерода, суммарных содержаний угле-

водородов (C_1-C_5) и летучих органических соединений (ЛОС). Простота и высокая точность измерений делают данный прибор весьма эффективным в случае необходимости проведения оперативного контроля за динамикой приповерхностного газового фона. При использовании данного прибора в качестве основного параметра при контроле процессов техногенеза в геологической среде ВКМКС было принято содержание в подпочвенном газе метана, являющегося основным углеводородным компонентом газов калийных пластов и обладающего высокой миграционной способностью. Опробование участков, расположенных вне шахтных полей, показало, что в качестве фонового значения, отражающего возможность присутствия в почвах сингенетичного метана, может быть принято значение 400 ppm (0,04%).

Предложенная методика газогеохимического контроля за процессами техногенеза в геологической среде ВКМКС получила дополнительную апробацию при выяснении генезиса поверхностных газопроявлений в р. Зырянка, зафиксированных в феврале 2009 года на удалении около 1 км от образовавшейся в зоне аварии провальной воронки. Проведенное с помощью экспресс-газо-анализатора Escorprobe-5 обследование данного района подтвердило признаки дегазации недр, обусловленных разгрузкой в процессе восстановления сформировавшейся при затоплении рудника депрессионной воронки скопившейся в надсолевой части разреза газовой воздушной смеси по зоне природной трещиноватости. Однако данный процесс носил кратковременный характер и спустя месяц полностью прекратился (табл. 2). Положительные результаты апробации методики газогеохимических исследований послужили основой для программы газо-

Таблица 2

Состав подпочвенного воздуха на участке поверхностных газопроявлений в районе р. Зырянка

Значение	Компонентный состав, ppm		
	CH ₄	УВГ	CO ₂
16.02.2009 г.			
минимальное	0	0	473
максимальное	36458	33165	33809
среднее	1183	1014	4401
встречаемость, % проб	22,5	22,5	100
25.02.2009 г.			
минимальное	0	0	465
максимальное	4200	3015	28218
среднее	129	77	2490
встречаемость, % проб	7,5	7,5	100

геохимического мониторинга, разработанной во исполнение решения

Правительственной комиссии по недопущению негативных последствий техногенной аварии, вызванной затоплением рудника БКПРУ-1. Основными объектами контроля были определены участки застроенной территории шахтного поля, где в затопленном выработанном пространстве прогнозируется возможность формирования газовоздушных шапок.

Структура газогеохимического мониторинга предусматривает комплексирование площадного опробования районов предполагаемого образования газовоздушных шапок и организацию стационарных постов, представленных мелкими (1,5 м) скважинами-шпурами, предназначенными для контроля масштабов выделения углеводородных газов из почв в свободную фазу. Площадное ежемесячное газогеохимическое опробование с использованием экспресс-газоанализатора Ecorprobe-5 проводится с шагом 50-70 м по системе профилей, пересекающих районы предполагаемого образования газовоздушных шапок. Этим же прибором проводится контроль состава подпочвенного газа, скопившегося в стволах скважин-шпуров.

В случае выявления признаков активизации поступления метана в приповерхностную часть разреза и формирования устойчивых газогеохимических аномалий в грунтах предусмотрено сгущение сети опробования с целью уточнения их конфигурации. При достижении концентрации метана в подпочвенном газе более 5000 ppm (0,5 об.%) должен осуществляться отбор герметизированных проб почво-грунтов и хроматографическое исследование компонентного состава десорбированного из них газа. При подтверждении формирования в приповерхностной части разреза аномалий с высоким содержанием углеводородных газов и водорода частота опробования увеличивается и проводится контрольное опробование воздуха подвальных помещений в прилегающих зданиях.

В 2009 г. на рассматриваемых объектах дополнительно были организованы 3 стационарных поста автоматизированного контроля, использующих разработанные фирмой RS DINAMICS Ltd на базе газоанализаторов Ecorprobe-5 мониторинговые станции. Каждая станция включает зонд для отбора проб подпочвенного газа, спущенный в специально пробуренные скважины глубиной 1,5-2,0 м,

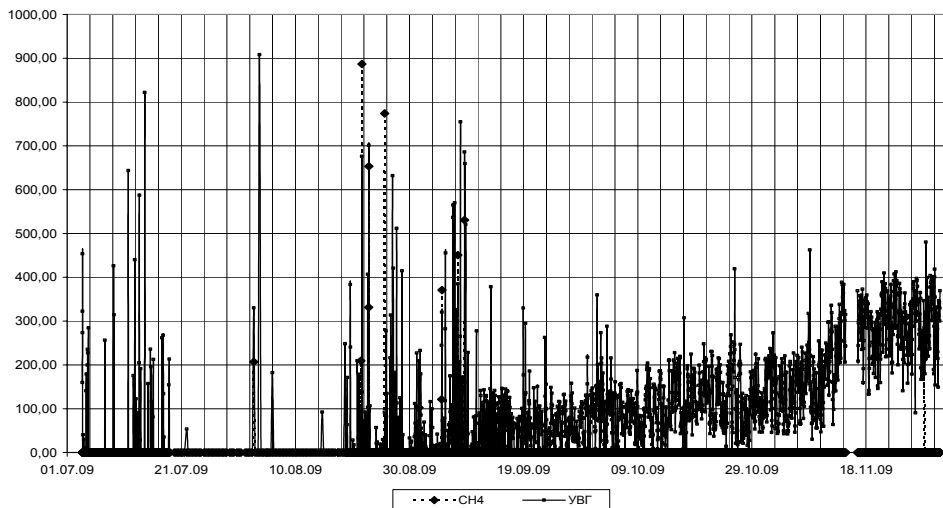


Рис. 1. Динамика изменения концентраций углеводородных компонентов в составе подпочвенного газа (по данным станции автоматизированного мониторинга)

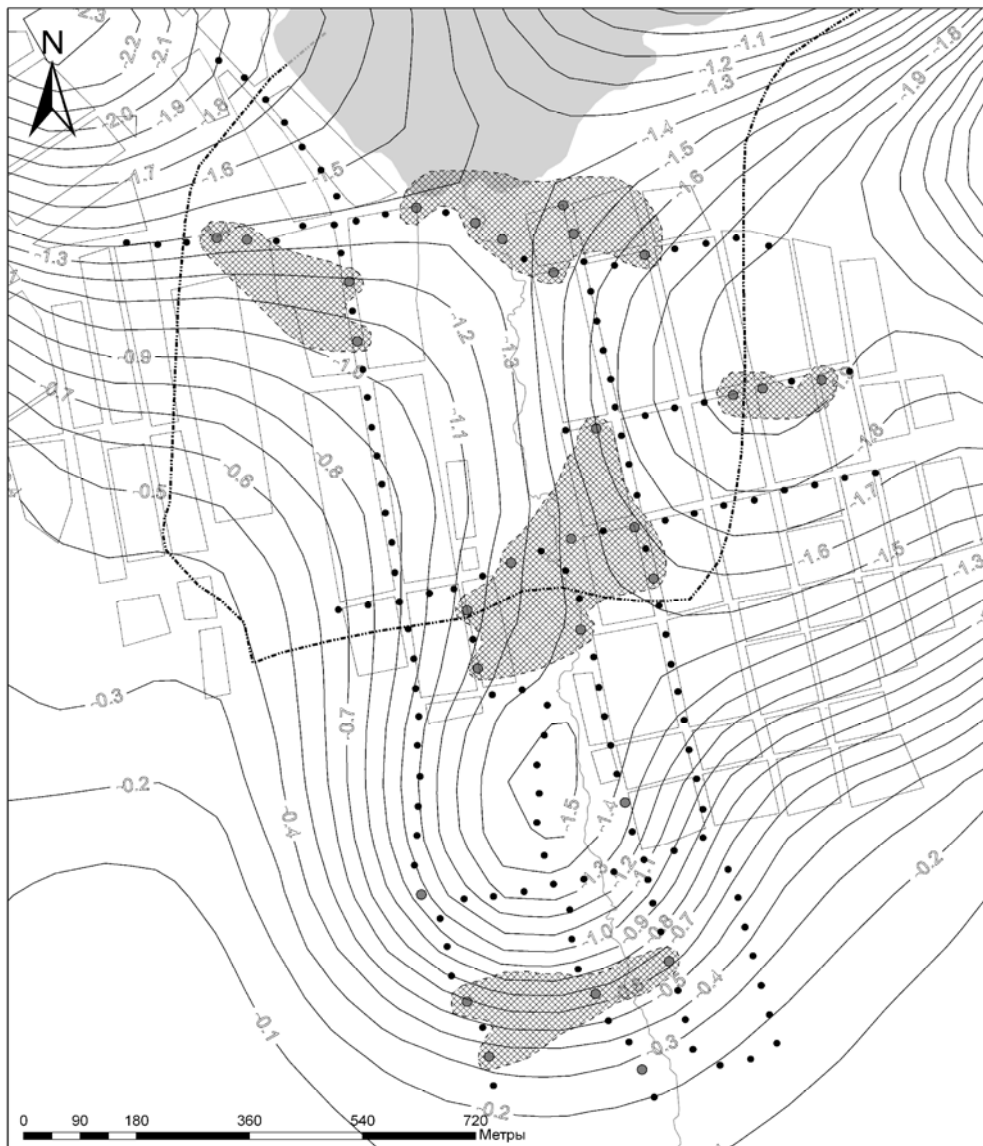
камеру смешивания, сенсорный блок, вакуумный насос, электронный вычислительный блок, модуль передачи данных, беспроводной коммуникатор. Данная комплектация обеспечивает работу станций в автоматизированном режиме (запрограммировано ежечасовое опробование) и передачу данных в режиме реального времени на пункт обработки в г. Пермь.

Результаты мониторинговых газогеохимических наблюдений свидетельствуют, что в условиях сохранности водозащитной толщи и отсутствия процессов выщелачивания соляного массива основным фактором, приводящим к поступлению углеводородных газов в приповерхностную часть разреза, являются процессы деформации надсолевого массива. Установлено, что данные процессы имеют пульсационный характер, что обуславливает значительную временную изменчивость приповерхностного газового фона. Появление повышенных концентраций метана и его гомологов в

подпочвенном воздухе, превышающих фоновые значения (400 ppm), фиксируется лишь в отдельные кратковременные периоды (рис. 1).

Четких временных закономерностей в изменении содержания углеводородных газов в приповерхностном газовом фоне не установлено. По всей видимости, интенсивность поступления их в приповерхностную часть разреза контролируется характером происходящих в породном массиве деформационных процессов, контролируемых как масштабы высвобождения связанных газов, так и степень раскрытости и флюидопроницаемости зон природно-техногенной трещиноватости. Кроме того, не исключено, что изменчивость приповерхностного газового фона контролируется экзогенными факторами и активностью жизнедеятельности углеводородокисляющей микрофлоры почво-грунтов.

Наиболее активно газовое «дыхание» недр происходит по зонам техногенной



Условные обозначения:


- | | | | |
|---|--|---|---------------------------------------|
| — | изолинии оседания земной поверхности, зафиксированные в 2009 году |  | условные контуры газовых аномалий |
| • | пикеты газогеохимического опробования | — · — · — · | предполагаемые контуры газовых шапок: |
| ● | пикеты с относительно стабильным повышенным содержанием метана в составе подпочвенного воздуха | — · — · — · | — · — · — · пласта В |
| | | — · — · — · | — · — · — · пласта КрII |

Рис. 2. Характер приповерхностного газового фона в районе п. Зырянка

трещиноватости, приуроченным к крайним частям мульд оседаний. Это приво-

дит к тому, что в районах данных зон в почвенном покрове формируются отно-

сительно стабильные очаги повышенных концентраций углеводородных газов (рис. 2).

Вместе с тем, установлено, что большая часть поступающих миграционных газов сорбируется минеральной матрицей почво-грунтов и выводится из свободного газообмена с приповерхностными слоями воздуха. Это подтверждается опробованием наблюдательных скважин-шпуров, созданных для оценки масштабов накопления газов в подпочвенном воздухе в течение длительного периода: присутствие метана и его гомологов зафиксировано лишь в отдельные периоды, а их концентрации не превышали 455-630 ppm (0,045-0,063 % объем.).

Отсутствие значительного высвобождения газов из приповерхностных почво-грунтов подтверждается и результатами опробования подвальных помещений жилых домов и общественных зданий, расположенных на подработанной территории г. Березники. Так из 607 опробованных подвальных помещений в пределах городской застройки присутствие мета-

на (102-640 ppm) в воздухе зафиксировано только в 49 зданиях, причем в большинстве из них отмечались запахи канализации, что не исключает бытовых источников его появления.

Таким образом, результаты проведенных исследований свидетельствуют, что газогеохимические методы, основанные на использовании современного оборудования, могут выступать в качестве эффективного инструмента контроля за характером процессов техногенеза в геологической среде калийных месторождений. Кроме того, сочетание их с используемыми на Верхнекамском месторождении геофизическими методами позволит производить разбраковку выделяемых аномалий строения разреза и оценивать возможную флюидопроницаемость различного рода геологических нарушений. Не исключается принципиальная возможность внедрения технологий газогеохимического зондирования не только на месторождениях, сопряженных с галогенными формациями, но и других видов полезных ископаемых.

Исследования выполнены при поддержке РФФИ и Администрации Пермского края (проект 09-05-99023).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бачурин Б.А.* Теоретические и практические аспекты изучения «газового дыхания» недр // Стратегия и процессы освоения георесурсов. – Пермь. – 2008. – С.12-15.
2. *Бачурин Б.А., Борисов А.А.* Газогеохимическое зондирование как метод контроля за развитием аварийной ситуации на БКПРУ-1 // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 4. – С. 371-378.
3. *Кудряшов А.И.* Верхнекамское месторождение солей. – Пермь: ГИ УрО РАН. – 2001. – 429 с. **УАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Бачурин Б.А. – кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией Горного института УрО РАН,
Борисов А.А. – младший научный сотрудник Горного института УрО РАН,
Глебов С.В. – кандидат технических наук, главный геолог ОАО «Уралкалий»,
e-mail: bba@mi-perm.ru