

Уточнение модели связей летучих газов почвенного воздуха, радона и атмосферного электрического поля

В.Н. Шулейкин

Институт проблем нефти и газа РАН, г. Москва, Россия

E-mail: shvn1947@yandex.ru

Аннотация. Задачей исследования является уточнение связей летучих газов, радона грунта и радона атмосферы с учетом результатов экспериментов. Представлено физическое объяснение наличия и отсутствия корреляционных связей углекислого газа и радона грунта, аномального выброса радона грунта и радона атмосферы при предгрозовом падении атмосферного давления. Отмечено, что комплекс связей водорода, метана, радона грунта и радона атмосферы с учетом условий наблюдений и падения атмосферного давления никогда не рассматривался. Рассмотрены условия отбора проб почвенного воздуха и участие углекислого газа в переносе радона в приповерхностных слоях грунта.

Ключевые слова: водород, метан, углекислый газ, радон, перенос, атмосферное давление, грунтовые воды.

Для цитирования: Шулейкин В.Н. Уточнение модели связей летучих газов почвенного воздуха, радона и атмосферного электрического поля // Актуальные проблемы нефти и газа. 2022. Вып. 1(36). С. 98–109. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2022-36.art6>

Введение

Впервые комплекс работ по атмосферно-электрическому мониторингу углеводородных скоплений был проведен в 1999 г. на территории Щелковского подземного хранилища газа (ПХГ). В ходе мобильных измерений атмосферного электрического поля (АЭП) на наблюдательных профилях бесконтактно был обрисован контур пласта-коллектора [1–3]. Работы были продолжены на Калужской кольцевой структуре, Калужском, Касимовском и Северо-Ставропольском ПХГ и включали комплекс наблюдений за содержанием радона, почвенного и атмосферного воздуха, водорода почвенного воздуха и отбор образцов почвенного воздуха для последующего лабораторного анализа на содержание летучих газов. Полученные результаты позволили связать контролируемые характеристики Земли и атмосферы: пузырьковые образования водорода и метана выносят почвенный радон

с глубины 4–6 м в приповерхностную атмосферу, где он становится единственным естественным ионизатором воздуха [1–6]. Выявленные связи газовых и атмосферно-электрических полей Земли и атмосферы (модель связей H_2CH_4Rn) более 20 лет успешно используются для интерпретации результатов измерений при мониторинге объектов нефтегазовой отрасли [1–3].

На сегодняшний день в научной литературе появились результаты измерений, доказывающие перенос радона в грунте углекислым газом [7], что противоречит данным работы [1], где корреляция этих газов не наблюдается. Более того, в ходе полевых наблюдений на Касимовском ПХГ был зафиксирован ~15-кратный рост объемной активности радона в приповерхностных слоях грунта и приземной атмосфере при предгрозовом падении давления [3], что теоретически никак не объясняется в рамках модели связей H_2CH_4Rn .

Задача работы – физическое объяснение очевидных противоречий данных полевых наблюдений путем подробного рассмотрения условий получения результатов и особенностей динамики водоносных пластов, вызванных предгрозным падением атмосферного давления.

Примеры противоречий данных полевых наблюдений

В целях уточнения связей летучих газов, радона грунта и радона атмосферы был рассмотрен и проанализирован ряд работ, иллюстрирующих различные условия проведения исследований и показывающие противоречия с моделью связей H_2CH_4Rn при трактовке результатов.

Первый пример – анализ исследований, проведенных на станции непрерывного контроля объемной активности радона и содержания углекислого газа, открытой для наблюдений за газовыми предвестниками землетрясений в северной части разлома Продольная Долина (LVF) на востоке о. Тайвань. Отбор почвенных газов осуществлялся с глубины 2,5 м из приемка, заполненного гравием и перекрытого сверху брезентом, в приемные камеры датчиков радона (относительная ошибка ~ 10%) и углекислого газа (относительная ошибка ~ 1%). Регистрация велась с интервалами 15 мин и 1 час. На рис. 1 представлены характерные записи вариаций контролируемых параметров (радона и углекислого газа), которые связывались с динамикой метеорологической ситуации и сейсмической активности [7].

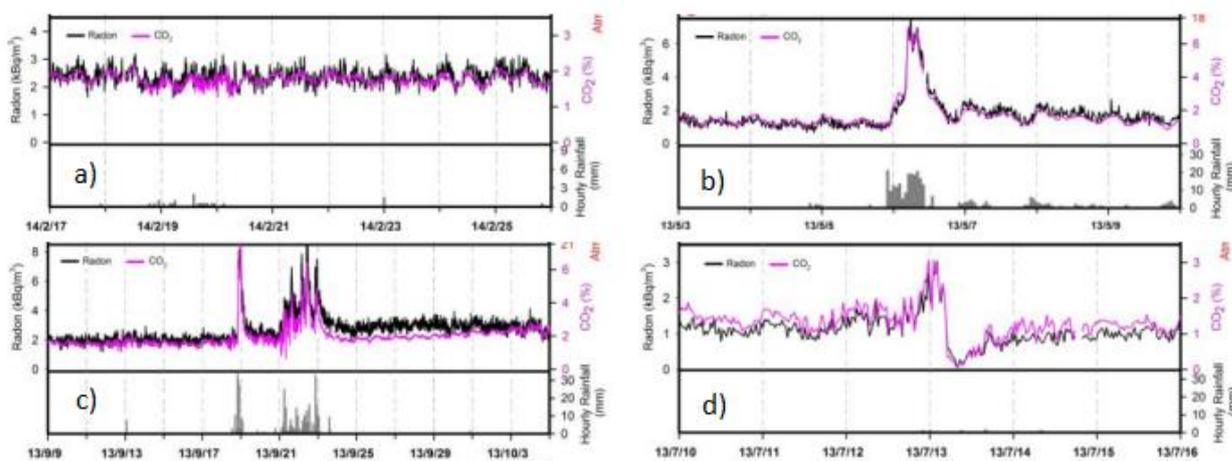


Рис. 1. Вариации объемной активности радона и концентрации двуокси углерода в северной части разлома Продольная Долина (LVF) на востоке о. Тайвань: а – фоновые; б, с – при наличии осадков; д – при прохождении тайфуна «Соулик» [7]

Согласно модели связей H_2CH_4Rn [1] транспорт ионизатора в приповерхностные слои грунта и атмосферу осуществляется с глубины 4–6 м водородом и метаном.

При отборе проб на станции непрерывного контроля [7] в северной части разлома Продольная Долина (LVF) на

востоке о. Тайвань в заборный приемок (см. рис. 1), расположенный на глубине 2,5 м, попадает почвенный радон, переносимый водородом и метаном. При анализе записей, представленных на рис. 1, будем считать, что в переносе радона участвуют все три газаносителя – водород, метан и углекислый газ.

На рис. 1а представлены вариации объемной активности радона и содержания углекислого газа. Визуально записи коррелируют между собой, разброс превышает ошибки измерений, составляя величину $\Delta Rn \sim 0,5$ Бк/л и величину $\Delta CO_2 \sim 0,5\%$, что позволяет говорить о явной связи между контролируемыми параметрами и синфазными с ними вариациями почвенного водорода и метана.

На записи вариаций (см. рис. 1б) корреляция сохраняется, хотя амплитуда разброса колебаний уменьшается в 3–4 раза. В период дождей зарегистрирован всплеск CO_2 и Rn , в среднем, в 3 раза превышающий фоновый уровень. Причина всплеска связана с выпадением осадков, которые тампонируют приповерхностное поровое пространство, направив тем самым субвертикальный поток водорода и метана, углекислого газа и радона в область засыпанного гравием приемка, имеющего через заборную трубу выход в атмосферу. При этом участие водорода, метана и углекислого газа синфазно.

График, представленный на рис. 1д, позволяет говорить о наличии связей между радоном и тремя газами-носителями только с середины дня 11.07.13 до 12.07.13. В этот период пункт наблюдений попал в зону действия тайфуна «Соулик», и, скорее всего, вызванными им вариациями атмосферного давления.

Атмосферно-электрический мониторинг геологических неоднородностей и зон геодинамических процессов всегда проводился в условиях хорошей погоды [8–10] – в отсутствие осадков, тумана, низкой облачности и при скорости ветра до 6 м/с. Представленные на рис. 1 записи проанализированы исключительно для демонстрации участия водорода и метана в переносе радона в грунте.

На втором этапе анализа работы [7] рассмотрены вариации радона и углекислого газа на более длинных, 15-месячных массивах (рис. 2).

Визуальный анализ рисунков 2а и 2б, на первый взгляд, позволяет говорить о наличии корреляции углекислого газа и радона. На графиках видно, что «сигнал» по углекислому газу и по радону с начала апреля до середины августа сравнительно стабилен, после чего начинается плавный рост углекислого газа на величину $\Delta CO_2 \sim 1–2\%$, радона – на величину $\Delta Rn \sim 1–1,5$ Бк/л. Рост объемной активности радона заканчивается к декабрю 2013 г. (см. рис. 2а); максимум концентрации углекислого газа достигается приблизительно в середине октября 2013 г. (см. рис. 2б).

На рис. 2с представлены нормированные средние значения зарегистрированных вариаций углекислого газа и радона, рассчитанные по следующим формулам:

$$CO_2(\text{норм}) = CO_2(t)/CO_2(\text{сред}) - 1,$$

$$Rn(\text{норм}) = Rn(t)/Rn(\text{сред}) - 1,$$

где t – время отсчета.

Анализ записи (см. рис. 2с) показывает, что синфазный ход газов-носителей и радона наблюдается в относительно короткие промежутки времени, когда содержание контролируемых газов сравнимо со средними значениями, – нулевые значения кривых. Предположительно, это временные интервалы, когда метеорологическая ситуация и процессы в земной коре минимально влияют на динамику переноса газов в грунте. На остальных, существенно более длинных отрезках записей, в силу различных геодинамических процессов в транспорте ионизатора могут доминировать как водород и метан, так и углекислый газ.

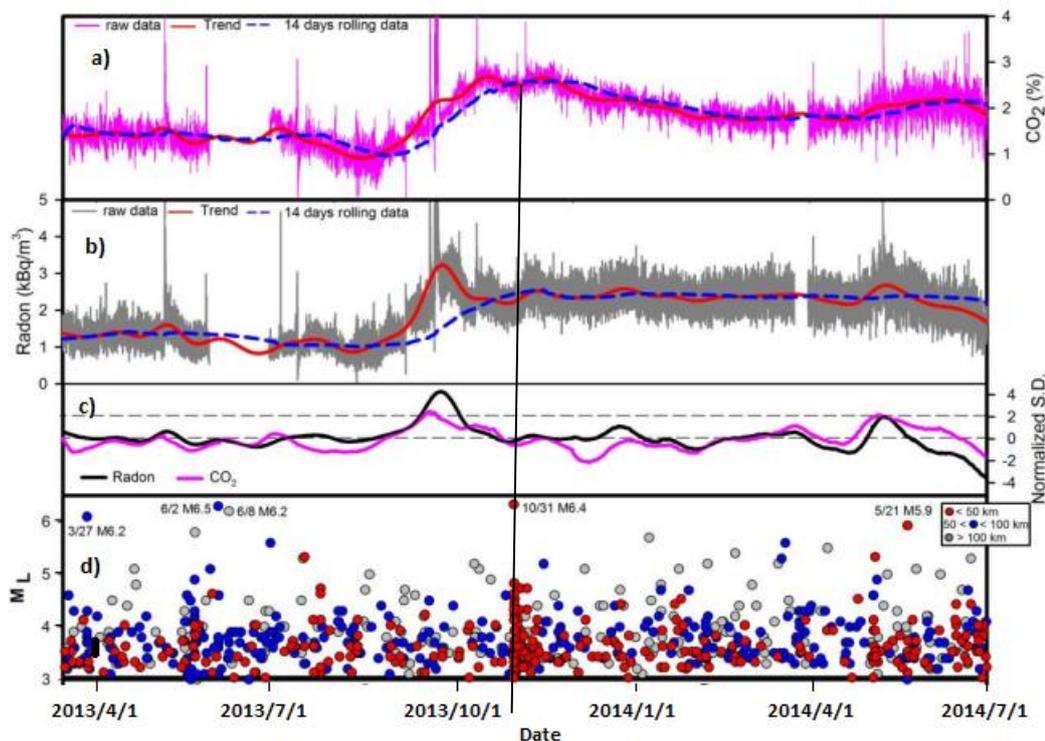


Рис. 2. Вариации объемной активности радона и концентрации двуокиси углерода и режим сейсмичности в северной части разлома Продольная Долина (LVF) на востоке о. Тайвань: а – концентрация углекислого газа; б – объемная активность радона; в – нормированные значения концентрации углекислого газа и объемной активности радона; д – магнитуда землетрясения [7]

За период наблюдений станция мониторинга в северной части разлома Продольная Долина (LVF) на востоке о. Тайвань сотни раз попадала в эпицентральной зоне землетрясений [7, 11]. В частности, в середине ноября 2013 г. был зарегистрирован рой землетрясений на удалении до 50 км от пункта наблюдений (см. рис. 2d). Это позволяет предположить, что деформационные процессы в преддверии роя землетрясений перевели геологическую среду в состояние растяжения, о чем говорит рост концентраций контролируемых газов. Рой землетрясений в ноябре 2013 г. вызвал разрядку этих напряжений, привел к стабилизации уровня CO_2 и Rn.

Проанализированные результаты мониторинга китайских авторов доказывают, что в противоречие с моделью связей $\text{H}_2\text{CH}_4\text{Rn}$ перенос

ионизатора в приповерхностных слоях грунта осуществляется, в том числе, и пузырьковыми образованиями углекислого газа – «нулевые» значения (см. рис. 2с) означают корреляцию CO_2 , H_2 и CH_4 ; в остальных случаях корреляция теряется – в транспорте радона доминируют углекислый газ или водород и метан.

Остановимся на явном противоречии данных, представленных на рис. 1 и 2 [7], и результатами измерений на Калужской кольцевой структуре (следующий пример) [3].

Здесь, помимо оперативных измерений АЭП и радона, выборочно отбирались пробы почвенного воздуха для лабораторного анализа на содержание водорода, метана и углекислого газа по трассам, расходящимся под прямым углом от центра Калужской кольцевой структуры (рис. 3).

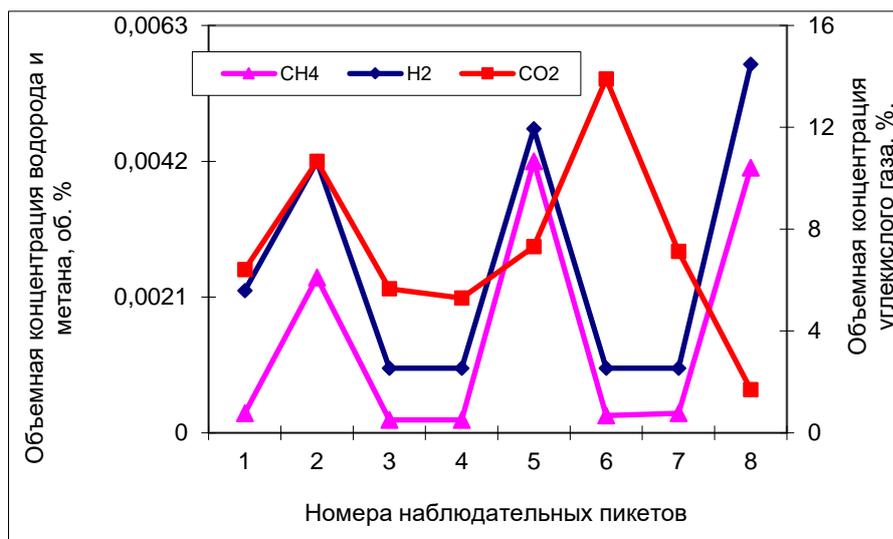


Рис. 3. Концентрации летучих газов почвенного воздуха (лабораторный анализ 8 проб) и результаты оперативного анализа объемной активности радона грунта (Калужская кольцевая структура) [3]

Коэффициенты корреляции (по 8 пикетам), см. рис. 3, между концентрацией водорода и метана очень высок:

$$k_{H_2, CH_4} = 0,97;$$

а для водорода и углекислого газа – мал:

$$k_{H_2, CO_2} = 0,29.$$

Коэффициенты корреляции между концентрациями водорода, метана и объемной активностью радона на рассматриваемых пикетах тоже достаточно велики:

$$k_{Rn, H_2} = 0,84;$$

$$k_{Rn, CH_4} = 0,90.$$

Рассмотрим еще один пример, физическое объяснение которого не укладывается в рамки модели связей H_2CH_4Rn и элементов приземного атмосферного электричества.

В мае 1987 г. при выполнении работ на полигоне «Узнож» в Белоруссии при прохождении кучево-дождевого облака, до выпадения осадков, были получены крайне интересные записи АЭП и уровня воды в наблюдательной скважине z , вскрывающей водонапорный горизонт на глубине 125 м.

На рис. 4 представлена запись измеренных и расчетных значений АЭП – $E(t)$ и $E(z)$ в зависимости от вариаций уровня воды в наблюдательной скважине z при падении атмосферного давления перед грозой [1].

Подъем уровня воды при прохождении кучево-дождевого облака составил величину ~ 3 мм.

Коэффициент корреляции между измеренными и расчетными значениями:

$$k_{E(t), E(z)} = 0,91.$$

Образование кучево-дождевого облака сопровождается падением атмосферного давления. В стабильном состоянии вес столба атмосферного воздуха удерживает уровень водоносных горизонтов на определенном значении. Падение атмосферного давления приводит к подъему уровней. Чувствительность грунтовых вод и верховодки к падению атмосферного давления (барометрическая эффективность) составляет ~ 8 мм/гПа; в водонапорных пластах, изолированных от атмосферы, она существенно меньше ~ 2 мм/гПа [12, 13].

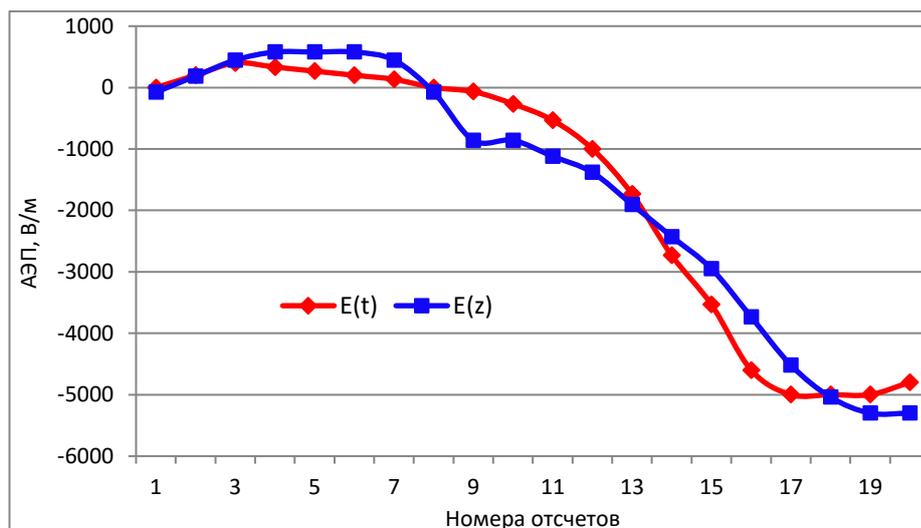


Рис. 4. Графики зависимостей измеренных по временным отсчетам значений АЭП – $E(t)$ и расчетных значений АЭП от вариации уровня воды в наблюдательной скважине z – $E(z)$ на полигоне Узнож, Белоруссия [1]

В рассмотренном примере динамика воздухообмена почва–атмосфера связана с динамикой уровня верховодки и грунтовых вод (начальный уровень $\sim 0,8$ м). Если в ходе наблюдений их уровень поднялся примерно на 12 мм, это составляет всего 1,5% от начального уровня грунтовых вод. Связующим звеном между уменьшением объема порового пространства и АЭП является почвенный радон. В рассматриваемом примере при уменьшении объема порового пространства на 1,5% значение АЭП (по модулю) увеличилось в 9 раз, что никак не объясняется моделью связей H_2CH_4Rn .

Аналогичное увеличение объемной активности радона при предгрозовом падении давления удалось наблюдать в июле 2003 г. на Касимовском ПХГ [1, 3]. Анализ пробы воздуха в сцинтилляционном датчике радона проходит в режиме накопления и занимает 10–15 минут [1]. Поэтому для получения синхронных данных об объемной активности радона грунта и атмосферы измерения проводились с

использованием двух одинаковых датчиков радона, прошедших предварительную проверку на идентичность. Работы проводились на базе геофизиков Касимовского газохранилища на подушке насыпного грунта (песка) толщиной 0,6–0,8 м на заболоченной территории. В цикле единого пробозабора почвенный воздух прокачивался через рабочий объем датчика водорода в рабочий объем датчика радона. Измерения проводились за 43 мин, 23 мин и 3 мин перед началом грозы. Результаты измерений представлены в табл. 1, в последней строке таблицы даны отношения контролируемых параметров за 3 мин и 43 мин перед выпадением осадков [3].

Рост объемной активности радона грунта и атмосферы за 40 мин в 16,3 раза никак нельзя объяснить в рамках модели связей H_2CH_4Rn – уменьшение порового пространства за счет подъема уровня грунтовых вод на 1,5% не объясняет столь сильное увеличение объемной активности радона грунта и атмосферы.

Таблица 1

Результаты изменений объемной активности радона грунта, атмосферы, водорода и АЭП при падении атмосферного давления в предгрозовую период на Касимовском ПХГ [3]

Время перед грозой (время падения давления)	Rn, Бк/л	Rn(a), Бк/л	H ₂ , ×10 ⁻⁴ об.%	АЭП, В/м
43 мин	0,67	0,32	4,2	312
23 мин	4,73	1,75	10,5	-1180
3 мин	11,59	4,9	35,2	-7500
Рост содержания радона и водорода за 40 мин	17,3 раза	15,3 раза	8,3 раза	24 раза по мод.

Обсуждение результатов

По модели связей H₂CH₄Rn транспорт ионизатора в приповерхностные слои грунта и атмосферу осуществляется пузырьковыми образованиями водорода и метана почвенного воздуха. Результаты измерений в работе [7] (см. рис. 1 и 2) доказывают, что перенос радона в грунте осуществляют, в том числе, и пузырьковые образования углекислого газа. В то же время из результатов наблюдений на Калужской кольцевой структуре следует, что корреляция между концентрацией CO₂ и объемной активностью радона практически отсутствует – коэффициент корреляции равен 0,29.

Для объяснения этого противоречия следует обратить внимание на условия отбора газовых проб для последующего лабораторного анализа. Измерения проводились вдоль нагруженных транспортом трасс, расходящихся из центра Калужской кольцевой структуры. Практически непрерывный техногенный сейсмический шум, генерируемый движущимся транспортом, естественно интенсифицировал воздухообмен почва–атмосфера [1–3]. Из приведенных на рис. 1b и 1c записей следует, что при выпадении осадков основной сброс почвенных газов проходил через засыпанный гравием

приямок в заборную трубу; приземное поровое пространство было тампонируемо водой и резко сокращало воздухообмен почва–атмосфера. Кроме того, активный воздухообмен усугублен техногенным сейсмическим воздействием и снижает содержание углекислого газа в зоне отчуждения, так как проходит через песчано-гравийную подушку, заложенную в основу шоссе дорог.

Выхлопные газы дизельных и бензиновых двигателей содержат от 10% до 16% CO₂, что практически на порядок превышает содержание углекислого газа в приповерхностных слоях грунта, даже в необедненной концентрации углекислого газа в зоне отчуждения. Как результат, в зоне отчуждения CO₂ происходит «вдох» горячих выхлопных газов в приповерхностные слои грунта. Среднее содержание углекислого газа в пробах – 7,2%, что в 2–3 раза больше, чем в данных измерений, приведенных на рис. 1 и 2. Отсюда и наблюдается практически отсутствие корреляции с водородом, метаном и радоном почвенного воздуха.

Можно допустить, что в местах отбора первых 4 проб почвенного воздуха из 8 (см. рис. 3) доминировал углекислый газ почвенного воздуха, что обеспечило корреляцию водорода с углекислым газом на этих участках ($k_{H_2,CO_2} = 0,98$).

Таким образом, во избежание погрешности, забор образцов почвенного воздуха следует производить за пределами зоны отчуждения нагруженных транспортом трасс.

Транспорт радона пузырьковыми образованиями газов атмосферного воздуха имеет наглядное экспериментальное подтверждение. При создании в лабораторных условиях табулированной объемной активности радона в замкнутом объеме в сосуд с растворенной солью радия закачиваются пузырьковые образования атмосферного воздуха. Обогащенный радоном воздух из сосуда поступает в замкнутый объем, где создается табулированная концентрация ионизатора.

Результаты измерений, проведенных на станции непрерывного контроля объемной активности радона и содержания углекислого газа в северной части разлома Продольная Долина (LVF) на востоке о. Тайвань, представленные на рис. 1 и 2, указывают на участие CO₂ в транспорте почвенного радона. Содержание углекислого газа в почве может достигать до 15%, тогда как в атмосфере эта величина оценивается сотыми долями процента. Перенос углекислого газа, и, соответственно, ионизатора направлен к поверхности Земли. Однако удельный вес атмосферного воздуха на треть меньше удельного веса газа-носителя – переносимый пузырьковыми образованиями углекислого газа радон будет оставаться в приповерхностных слоях грунта и минимально участвовать в ионизации приземного воздуха.

И, наконец, вернемся к увеличению содержания радона грунта и атмосферы

(см. табл. 1) при резком падении атмосферного давления. Сравним концентрации азота, кислорода и углекислого газа (табл. 2).

Таблица 2

Результаты сравнения концентраций азота, кислорода и углекислого газа в почвенном и атмосферном воздухе¹

Газы-носители радона	Концентрация газа в грунте, %	Соотношение концентраций	Концентрация газа в атмосфере, %
N ₂	68–73	<	79,1
O ₂	5–21	<	21,9
CO ₂	0,1–15	>	0,03

Согласно лабораторным экспериментам азот и кислород переносят радон, но при принудительной прокачке воздуха. В природе газы перетекают от большей концентрации к меньшей. При этом углекислый газ будет увеличивать содержание радона в приповерхностных слоях грунта. Из табл. 1 следует, что вторым газом-носителем радона, не только в приповерхностные слои грунта, но и в атмосферу, активно работает водород. Измерения ставились на заболоченной территории, где, по определению, присутствует повышенная концентрация метана – третьего газа-носителя радона в атмосферу.

Грунтовые условия и метеорологическая ситуация наблюдений на полигоне Узнож / на базе геофизиков Касимовского ПХГ очень близки друг другу: уровень водоносного пласта ~ 0,8 м / 0,8 м; время роста уровня – 36 мин. / 40 мин.

Для проведения оценки с учетом барометрической эффективности использовался подъем уровня воды 12 мм.

¹ <https://cf.ppt-online.org/files/slide/0/0QmNI4ithqXfHkRvbFeTzlxA9B5ujJSCk26Oyo/slide-13.jpg>

С учетом временного интервала падения давления, равного 40 мин, скорость подъема уровня составила ~ 0,3–0,33 мм/мин, то есть была очень велика. В результате интенсифицировалось выделение растворенных в воде водорода, метана, углекислого газа и радона. Как следствие, все три газа-носителя резко повысили объемную активность радона грунта, а два из них – водород и метан – привели к многократному росту эксхалляции почвенного радона.

Заключение

Модель связей H_2CH_4Rn и элементов приземного атмосферного электричества, более 20 лет используемая при интерпретации результатов полевых наблюдений в нефтегазовой отрасли, была пересмотрена и уточнена.

Эксперименты, проведенные на станции непрерывного контроля объемной активности радона и содержания углекислого газа в северной части разлома Продольная Долина (LVF) на востоке о. Тайвань, доказывают, что в приповерхностных слоях грунта перенос ионизатора осуществляется не только водородом и метаном, но еще и

углекислым газом; из-за большего, по сравнению с воздухом, удельного веса, углекислый газ в транспорте радона в атмосфере не участвует.

В ряде случаев, особенно тогда, когда концентрации углекислого газа и радона близки к средним значениям, все три газа-носителя в грунте работают синфазно, что видно по устойчивой корреляции углекислого газа и радона. В большинстве геодинамических и метеорологических ситуаций эта синфазность нарушается, что видно по потере корреляции газов-носителей – водород и метан выносятся на глубину 2,5 м или большее, или меньшее количество ионизатора.

Особые условия возникают при падении атмосферного давления, когда из-за быстрого подъема уровня верховодки и грунтовых вод интенсифицируется выделение растворенных в воде водорода, метана, углекислого газа и радона.

Как следствие, все три летучих газа-носителя увеличивают объемную активность ионизатора в приповерхностных слоях грунта, а два из них – водород и метан – пропорционально интенсифицируют эксхалляцию радона.

Статья написана в рамках выполнения государственного задания (тема «Фундаментальный базис энергоэффективных, ресурсосберегающих и экологически безопасных, инновационных и цифровых технологий поиска, разведки и разработки нефтяных и газовых месторождений, исследование, добыча и освоение традиционных и нетрадиционных запасов и ресурсов нефти и газа; разработка рекомендаций по реализации продукции нефтегазового комплекса в условиях энергоперехода и политики ЕС по декарбонизации энергетики (фундаментальные, поисковые, прикладные, экономические и междисциплинарные исследования)», № 122022800270-0).

Литература

1. Шулейкин В.Н., Щукин Г.Г., Куповых Г.В. Развитие методов и средств прикладной геофизики – атмосферно-электрический мониторинг геологических неоднородностей и зон геодинамических процессов. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2015. 206 с.

2. *Shuleikin V.N.* Geology, geodynamics, and atmospheric electricity. Newcastle upon Tyne: Cambridge Scholars Publishing, 2020. 167 p.
3. *Shuleikin V.N.* The Earth and atmospheric electricity. New York: Nova Science Publishers, 2018. 159 p.
4. *Кашлева Л.В.* Атмосферное электричество. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2008. 115 с.
5. *Тверской П.Н.* Курс метеорологии. Л.: Гидрометиздат, 1962. 700 с.
6. *Френкель Я.И.* Теория явлений атмосферного электричества. Л.; М.: Гос. изд-во техн.-теорет. лит., 1949. 155 с.
7. *Fu C.C., Yang T.F., Tsai M.C.* et al. Exploring the relationship between soil degassing and seismic activity by continuous radon monitoring in the Longitudinal Valley of eastern Taiwan // *Chemical Geology*. 2017. Vol. 469. P. 163–175. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2016.12.042>
8. Руководство по наземным наблюдениям за элементами атмосферного электричества // Л.: Изд-во ГГО им. А.И. Воейкова, 1960. 95 с.
9. *Имянитов И.М., Шифрин К.С.* Современное состояние исследований атмосферного электричества // *Успехи физических наук*. 1962. Т. 76, Вып. 4. С. 593–642. <https://doi.org/10.3367/UFNr.0076.196204a.0593>
10. *Семенов К.А.* Хорошая погода и элементы атмосферного электричества // *Труды ГГО им. А.И. Воейкова*. 1982. Вып. 455. С. 112–119.
11. *Добровольский И.П.* Математическая теория подготовки и прогноза тектонического землетрясения. М.: Физматлит, 2009. 240 с.
12. *Багмет А.Л., Багмет М.И., Барабанов В.Л.* и др. Исследование земноприливных колебаний уровня подземных вод на скважине «Обнинск» // *Известия АН СССР. Физика Земли*. 1989. № 11. С. 84–95.
13. *Барабанов В.Л., Гриневский А.О., Калачев А.А., Савин И.В.* Частотная характеристика системы скважина–водоносный горизонт по данным наблюдений за уровнем подземных вод // *Известия АН СССР. Физика Земли*. 1988. № 3. С. 41–50.

Refinement of the model of relations between volatile gases of soil air, radon and atmospheric electric field

V.N. Shuleikin

Oil and Gas Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

E-mail: shvn1947@yandex.ru

Abstract. The task of the research is to clarify the relationship between volatile gases, soil radon and atmospheric radon, taking into account the results of experiments. A physical explanation is presented for the presence and absence of correlations between carbon dioxide and soil radon, anomalous release of soil radon and atmospheric radon during a pre-thunderstorm drop in atmospheric pressure. It is noted that the complex of bonds between hydrogen, methane, soil radon and atmospheric radon, taking into account the observation conditions and atmospheric pressure drop, has never been considered. The conditions for sampling soil air and the participation of carbon dioxide in the transfer of radon in the near-surface soil layers are considered.

Keywords: hydrogen, methane, carbon dioxide, radon, transfer, atmospheric pressure, groundwater.

Citation: *Shuleikin V.N.* Refinement of the model of relations between volatile gases of soil air, radon and atmospheric electric field // Actual Problems of Oil and Gas. 2022. Iss. 1(36). P. 98–109. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2022-36.art6> (In Russ.).

References

1. *Shuleikin V.N., Shchukin G.G., Kupovyh G.V.* Development of methods and instruments of applied geophysics: atmospheric-electrical monitoring of geological faults and zones of geodynamic processes. St. Petersburg: Russian State Hydrometeorological University, 2015. 206 p. (In Russ.).
2. *Shuleikin V.N.* Geology, geodynamics, and atmospheric electricity. Newcastle upon Tyne: Cambridge Scholars Publishing, 2020. 167 p.
3. *Shuleikin V.N.* The Earth and atmospheric electricity. New York: Nova Science Publishers, 2018. 159 p.
4. *Kashleva L.V.* Atmospheric electricity. St. Petersburg: State Meteorological University, 2008. 115 p. (In Russ.).
5. *Tverskoy P.N.* Meteorology course. Leningrad: Gidrometizdat, 1962. 700 p. (In Russ.).
6. *Frenkel Ya.I.* Theory of the phenomena of atmospheric electricity. Leningrad; Moscow: State Publishing House of Technical and Theoretical Literature, 1949. 155 p. (In Russ.).
7. *Fu C.C., Yang T.F., Tsai M.C.* et al. Exploring the relationship between soil degassing and seismic activity by continuous radon monitoring in the Longitudinal Valley of eastern Taiwan // Chemical Geology. 2017. Vol. 469. P. 163–175. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2016.12.042>
8. Guidelines for ground-based observations of the elements of atmospheric electricity. Leningrad: Voeikov Main Geophysical Observatory, 1960. 95 p. (In Russ.).
9. *Imyanitov I.M., Shifrin K.S.* Present state of research on atmospheric electricity // Soviet Physics Uspekhi. 1962. Vol. 5, No. 2. P. 272–291. <https://doi.org/10.1070/PU1962v005n02ABEH003413>

10. *Semenov K.A.* Good weather and elements of atmospheric electricity // Proceedings of Voeikov Main Geophysical Observatory. 1982. Iss. 455. P. 112–119. (In Russ.).
11. *Dobrovolsky I.P.* Mathematical theory of preparation and forecast of tectonic earthquake // Moscow: Fizmatlit, 2009. 240 p. (In Russ.).
12. *Bagmet A.L., Bagmet M.I., Barabanov V.L.* et al. Study of terrestrial tidal fluctuations in the level of groundwater at the Obninsk well // Izvestiya AN SSSR. Fizika Zemli. 1989. No. 11. P. 84–95. (In Russ.).
13. *Barabanov V.L., Grinevsky A.O., Kalachev A.A., Savin I.V.* Frequency response of the well–aquifer system according to groundwater level observations // Izvestiya AN SSSR. Fizika Zemli. 1988. No. 3. P. 41–50. (In Russ.).