

# ЭМАНАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ «САЖИСТЫХ» УГЛЕЙ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Т. К. Жданов, М. С. Мельгунов

*Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск*

Поступила в редакцию 26 сентября 2017 г.

**Аннотация:** изучены эманационные характеристики высокоокисленных («сажистых») бурых углей из нескольких месторождений юго-западной части Канско-Ачинского угольного бассейна. Все исследованные образцы характеризуются повышенными содержаниями радиоактивных элементов уранового ряда. Проведенные эксперименты показали высокую эманационную способность «сажистых» углей. Коэффициенты эманирования в сухих образцах варьировались от 0,24 до 0,34, во влажных – от 0,49 до 0,65. Время установления равновесных концентраций радона в атмосфере накопительной камеры соответствует 5 периодам полураспада  $^{222}\text{Rn}$ . Величины плотностей потока радона с поверхности образцов, участвовавших в эксперименте, варьировали в диапазоне от 0,013 до 0,017 Бк/см<sup>2</sup>с на один грамм вещества для сухого состояния и от 0,025 до 0,035 для влажного.

**Ключевые слова:** «сажистые» угли, радон, эманирование, коэффициент эманирования

## EMANATION CHARACTERISTICS OF THE «SOOTY» COAL WITH HIGH NATURAL RADIOACTIVE ELEMENTS CONCENTRATION

**Abstract:** emanation characteristics of highly oxidized («sooty») brown coals from several deposits of Kansk-Achinsk coal basin southwestern part have been studied. All samples have high contents of radioactive elements of the uranium series. The experiments showed high emanation of the «sooty» coals. Emanation coefficients are ranged from 0.24 to 0.34 for the dry samples, and from 0.49 to 0.65 for the wet samples. Equilibrium concentrations establishing time of radon in the cumulative camera atmosphere corresponds to 5 half-lives of  $^{222}\text{Rn}$ . Radon flux density magnitude from the samples surface, participated in the experiment ranged from 0.013 to 0.017 Bq/cm<sup>2</sup>s one gram of the substance to dry and from 0.025 to 0.035 for wet.

**Key words:** «sooty» coals, radon, emanation, emanation coefficient.

### Введение

Канско-Ачинский угольный бассейн находится на территории Красноярского края (более 80%) и частично в пределах Кемеровской и Иркутской областей, имеет протяженность в широтном направлении 800 км от р. Золотой Китат на западе и до р. Бирюсы на востоке. Площадь (рис. 1) [1] развития континентальных угленосных отложений составляет около 60 тыс. км<sup>2</sup> [2]. Юрские отложения бурых углей Канско-Ачинского угольного бассейна – это источник горючего для тепловых станций и печного отопления, используемого местным населением. Ранние и средние юрские угольные формации в западной части бассейна формируют большую синклиналь с плавно погружающимся северным и южным крыльями. Мощность слоев углей достигает 60–80 метров. В настоящее время в активной разработке находятся девять крупных месторождений бурых углей, с запада

на восток: Тисульское, Урюпское, Барандатское, Березовское, Кубитеньское, Алтатское, Назаровское, Итататское, Боготольское. Слои угля в этой части бассейна залегают почти горизонтально и очень удобны для открытой добычи, поскольку расположены на небольшой глубине. Мощность перекрывающих четвертичных отложений здесь колеблется от нескольких метров до нескольких десятков метров. Обычно рядовые (неизменные) угли характеризуются низкими содержаниями микроэлементов и, соответственно, низкой радиоактивностью. В соответствии с литературными данными [3, 4] средние содержания урана в неизменных углях для различных отложений западной части Канско-Ачинского бассейна варьируют от 1 до 11 г/т, что соответствует его удельной активности 12–140 Бк/кг. Содержания тория в рядовых и высокоокисленных углях, как правило, не превышает 3 г/т [2]. Зольность рядовых

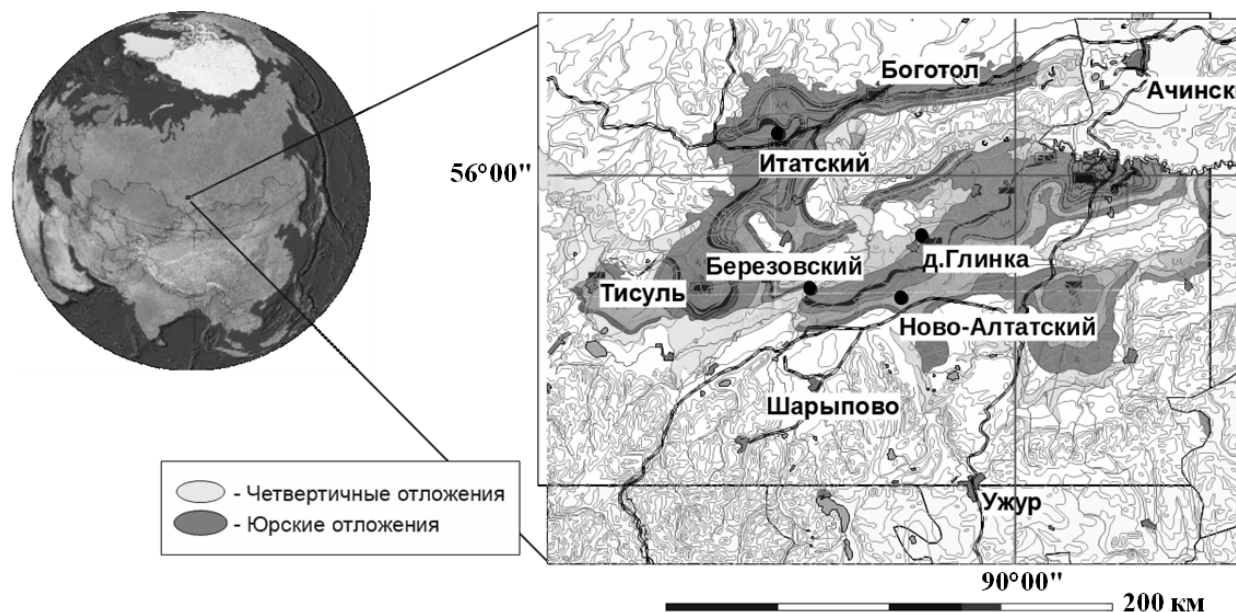


Рис. 1. Геологическая карта района. Черными кружками отмечены места отбора проб: Итатский разрез, Березовский разрез, Ново-Алтатский разрез, выход углей у д. Глинка.

углей находится в пределах 6–16%. Обычно верхняя часть угольных пластов, расположенная непосредственно под перекрывающими четвертичными отложениями, окислена, а самые верхние горизонты (0,5–1,5 метра от контакта) окислены сильно. Уголь здесь часто становится рыхлым и имеет сажистую структуру. Такие образования часто называют «сажистыми» углями. Гумусовые кислоты, присутствующие в высокоокисленных «сажистых» углях, представляют собой мощный геохимический барьер. При взаимодействии минерализованных грунтовых вод с ним может происходить концентрирование ряда микроэлементов, в том числе и урана [4]. Зольность «сажистых» углей увеличивается до 25–35%. Содержания урана в окисленных и, особенно, в сажистых углях могут достигать 2100 г/т (26000 Бк/кг). В работе [1] отмечается, что повышенные активности радиоактивных элементов уранового ряда ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{210}\text{Pb}$ ) встречаются в верхних горизонтах всех изученных разрезов сажистых углей, отобранных на разных месторождениях юго-западной части Канско-Ачинского бассейна. Здесь же показано, что по состоянию радиоактивного равновесия между  $^{238}\text{U}$  и  $^{226}\text{Ra}$  выделяется три типа радиоактивных аномалий: 1) равновесный, здесь активности указанных элементов близки к вековому равновесию; 2) радиевый – равновесие смещено в сторону радия и 3) урановый – характеризуется значительным недостатком радия. В радиоактивных горизонтах некоторых изученных разрезов отмечается недостаток  $^{210}\text{Pb}$ , что является свидетельством активной миграции  $^{222}\text{Rn}$  в окружающее пространство на протяжении достаточно длительного временного периода.

$^{222}\text{Rn}$  является непосредственным продуктом распада  $^{226}\text{Ra}$  и входит в цепочку радиоактивного распада  $^{238}\text{U}$ . По своей природе радон является

радиоактивным инертным газом с периодом полураспада 3,86 дня. Он может активно мигрировать (эманировать) за пределы места своего образования, попадая в поровое пространство окружающих горных пород. Наиболее интенсивно этот процесс может происходить в дезинтегрированных, выветрелых образованиях к которым, безусловно, относятся и высоко окисленные «сажистые» угли. При отсутствии процесса эманирования радиоактивное равновесие в системе  $^{226}\text{Ra} - ^{222}\text{Rn}$  достигается за достаточно короткий промежуток времени близкий к 4–5 неделям. Активное эманирование радона на протяжении достаточно длительного промежутка времени, исчисляемого десятками лет, приводит к нарушению радиоактивного равновесия между  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{210}\text{Pb}$  – последним из долгоживущих радиоактивных изотопов уранового ряда с периодом полураспада 22,2 года. Высокая радиоактивность сажистых углей подразумевает, что они могут выступать источником значительного поступления Rn в окружающую среду. Близкая расположенность к поверхности, частое взаимодействие с грунтовыми водами делает их потенциально опасными для человека, поскольку эманурующий из них Rn может активно поступать в сферу его обитания либо с питьевыми водами в растворенном виде, либо за счет диффузии к поверхности, либо при непосредственном использовании высокорadioактивных углей в бытовых нуждах.

Целью настоящей работы является изучение эманационных характеристик сажистых углей юго-западной части Канско-Ачинского угольного бассейна. Под эманационными характеристиками в первую очередь мы будем понимать: 1) Коэффициент эманирования – отношение количества эманаций (атомов  $^{222}\text{Rn}$ ), выделяющихся из вещества в окружающую среду, к общему количеству эманаций, образу-

ющихся в данном веществе, 2) Время установления равновесия в системе «уголь-атмосфера накопительной камеры» – промежуток времени, по истечении которого количество атомов  $^{222}\text{Rn}$  в атмосфере накопительной камеры остается величиной постоянной за счет равенства скоростей поступления в результате процесса эманации и естественного радиоактивного распада, 3) Скорость эманирования – скорость поступления атомов  $^{222}\text{Rn}$  в атмосферу накопительной камеры, 4) Величину плотности потока радона с поверхности исследуемого образца.

### Объекты и методы исследования Объекты исследования

Для изучения эманационных характеристик «сажистых» углей были выбраны три образца высокоокисленных приповерхностных бурых углей Канско-Ачинского угольного бассейна, представляющие разные месторождения (рис. 1). Все представленные образцы характеризуются повышенными содержаниями радиоактивных элементов (РЭ)  $^{238}\text{U}$  и  $^{226}\text{Ra}$ , а так же высокой степенью выветривания. Содержания  $\text{Th}$  в данных образцах сажистых углей не превышают величину 1 г/т

1) Образец КА13/06-4 отобран из шурфа, заложенного на естественном выходе угольного пласта рядом с д. Глинка. Пласт выходит на поверхность и перекрыт сверху почвенным слоем 5–10 см. Мощность слоя сажистого угля составляет более 80 см. На рис. 2а показано распределение удельных активностей естественных радиоактивных элементов уранового ряда по вертикальному профилю шурфа, полученные методом полупроводниковой гамма-спектрометрии [5–6]. Сажистые угли в данном образце характеризуются близкими к равновесным содержаниями  $^{238}\text{U}$  и  $^{226}\text{Ra}$ . Пониженные, относительно равновесных значений, содержания  $^{210}\text{Pb}$  говорят о значительной постоянной эманации  $^{222}\text{Rn}$

из этих углей. При этом коэффициент эманации может достигать 0,4 и более. В эксперименте использовалась навеска массой 102,7 грамма, взятая из образца, отобранного из горизонта 20–25 см (от поверхности). Удельная активность  $^{238}\text{U}$  в образце составляла 3365 Бк/кг,  $^{226}\text{Ra}$  – 4222 Бк/кг,  $^{210}\text{Pb}$  – 2880 Бк/кг. Исходя из условия наличия векового радиоактивного равновесия с  $^{226}\text{Ra}$ , расчетная равновесная активность  $^{222}\text{Rn}$  в навеске без учета эманации равна 434 Бк.

2) Образец КА05-13/3 (рис. 2б) отобран из профиля сажистых углей, вскрытых на серо-западном борту Березовского разреза. Мощность перекрывающих четвертичных отложений не превышает 10 метров. Мощность слоя сажистого угля – более 2,5 метров. Данный профиль характеризуется сильным смещением радиоактивного равновесия в пользу  $^{226}\text{Ra}$  (до 8 раз). Образец для эксперимента отобран из горизонта 40–50 см от контакта уголь-четвертичные отложения. Удельная активность  $^{238}\text{U}$  в образце составляла 433 Бк/кг,  $^{226}\text{Ra}$  – 2008 Бк/кг,  $^{210}\text{Pb}$  – 2050 Бк/кг. Масса навески, участвовавшей в эксперименте, составила 8,9 грамма, расчетная равновесная активность  $^{222}\text{Rn}$  – 17,9 Бк.

3) Образец КА07-3/8 (рис. 2в) отобран на южном борту Итатского разреза из слоя сажистого угля мощностью более 1,5 метров. Мощность перекрывающих четвертичных отложений не превышает 6 метров. В верхней части профиля сажистых углей наблюдается смещение радиоактивного равновесия в пользу  $^{238}\text{U}$ , место отбора образца характеризуется близким к равновесным содержаниям  $^{238}\text{U}$  и  $^{226}\text{Ra}$ . Образец отобран из горизонта, расположенного в 25–35 см от контакта уголь-четвертичные отложения. Удельная активность  $^{238}\text{U}$  в образце – 1062 Бк/кг,  $^{226}\text{Ra}$  – 1083 Бк/кг,  $^{210}\text{Pb}$  – 1131 Бк/кг. Масса навески участвующей в эксперименте составила 9,2 грамма. Расчетная равновесная активность  $^{222}\text{Rn}$  – 10 Бк.

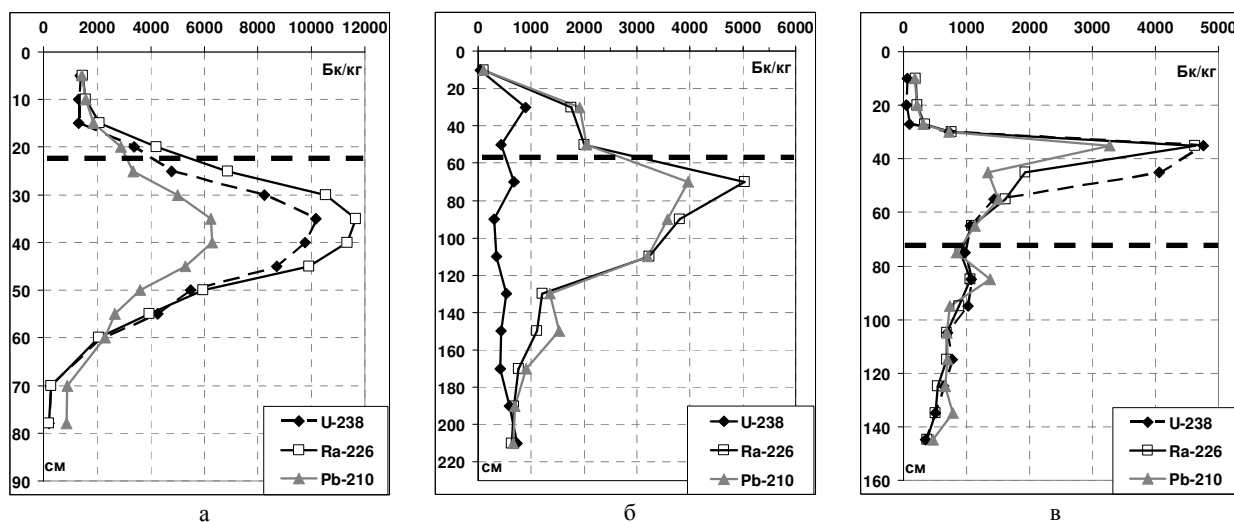


Рис. 2. Распределение РЭ в вертикальных профилях: а – КА13/06 – вскрытые выходы угля у д. Глинка; б – КА05-13 – Березовский разрез; в – КА07-3 – Итатский разрез. Горизонтальными пунктирными линиями обозначены горизонты отбора проб.

### Методические подходы и используемое оборудование

Предлагаемая методика определения эманационных характеристик сажистых углей основана на установлении закономерностей, в том числе и временных, в изменении объемной активности радона (ОАР) в воздухе накопительной камеры после помещения в неё исследуемого образца. Для измерения ОАР в ходе проводимых экспериментов использовался радиометр радона РРА-01М-03 и пробоотборное устройство ПОУ-4, производства НТМ «Защита», Москва. Радиометр радона РРА-01М-03 предназначен для проведения измерений ОА  $^{222}\text{Rn}$  и  $^{220}\text{Tn}$  в воздухе жилых и рабочих помещений, а также на открытом воздухе в пределах эксплуатационных параметров радиометра. Измерение ОА  $^{222}\text{Rn}$  и  $^{220}\text{Tn}$  основано на электростатическом осаждении дочерних продуктов распада  $^{222}\text{Rn}$  и  $^{220}\text{Rn}$  – положительно заряженных ионов  $^{218}\text{Po}$  и  $^{216}\text{Po}$  – из отобранной пробы воздуха на поверхность полупроводникового детектора (ППД) с помощью высокого положительного потенциала, поданного на электрод измерительной камеры. Активность  $^{222}\text{Rn}$  и  $^{220}\text{Rn}$  определяются альфа-спектрометрическим методом по количеству зарегистрированных альфа-частиц при распаде  $^{218}\text{Po}$  и  $^{216}\text{Po}$ . В процессе измерений контролируются такие параметры окружающей среды, как температура, относительная влажность и давление [7].

В ходе эксперимента по определению эманационных характеристик сажистых углей исследуемый образец засыпался в кювету площадью  $28,3 \text{ см}^2$  и

помещался в накопительную камеру объемом 2 литра, которая затем тщательно герметизировалась. Эманурующий из образца  $^{222}\text{Rn}$  накапливался в камере. Время накопления варьировалось от нескольких часов до месяца. Каждый раз после окончания накопления  $^{222}\text{Rn}$  проводилось определение ОАР в накопительной камере по стандартной методике измерения [8], входящей в комплект прибора РРА-01М-03. Определение ОАР проводилось после тщательного перемешивания воздуха между объемами накопительной и измерительной (РРА-01М-03) камер с последующим измерением ОАР в камере РРА. Блок-схема измерительной установки представлена на рис. 3. Для минимизации погрешности измерений, согласно методике, проводилось 4–5 замеров ОАР с последующим усреднением результатов. Время одного замера составляло 20 минут. После каждого цикла измерений камера с образцом и прибор продувались чистым атмосферным воздухом для удаления из накопительной и измерительной камер остатков  $^{222}\text{Rn}$  и продуктов его распада. При расчете ОАР учитывались объемы накопительной (2 л), измерительной (1,6 л) камер и соединительных трубок (0,02 л).

Предложенный подход позволил провести изучение зависимости уровней ОАР в накопительной камере от времени накопления радона и на основе этого провести оценку коэффициентов эманирования, времени установления равновесия в системе «уголь-атмосфера накопительной камеры», скорости эманирования и величины плотности потока  $^{222}\text{Rn}$  из образцов сажистых углей, участвующих в эксперименте.

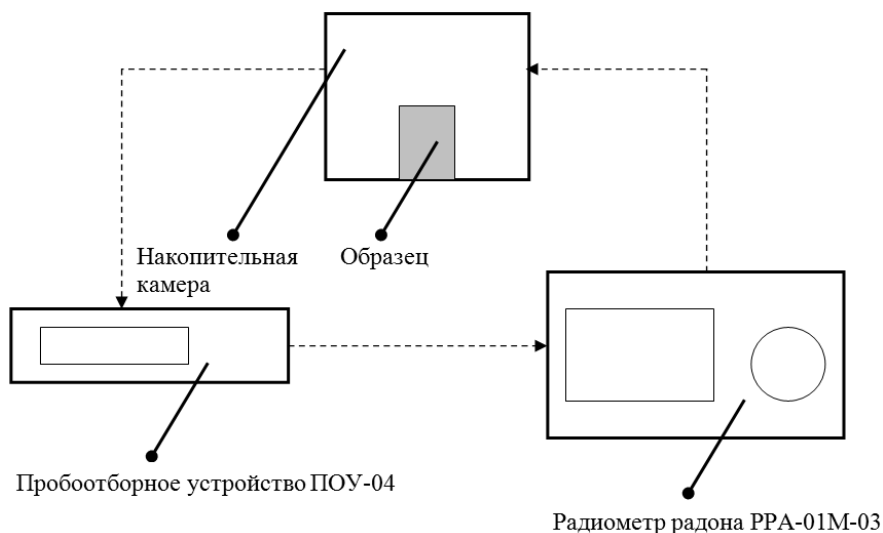


Рис. 3. Блок-схема измерений объемной активности  $^{222}\text{Rn}$ .

### Методика расчета коэффициентов эманирования

При оценке эманационных характеристик «сажистых» углей мы будем исходить из следующих основных положений:

1. При отсутствии процесса эманирования (выхода атомов радона за пределы исследуемого образца) за достаточно короткий промежуток времени, не превышающий 8–10 периодов полураспада  $^{222}\text{Rn}$ , последний

входит в состояние радиоактивного равновесия со своим материнским изотопом  $^{226}\text{Ra}$ . При этом, активности этих изотопов в образце становятся равными. Таким образом, в этом случае, зная величину удельной активности  $^{226}\text{Ra}$ , полученную методом полупроводниковой гамма-спектрометрии, можно определить активность  $^{222}\text{Rn}$  в образце ( $A_{Rn}$ ). Согласно закону радиоактивного распада, при постоянном количестве

атомов  $^{222}\text{Rn}$  в образце ( $N_{Rn}$ ) в условиях радиоактивного равновесия с  $^{226}\text{Ra}$ , скорость распада радона, а значит и его активность, определяется выражением:

$$A_{Rn} = dN_{Rn}/dt = -\lambda N_{Rn} \quad (1)$$

где  $\lambda$  – постоянная распада  $^{222}\text{Rn}$ , равная  $2,09 \cdot 10^{-6} \text{ сек}^{-1}$ .

Таким образом, количество эманаций (атомов  $^{222}\text{Rn}$ ), постоянно находящихся в исследуемом образце, можно рассчитать по формуле:

$$N_{Rn} = A_{Rn}/\lambda. \quad (2)$$

Следует отметить, что в данном случае величина  $N_{Rn}$  характеризует максимально возможное количество атомов  $^{222}\text{Rn}$  в образце.

2. В условиях наличия процесса эманирования часть атомов радона, образовавшихся в результате радиоактивного распада  $^{226}\text{Ra}$ , выходит за пределы исследуемого образца. При этом непосредственно в образце будет наблюдаться нарушение радиоактивного равновесия между радоном и радием, которое будет тем сильнее, чем быстрее радон эманрует. Основной величиной, характеризующей этот процесс, является коэффициент эманирования ( $K_{em}$ ):

$$K_{em} = N_{Rnem}/N_{Rn} \quad (3)$$

где  $N_{Rnem}$  – количество атомов радона эманировавшихся из образца.

Принимая во внимание выражения (1) и (2),  $K_{em}$  можно записать в виде:

$$K_{em} = A_{Rnem}/A_{Rn} \quad (4)$$

где  $A_{Rnem}$  – активность радона эманировавшего из образца.

Количественно величину  $A_{Rnem}$  можно определить либо напрямую эманометрическими методами, либо через измерение активности радона, оставшегося в образце, например, гамма-спектрометрическим методом по дочерним изотомам  $^{214}\text{Pb}$  и  $^{214}\text{Bi}$ .

3. Используемая в настоящей работе экспериментальная установка (герметизированная накопительная камера + образец) является замкнутой системой. Это означает, что при достаточной продолжительности эксперимента, несмотря на эманирование радона за пределы исследуемого образца, суммарное количество радона в атмосфере накопительной камеры и в образце будет соответствовать равновесной с  $^{226}\text{Ra}$  величине.

4. Количество радона в атмосфере накопительной камеры регулируется двумя конкурирующими процессами, а именно, эманацией (выходом) из исследуемого образца и его дальнейшим радиоактивным распадом. В нашем случае при проведении эксперимента следует учитывать ряд начальных условий. Во-первых, начальная концентрация радона в атмосфере накопительной камеры, после ее подготовки, включающей предварительную очистку от радона и продуктов его распада, размещение исследуемого образца и герметизацию, близка к нулю. Во-вторых, концентрация радона в исследуемом образце в начале эксперимента не обязательно должна быть равновесной. При

проведении эксперимента нами не проводилась предварительная подготовка образца с целью установления в нем равновесных концентраций  $^{222}\text{Rn}$  и  $^{226}\text{Ra}$  к началу цикла накопления.

### Обсуждение результатов

Результаты проведенного эксперимента представлены в виде графиков на рис. 4а, 4б, 4в. Для изучения влияния влажности исследуемых образцов на процессы эманации, эксперимент с образцами КА05-13 и КА07-3 проводился как в сухом, так и во влажном состоянии последних. Образец КА13/06 изучался только в сухом состоянии.

Для образца КА13/06-4 временные промежутки начала соответствующего этапа эксперимента до измерения ОА  $^{222}\text{Rn}$  в атмосфере накопительной камеры составляли последовательно 0,5, 25, 49, 61, 73, 94, 120, 504 часов. Из графика, приведенного на рис. 4а, видно, что ОА радона в воздухе накопительной камеры резко возрастает в первые 120 часов. Затем происходит выполаживание кривой с постепенным выходом на насыщение при временах, превышающих 500 часов. Такая картина объясняется высокой скоростью эманации радона из исследуемого образца. При этом влияние радиоактивного распада радона, перешедшего в атмосферу накопительной камеры в первые четверо суток, незначительно и начинает вносить существенный вклад в общий процесс накопления радона в воздухе по истечении 3–4 периодов полураспада  $^{222}\text{Rn}$ . По достижении насыщения радона в атмосфере накопительной камеры скорость его поступления сравнивается со скоростью его распада. Максимальное измеренное значение ОА  $^{222}\text{Rn}$  для данного образца составило величину  $63500 \text{ Бк/м}^3$ , что соответствует активности 127 Бк. Учитывая, как отмечалось ранее, что при условии наличия векового радиоактивного равновесия с  $^{226}\text{Ra}$ , расчетная активность  $^{222}\text{Rn}$  в образце КА13/06 без учета эманации равна 434 Бк, можно рассчитать коэффициент эманирования радона из образца. Согласно формуле (4)  $K_{em}$  в данном случае составил величину равную 0,29. При этом плотность потока радона с поверхности образца составила величину  $0,044 \text{ Бк/см}^2\text{с}$  на один грамм вещества.

Для образца КА05-13/3 (рис.4б) временные промежутки накопления радона в атмосфере камеры составили для сухого состояния 71, 118, 288, 528, 576 часов, а для влажного 24, 70, 168, 450, 552 часов. Как и в первом случае, эксперимент с сухим образцом показывает быстрое накопление радона в первые 118 часов с дальнейшим равномерным выходом на насыщение. При влажном состоянии образца этот промежуток времени продлевался до 168 часов. Максимальные измеренные значения ОА  $^{222}\text{Rn}$  составили  $2130 \text{ Бк/м}^3$  для сухого образца, что соответствует активности 4,26 Бк, и  $4356 \text{ Бк/м}^3$  для влажного образца (8,71 Бк). Расчеты показывают, что коэффициент эманирования радона из влажного образца практически в два раза превышает таковой для сухого образца и

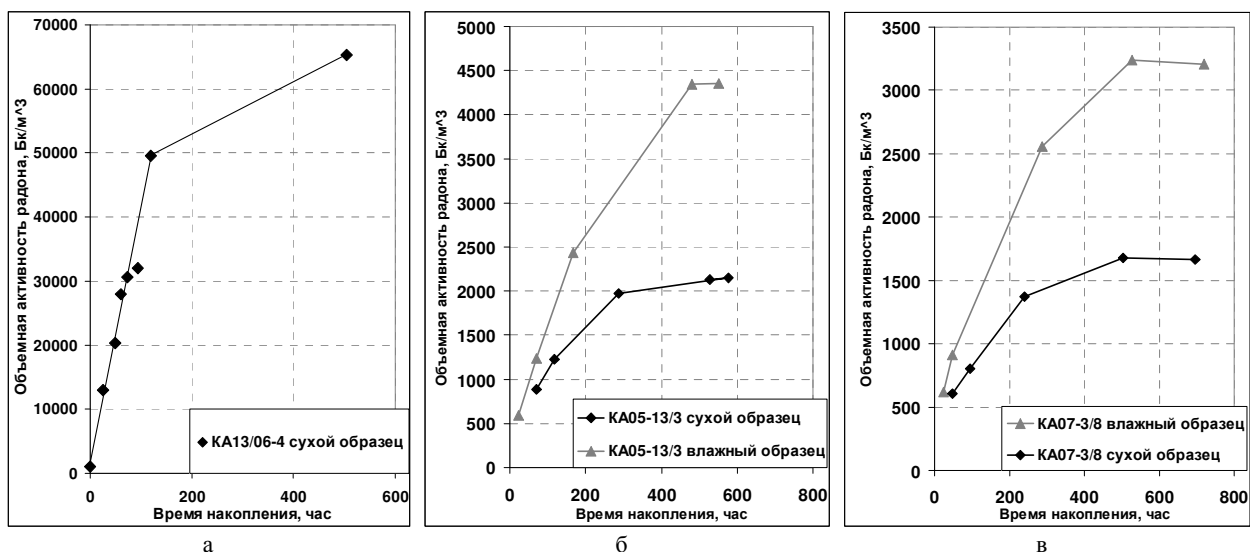


Рис. 4. Зависимость объемной активности радона от времени его накопления в камере для образцов: а – KA13/06-4; б – KA05-13/3; в – KA07-3/8.

составляет величину 0,49. Для сухого образца  $K_{em}$  равен 0,2. Плотность потока радона с поверхности образца составила 0,035 и 0,017 Бк/см<sup>2</sup>с на один грамм вещества, соответственно для влажного и сухого состояния.

Аналогичная картина в процессе эманирования радона наблюдалась и для третьего образца (рис. 4в). Максимальное зарегистрированное значение ОА <sup>222</sup>Rn в накопительной камере составило для сухого образца 1673 Бк/м<sup>3</sup> (3,35 Бк) и 3239 Бк/м<sup>3</sup> (6,48 Бк) – для влажного при временах накопления более 500 часов. Коэффициенты эманирования равны 0,34 и 0,65 соответственно. Плотность потока радона с поверхности образца – 0,013 и 0,025 Бк/см<sup>2</sup>с на один грамм вещества.

Анализ формы кривых зависимостей объемной активности радона от времени его накопления, представленных на рис. 4, показывает, что время установления равновесных значений ОА <sup>222</sup>Rn в атмосфере накопительной камеры во всех случаях составило около 20 суток, т.е. порядка 5 периодов полураспада радона.

Значительные различия в величинах коэффициентов эманирования радона из сухих и влажных образцов можно объяснить следующим. При сильной дезинтеграции вещества, а именно это наблюдается в сажистых углях, происходят процессы, приводящие к нарушениям в его структуре и, как следствие, к появлению на поверхности частиц большого количества центров, характеризующихся наличием некомпенсированных зарядов. При прохождении в поровое пространство такого вещества радон, являясь отрицательно заряженным ионом после распада материнского <sup>226</sup>Ra, сорбируется на таких центрах. Соответственно, чем более активно протекает такой процесс, тем меньше коэффициент эманации Rn из вещества. Наиболее сильно этот процесс проявляется в веществе, находящемся в сухом состоянии. При

увлажнении образцов ионы водорода (H<sup>+</sup>) и гидроксид-ионы (OH<sup>-</sup>), составляющие молекулы воды, во многом нейтрализуют находящиеся на поверхности частиц некомпенсированные заряды. Таким образом, эффективность сорбции радона в веществе значительно падает, и, как следствие, повышается коэффициент эманирования. Подобные результаты подтверждаются работами других авторов [9–10]. Следует отметить, что переувлажнение вещества может привести к обратному эффекту, когда все поровое пространство вещества заполняется водой. В этом случае эманация Rn может прекратиться вовсе.

### Заключение

Сажистая структура высоко окисленных углей юго-западной части Канско-Ачинского угольного бассейна является одной из причин их большой эманационной способности. Проведенные эксперименты показали, что интенсивность процесса эманации радона сильно зависит от такого параметра, как влажность. Так, для изученных образцов сажистых углей, находящихся в сухом состоянии, коэффициенты эманирования варьировались в диапазоне от 0,24 до 0,34, в то время как для влажных образцов – от 0,49 до 0,65. Время установления равновесных концентраций радона в атмосфере накопительной камеры соответствует 5 периодам полураспада <sup>222</sup>Rn. Величины плотностей потока радона с поверхности образцов, участвовавших в эксперименте, варьировали в диапазоне от 0,013 до 0,017 Бк/см<sup>2</sup>с на один грамм вещества для сухого состояния и от 0,025 до 0,035 для влажного.

*Работа выполнена в рамках государственного задания № 0330-216-0011. Аналитические исследования проведены в «ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН».*

ЛИТЕРАТУРА

1. Uranium and its decay products in radioactive anomalies of oxidized brown coals (western part of Kansk-Achinsk brown coal basin) / M. S. Melgunov [et al.] // Radioprotection. – 2011. – V. 46. – N. 6. – P. 371–376
2. Гаврилин, К. В. Канско-Ачинский угольный бассейн / К. В. Гаврилин, А. Ю. Озерский. – Москва: Недра. – 1996. – 272 с.
3. Арбузов, С. И. Геохимия редких элементов в углях Сибири / С. И. Арбузов, В. В. Ершов. – Томск: Изд. дом "Д-Принт". – 2007. – 468 с
4. Юдович, Я. Э. Ценные элементы-примеси в углях / Я. Э. Юдович, М. П. Кетрис. – Екатеринбург: УрО РАН. – 2006. – 538 с.
5. Аномалии радиоактивности на южном побережье озера Иссык-Куль (Кыргызстан) / М. С. Мельгунов [и др.] // Химия в интересах устойчивого развития. – 2003. – Т. 11. – № 6. – С. 869–80.
6. Disequilibrium between uranium and its progeny in the Lake Issyk-Kul system (Kyrgyzstan) under a combined effect of natural and manmade processes / V. M. Gavshin [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2005. – V. 83. – P. 61–74.
7. Руководство по эксплуатации. Радиометр радона РРА-01М-03. МГФК 412124.003 РЭ. – Москва. – 2004. – 34 с.
8. Рекомендация. Методика экспрессного измерения плотности потока радона-222 в воздухе, в воде, с поверхности земли и в почвенном воздухе с помощью радиометра радона типа РРА. – 2004. – 21 с.
9. Кургуз, С. А. Эманирование горных пород. Классификация по отношению к влажности / С.А. Кургуз. [Электронный ресурс]. URL: <http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/7456/s010-005.pdf?sequence=1> (Дата обращения 12.12.2017)
10. Микляев, П. С. Влияние влажности на эманирование песчано-глинистых пород / П. С. Микляев, Т. Б. Петрова // АН-РИ. – 2009. – №1. – С. 53–57.

*Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск*

*Жданов Тимур Камильевич, инженер  
E-mail: tzhdv@mail.ru*

*Мельгунов Михаил Сергеевич, ст.н.с., к.г.-м.н.  
E-mail: mike@igm.nsc.ru  
Тел.: +7 (383) 333-23-07*

*The V. S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the Russian Academy of Sciences (IGM SB RAS), Novosibirsk*

*Zhdanov T. K., engineer  
E-mail: tzhdv@mail.ru*

*Melgunov M. S., senior researcher, Ph.D  
E-mail: mike@igm.nsc.ru  
Tel.: +7 (383) 333-23-07*