

УДК 550.8:622.363.2

Б.А. Бачурин, А.А. Борисов

**ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ
КАК МЕТОД КОНТРОЛЯ ЗА РАЗВИТИЕМ
АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ НА БКПРУ-1**

Семинар № 9

Открытие академиком В.И. Вернадским явления газового обмена земной коры с атмосферой, названное им «газовым дыханием Земли», послужило теоретической основой использования различных модификаций поверхностных газовых съемок для решения широкого спектра геологических задач. Получила практическую апробацию для картирования разрывных нарушений и зон повышенной трещиноватости осадочного чехла водная гелиевая съемка с использованием портативного прецизионного экспресс-анализатора конструкции ИНГЕМ. Доказана возможность использования содержания радона в подпочвенном и шахтном воздухе как индикатора наличия тектонически-активных зон и при контроле изменения напряженно-деформированного состояния горного массива [4]. Широкое применение получили различные модификации газовой съемки для поисков и разведки нефтяных и газовых месторождений.

Проведенные исследования показали, что газы литосферы, являющиеся наиболее мобильным ее компонентом, несут важнейшую информацию о состоянии геологической среды и происходящих в ней природных и природно-техногенных процессах. При этом приповерхностный газовый фон является довольно чутким индикатором интенсивности восходящего

массопереноса пластовых флюидов по различного рода гидрогеологическим «окнам» – зоны повышенной проницаемости осадочного чехла отражаются высококонтрастными газовыми аномалиями как в приповерхностных почво-грунтах, выступающих в качестве депонирующей среды, накапливающей миграционные компоненты, так и в подпочвенном воздухе [2]. В качестве индикаторов данных процессов возможно использование как инертных газов радиогенного происхождения (гелий, радон), так и углеводородных газов. Последние особенно информативны в случае наличия в недрах мощных источников углеводородов – залежей нефти и газа, метанонасыщенных угольных и калийных пластов.

Первые попытки внедрения газогеохимических методов в комплекс геолого-геофизических исследований на Верхнекамском месторождении калийных солей (ВКМКС) относятся к 1988-89 гг., когда после затопления рудника БКРУ-3 стала очевидной необходимость детального изучения строения надсолевой части разреза и выявления различного рода геологических неоднородностей в водозащитной толще, представляющих потенциальную угрозу для возможного нарушения ее герметичности. В качестве газов-индикаторов наличия подобных зон повышенной проницае-

мости рассматривался гелий и аргон [1, 3, 4]. Использование последнего базировалось на повышенном содержании в газах калийных пластов радиогенного изотопа аргон-40, являющегося продуктом распада калий-40. Считалось, что инертность данных компонентов позволяет им легко высвободиться из массива калийных солей и диффундировать в вышележащую часть разреза, в том числе через зоны повышенной проницаемости водозащитной толщи. Вместе с тем, бурение специальных скважин в районе аварийной ситуации показало, что растворение соляного массива сопровождается значительными масштабами выделения и других газов – в зафиксированных в процессе их проходки газопроявлениях из надсолевой части разреза установлено повышенное содержание метана (до 20 %) и водорода. Это послужило основой комплексования водной гелий-аргоновой съемки с изучением углеводородных компонентов (метан и его гомологи) водорастворенных и сорбированных газов. Опытные методические работы, проведенные в пределах затопленного рудника БКРУ-3 и шахтного поля БКЗ-4, показали, что приповерхностный газовый фон достаточно чутко отражает наличие зон повышенной проницаемости надсолевой части разреза и активизацию процессов вертикального массопереноса газовых компонентов, образующихся за счет выщелачивания соляной толщи [1,2].

Несмотря на полученные результаты, свидетельствующие о принципиальной возможности использования различных модификаций газовой съемки для уточнения особенностей строения водозащитной толщи и характера ее техногенной трансформации, внедрение этих методов в комплекс производственных геолого-

геофизических исследований на Верхнекамском месторождении не произошло. Во многом это было обусловлено высокой трудоемкостью и затратами на реализацию предложенной методики гидрогазогеохимических исследований – необходимостью бурения специальных скважин до вскрытия выдержанных водоносных горизонтов, применения специальных герметизированных пробоотборников для отбора проб водорастворенного газа, масс-спектрометрического определения изотопного состава гелия и аргона. В меньшей степени это было характерно для грунтовой газовой съемки, методика которой предусматривала герметизацию отобранных проб почво-грунтов, их доставку в лабораторию для дегазации и хроматографического анализа. Основное сомнение в практическом применении данного варианта газогеохимических исследований связывалось с трудностями достоверного выделения «полезного сигнала» (миграционных газов-индикаторов) на фоне сингенетического газового фона приповерхностной части разреза.

С целью совершенствования методики газогеохимического зондирования при решении горно-геологических задач в Горном институте УрО РАН в последние годы была апробирована «легкая» модификация газовой съемки, основанная на изучении состава подпочвенного газа с использованием высокочувствительного экспресс-газоанализатора Escoprobe-5 (производство фирмы RS DINAMICS Ltd, Чехия). Измерительными элементами данного прибора являются фотоионизационный (ФИД) и инфракрасный (ИК) датчики. Процесс анализа состава газа, откачиваемого насосом из шпуров глубиной 0.5-0.8 м, происходит отдельно в каждом датчике. ФИД-датчик обладает чувстви-

тельностью 0,0001 ppm и измеряет суммарную концентрацию летучих органических соединений (ЛОС). Перечень данных соединений включает более 150 веществ, в т.ч. алканы ряда C₄-C₁₁, алкены C₂-C₆, низкомолекулярные арены (бензол, толуол, этилбензол, ксилолы), широкий спектр углеводородных соединений (органические кислоты, спирты, эфиры, хлорированные углеводороды, азот- и сераорганические структуры). ИК-датчик позволяет фиксировать по отдельным каналам с чувствительностью 20 ppm (0,002%) концентрацию метана, суммарного содержания углеводородов C₁-C₅, концентрацию диоксида углерода (CO₂). Измерительный процесс в приборе построен таким образом, что замер концентрации компонентов происходит дифференцированно по мере поступления подпочвенного газа, т.е. фиксируется концентрация в каждую единицу времени, а по окончании замера вычисляется среднее значение. Это позволяет выводить результаты исследований в двух режимах: среднее значение концентрации, вычисленное по результатам обработки динамики изменения показателя (C^{cp}), и максимальное значение концентрации, зафиксированное во временном интервале проведения замера (C^{max}).

Опытно-методические работы на объектах Пермского Прикамья, в т.ч. в пределах ВКМКС, показали, что технические характеристики газоанализатора Ecorobe-5 позволяют выявлять высококонтрастные газовые аномалии «разломного» типа, отражающие наличие зон повышенной проницаемости осадочного чехла [3]. Сопоставление результатов атмо- и литогазогеохимических исследований показало, что свободные (подпочвенный воздух) и сорбированные в почво-грунтах газы формируют террито-

риально сопряженные генетически связанные аномалии, отражающие поступление миграционных компонентов из нижележащей части разреза. При этом, рассеянные в подпочвенном воздухе газы отражают относительно «свежее» поступление миграционных компонентов, а сорбированные – кумулятивный эффект их накопления в почво-грунтах, играющих роль сорбционного геохимического барьера. В связи с этим, комплексование данных разновидностей газовых съемок позволяет с определенной степенью достоверности судить о времени формирования газовых аномалий и динамике процессов вертикального массопереноса миграционных компонентов.

Полученные результаты позволили предложить данную методику газогеохимического зондирования для получения дополнительной информации о характере процессов, происходящих в геологической среде района аварийной ситуации на БКПРУ-1. В октябре 2006 г. на данном руднике было зафиксировано поступление в горные выработки минерализованных вод, по гидрогеохимическим показателям соответствующим надсолевой части разреза. Проведенными геолого-геофизическими наблюдениями зона предполагаемого нарушения водозащитной толщи прогнозировалась северо-западнее солеразведочной скважины № 17, где зафиксировано аномальное строение надсолевой части разреза. Маркшейдерскими наблюдениями в этой зоне было зафиксировано увеличение скоростей оседаний земной поверхности.

Исходя из результатов ранее проведенных в пределах ВКМКС газогеохимических исследований, в качестве основного параметра, отражающего процессы выщелачивания соленосной толщи, был принят метан, являющийся ос-

Таблица 1

Результаты хроматографического анализа состава подпочвенного газа

№ пикета	CH ₄ ^{ср.} , % объем. по Escorprobe-5	Содержание, % объем.				
		CH ₄	C ₃ H ₈	C ₄ H ₈	CO ₂	H ₂
52	0,6357	0,0101	0,0001	0,0015	0,3023	0,0011
145	0,1197	0,0756	0,0001	0,0011	0,7252	0,0025
175	0,1052	0,1184	0,0001	0,0005	1,2090	0,0053
233	0,5016	0,1369	0,0001	0,0003	1,5153	0,0092
251	0,00001	0,0020	отс.	отс.	0,2740	отс.

новным компонентом сорбированных данными отложениями газов и обладающий наиболее высокой миграционной способностью. Контрольное опробование участков, удаленных от зоны аварийной ситуации, показало, что средние фоновые концентрации метана в составе подпочвенного воздуха редко превышают 100 ppm.

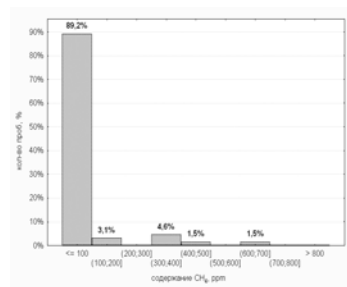
Первые газогеохимические исследования, проведенные в октябре 2006 г., показали полное отсутствие миграционных компонентов в составе подпочвенного газа. Однако уже в апреле 2007 г. на территории мульды оседания было зафиксировано появление в подпочвенном воздухе метана в количествах до 634-4773 ppm (0,063-0,477 % объем.). Контрольный хроматографический анализ подтвердил наличие в составе подпочвенного воздуха углеводородных компонентов (табл. 1). Кроме того, в его составе было зафиксировано присутствие водорода (0,0012-0,0016 %), что подтверждало предположение о глубинном происхождении выявленных газовых аномалий.

Некоторое различие между концентрациями, фиксируемыми экспресс-газоанализатором Escorprobe-5, и хроматографическим анализом отобранных проб подпочвенного воздуха объясняются условиями проведения замеров и отбора проб. Если экспресс-газоанализатор фиксирует ИК-детектором фактическое интеграль-

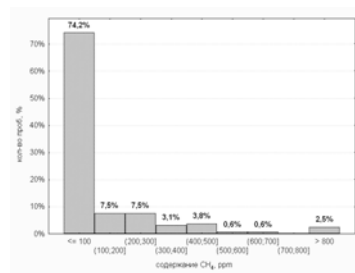
ное содержание метана в момент прохождения прокачиваемого газа через прибор, то на хроматографический анализ отбирается усредненная проба, степень разбавления воздухом которой неизвестна.

Последующее газогеохимическое опробование показало как увеличение частоты встречаемости метана в подпочвенном воздухе, так и его концентрации (до 20000-60000 ppm), что однозначно свидетельствовало об активизации процессов выщелачивания соляных пород с высвобождением из них газов (рис. 1). Зафиксировано и расширение зоны распространения высоких концентраций метана в подпочвенном воздухе, связанное, по всей вероятности, с рассеянием миграционных компонентов в приповерхностной части разреза водами зоны активного водообмена (рис. 2).

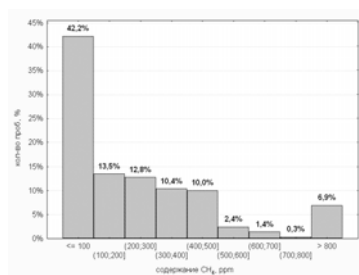
К июлю 2007 г. сформировалось две зоны наиболее интенсивных газовых аномалий, характеризующихся повышенным содержанием метана в подпочвенном воздухе: на северо-востоке опробованной территории южнее здания «сушки» (CH₄^{max} до 63185 ppm), и на территории, расположенной севернее здания техсоли (CH₄^{max} до 2278 ppm) (рис. 3). Формирование последней аномалии зафиксировано только в июле-месяце и совпало с периодом увеличения в данной зоне скорости оседания земной поверхности.



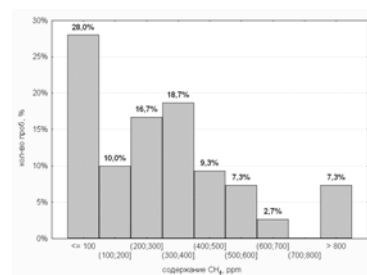
10.04.07



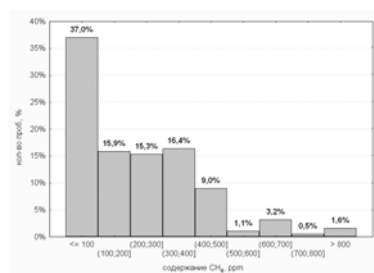
18.04.07



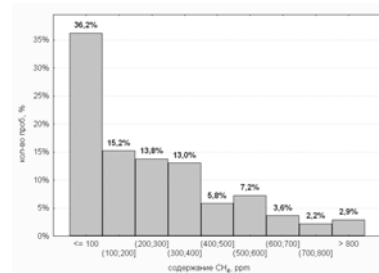
31.05.07



24.07.07



14.08.07



05.09.07

Рис. 1. Гистограммы концентраций метана в почвенном воздухе в районе аварийной ситуации на БКПРУ-1

С целью уточнения генезиса этих аномалий в их пределах осуществлен отбор проб почво-грунтов для исследования состава сорбированных газов. Результаты исследований показали, что при содержании метана в большинстве проб не превышающем 0,066 %, в данных зонах его концентрация достигала «ураганных» значений – 7,45-20,56% объем. (рис. 3).

Полученные результаты позволили сделать вывод о наличии в данных

зонах условий для интенсивного поступления метана в приповерхностную часть разреза, связанных, по всей вероятности, с участками повышенной трещиноватости надсолевой части разреза, сопряженных с зонами выщелачивания соленосных отложений. 28 июля 2007 г. в пределах южной аномалии произошло внезапное обрушение надсолевых горных пород в карстовую полость, сформированную в результате растворения солей

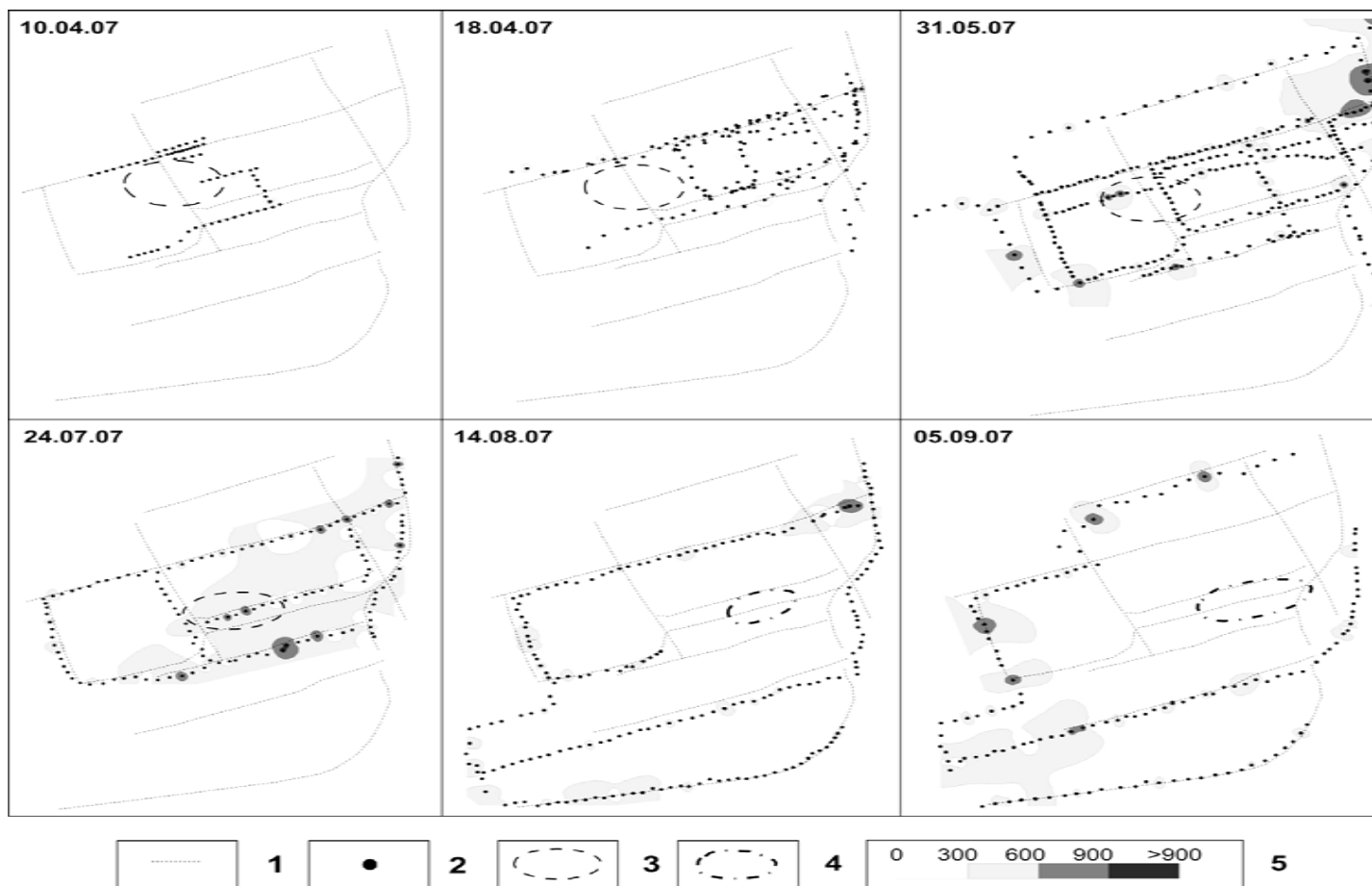


Рис. 2. Динамика изменения концентрации метана в подпочвенном воздухе зоны аварийной ситуации на БКПРУ-1: 1 – профили газогеохимического опробования; 2 – пункты опробования подпочвенного воздуха; 3 – условные контуры зоны максимального оседания земной поверхности; 4 – условный контур зоны провала; 5 – содержание метана в подпочвенном воздухе, ppm

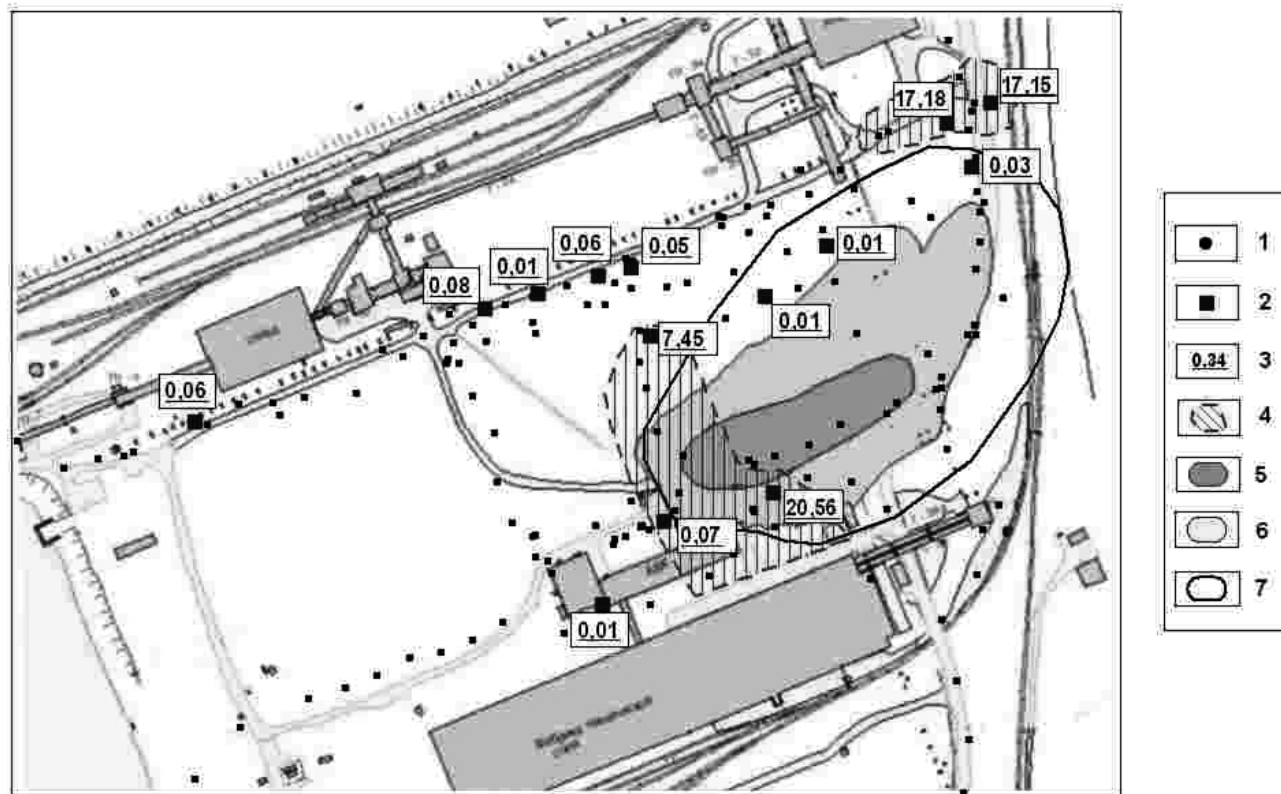


Рис. 3. Результаты газогеохимического опробования района аварийной ситуации на БКПРУ-1

Пункты: 1 – опробования подпочвенного воздуха, 2 – отбора проб почво-грунтов; 3 – содержание метана в составе сорбированных газов, объем. %; 4 – зоны стабильно повышенного содержания метана в подпочвенном воздухе; контуры провальной воронки на: 5 – 28.08.07 г., 6 – 27.09.07 г., 7 – 17.01.08 г.

подземными водами. Дальнейшее развитие провальной воронки происходило преимущественно в северо-восточном направлении в сторону газовой аномалии, выделенной южнее здания «сушки» (см. рис. 3), что подтверждает сделанные прогнозы.

Естественно, столь колоссальные масштабы трансформации геологической среды привели к изменению приповерхностного газового поля. Формирование провала способствовало дегазации горного массива и разгрузке выделяющихся при растворении солей газов через провальную воронку. Это привело к значительному снижению концентраций метана в подпочвенном воздухе вплоть до его полного исчезновения в ноябре 2007 г.

Таким образом, проведенные газогеохимические исследования в рай-

оне аварийной ситуации БКПРУ-1 показали, что приповерхностный газовый фон является чутким индикатором техногенного изменения состояния ВЗТ и надсолевой части разреза. Использование при газогеохимических исследованиях современного поколения высокочувствительных экспресс-газоанализаторов дает возможность в режиме реального времени контролировать динамику «дыхания» недр и судить о масштабах флюидопроницаемости зон природной и техногенной трещиноватости горного массива. Это позволяет рекомендовать использование метода газогеохимического зондирования в качестве эффективного инструмента за состоянием геологической среды в процессе дальнейшего затопления выработанного пространства рудника БКПРУ-1.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Пермского края (проект 07-05-97607-р_офи).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бачурин Б.А. Информативность газогеохимических исследований при оценке состояния водозащитной толщи на Верхнекамском месторождении / Бачурин Б.А., Новоселицкий В.М., Таркашев В.В. и др. // Геология и разведка нефтяных и газовых месторождений: Межвуз. сб. науч. трудов. – Пермь: Перм. политехн. ин-т, 1990. – С. 95-102.

2. Бачурин Б.А. Современные подходы к проведению газогеохимических исследований при решении нефтепоисковых и геологических задач / Бачурин Б.А., Борисов А.А., Бабошко А.Ю. // Горное эхо:

Вестник Горного института. – Пермь, 2007, № 2 (28). – С. 33-38.

3. Новоселицкий В.М. Применение газовой съемки для изучения геотектонического строения Верхнекамского месторождения калийных солей / Новоселицкий В.М., Таркашев В.В., Бачурин Б.А. и др. // Комплексное освоение недр Западного Урала: Сб. науч. трудов. – Свердловск: УрО АН СССР, 1991. – С. 8-13.

4. Уткин В.И. Газовое дыхание недр / Уткин В.И. // Соросовский образовательный журнал, 1997, № 2. – С. 57-64. **ИИАС**

Коротко об авторах

Бачурин Б.А. – кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией Горного института УрО РАН.

Борисов А.А. – аспирант Горного института УрО РАН.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром №9 симпозиума «Неделя горняка-2008». Рецензент д-р техн. наук, проф. И.М. Петухов.

