

ВОДОРОД, МЕТАН, РАДОН И МОЛНИЕВЫЕ РАЗРЯДЫ ОБЛАКО–ЗЕМЛЯ

В.Н. Шулейкин
ИПНГ РАН, e-mail: shvn1947@yandex.ru

Введение

В 1745 г. академик Георг Вильгельм Рихман разработал оригинальную конструкцию первого электроизмерительного прибора – «электрического указателя». Электрический указатель принципиально отличался от уже известного электроскопа тем, что был снабжен деревянным квадрантом со шкалой, разделенной на градусы, по которой можно было следить за отклонением льняной нити от вертикального положения. По словам Г.В. Рихмана, именно это усовершенствование позволило измерять «большую и меньшую степень электричества».

Для наблюдений за интенсивностью электрических разрядов в атмосфере М.В. Ломоносовым и Г.В. Рихманом была создана «громовая машина» – электрический указатель соединялся с железным штырем на крыше. С помощью «громовой машины» они установили, что электричество содержится в атмосфере и при отсутствии грозы, убедительно доказали, что молния – это электрические разряды в атмосфере [1].

Летом 1753 г. М. В. Ломоносов и Г. В. Рихман провели уникальный эксперимент с помощью «громовой машины». При огромном стечении народа ученые устроили пальбу из целой батареи пушек: гром «сотрясал небо», но «электрический указатель» ничего не показывал – «искусством произведенный гром электрической силы не показывает» [2].

В 1750 г. Бенджамин Франклин предложил провести эксперимент с использованием воздушного змея, запущенного в грозу. 10 мая 1752 г. французский ученый Томас-Франсуа Далибард во время грозы извлек искры из конца железного прута высотой 40 футов.

Бенджамин Франклин провел свой собственный эксперимент с воздушным змеем 15 июня того же года и извлек искры из влажной от дождя бечевки, на которой был запущен змей с металлическим острием. Опыт Франклина был описан в работе Джозефа Пристли [3] и логично завершился созданием громоотвода. По словам Б. Франклина громоотвод «...либо предотвращает удар молнии из облака, либо уже при ударе отводит его в землю без ущерба для здания...». Первый громоотвод Б. Франклин установил в 1760 г. на доме купца Веста в Филадельфии. Громоотвод Франклина в первоначальном виде

дошел и до наших дней. Его можно видеть на территориях хранилищ нефти и газа, электрических подстанциях, складах военного имущества.

С начала XIX века интерес исследователей к изучению грозового электричества несколько уменьшился. Основное внимание стало уделяться исследованиям электричества «хорошей погоды» [4–6]. Это разделение на электричество «хорошей погоды» – «fair weather electricity» и «грозовое электричество» – «detection and distribution of thunderstorm and lightning», «clouds, precipitation, and thunderstorm electricity» сохранилось и до наших дней [7–12].

Процесс образования кучево-дождевых облаков чисто метеорологический, имеющий отношение к земле только в связи с прогревом поверхности при образовании термических ячеек (внутримассовые – термические грозы). Рассмотрим серию экспериментальных наблюдений, проведенных в условиях хорошей погоды, в преддверье грозовой активности, позволяющих связать процесс воздухообмена почваатмосфера с молниевыми разрядами облако–земля.

О связях атмосферного давления, гидрогеологических процессов, эксхалиции радона и приземного атмосферного электричества

В мае 1987 года на территории виброполигона Узнож (Белоруссия) проводились режимные измерения атмосферного электрического поля (АЭП) – $E(t)$, вертикальный ток проводимости (ВТП) – $j(t)$ и уровня воды в наблюдательной скважине – $z(t)$. 21 мая в период 17^ч31^{мин} – 18^ч03^{мин} над территорией полигона проходило кучево-дождевое облако – дождя не было; 29 мая в период 01^ч00^{мин} – 14^ч00^{мин} шел морозящий дождь. В первом случае поле упало до величины $\sim (-5000 \text{ В/м})$, уровень воды в наблюдательной скважине поднялся на 3 мм; во-втором – АЭП колебалось в пределах от нуля до (-300 В/м) , а уровень воды менялся от 0 до 3 мм; ВТП регистрировался в относительных единицах, но амплитуды изменений были сравнимы между собой. На рис. 1 представлена запись измеренных значений ВТП – $j(t)$ и расчетных величин тока, как функции вариаций уровня воды в наблюдательной скважине $j(z)$.

Коэффициент корреляции между измеренными и расчетными значениями $k[j(t),j(z)] = 0,92$. Аналогичные связи наблюдаются между измеренными значениями АЭП и расчетными величинами поля, как функции уровня воды в наблюдательной скважине, но уже не на всем массиве данных, а на двух отдельных массивах – 21 мая и 29 мая (рис. 2).

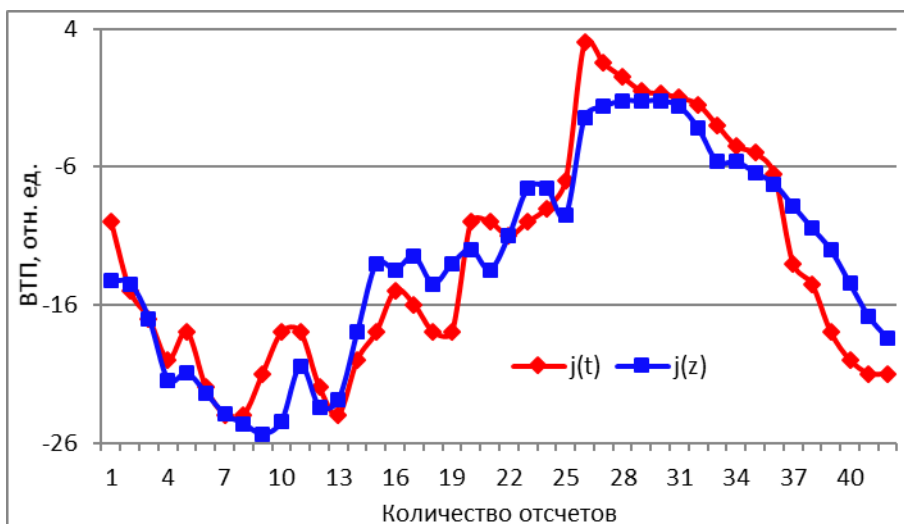


Рис. 1. Измеренные $j(t)$ и расчетные $j(z)$ значения ВТП как функция вариаций уровня воды в наблюдательной скважине z

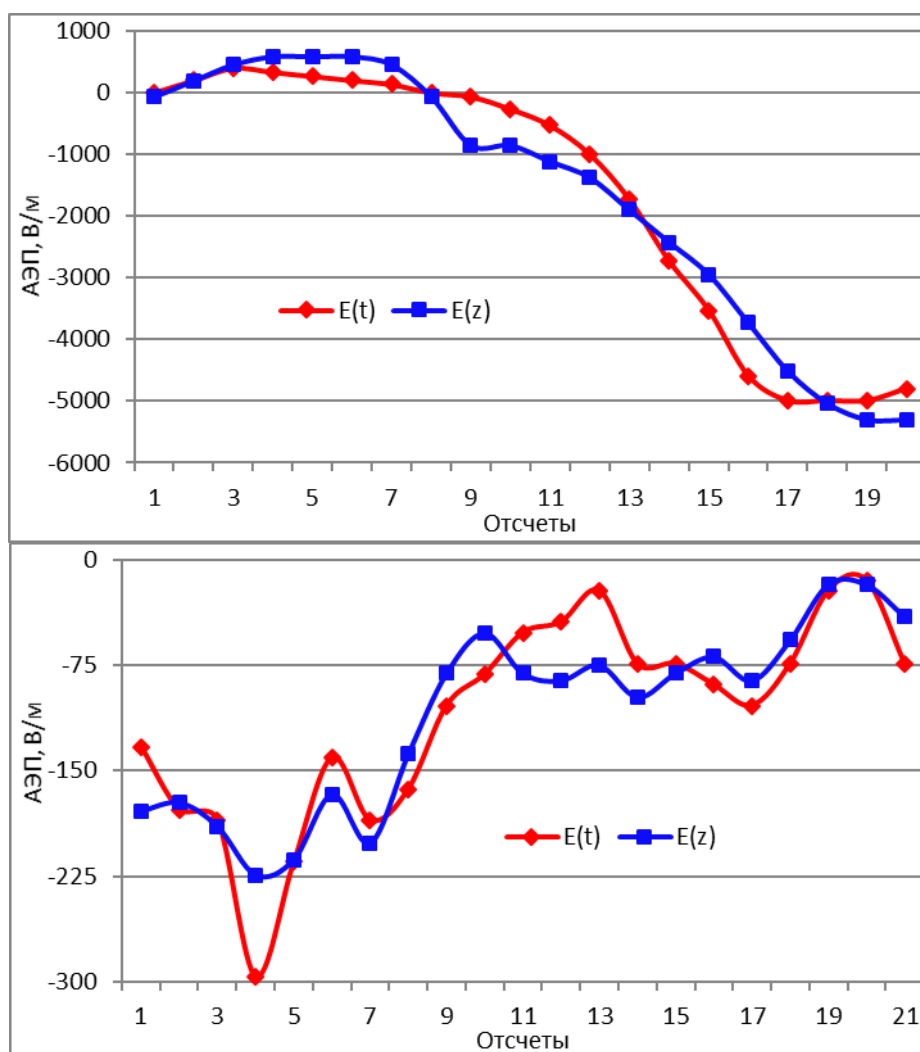


Рис. 2. Измеренные $E(t)$ и расчетные $E(z)$ значения АЭП как функция вариаций уровня воды в наблюдательной скважине z 21 мая и 29 мая 1987 г.

Коэффициенты корреляции между измеренными и расчетными кривыми очень велики ($k = [E(t), E(z)]_{21} = 0,98$, $k = [E(t), E(z)]_{29} = 0,91$). Полученный результат понятен с физической точки зрения. Вертикальный ток проводимости считается самой стабильной атмосферно-электрической характеристикой – $j = E \cdot \lambda^{\Sigma}$, где λ^{Σ} суммарная полярная проводимость воздуха. 21 мая при проходе кучево-дождевого облака при отсутствии осадков и при морозящем дожде полярные проводимости, очевидно, были различны.

Для объяснения причин корреляции гидрогеологических и атмосферно-электрических процессов обратимся к понятию барометрической эффективности [13, 14] – параметру, характеризующему упругие свойства и степень изоляции водоносного горизонта от атмосферы. В верховодке и грунтовых водах, напрямую связанных с атмосферой, барометрическая эффективность оценивается величиной ~ 8 мм/гПа; в водонапорных пластах, изолированных от атмосферы, она существенно меньше – ~ 2 мм/гПа.

В наблюдениях 21 и 29 мая 1987 г. контролировался уровень водонапорного горизонта, а его колебания составляли величину ~ 3 мм. Это значит, что как при прохождении кучево-дождевого облака, так и при мороси атмосферное давление варьировало в пределах $\sim 1,5$ гПа, что свойственно подобной метеоситуации [15].

Подъем уровня водоносных горизонтов «выдавливает» из приповерхностных слоев грунта почвенный воздух в атмосферу. Более того, сам процесс движения почвенного воздуха в покрывающих породах интенсифицирует эксхалицию почвенного радона, как в случае наличия микроколебаний [16–18]. В рассмотренных примерах рост воздухообмена почва–атмосфера связан с подъемом уровня грунтовых вод – весной на месте установки измерительных инструментов стояла вода; урез воды в близлежащем пруду $\sim 0,8$ м.

Связующим звеном между повышением уровня грунтовых вод и изменением электрических характеристик приземного воздуха при вариациях атмосферного давления является эксхалирующий почвенный радон [18–21]. Экспериментально это было зафиксировано при производстве профильных электрических и газовых наблюдений на территории Касимовского ПХГ в 2003 году. При работе на 6-ом пикете одного из профилей, проходящем в чистом поле, на горизонте появилось кучево-дождевое облако; при пробозаборе на пикете 8 началась гроза. В табл. 1 представлены значения радона грунта – R_n и радона атмосферы – $R_n(a)$ и АЭП, зарегистрированные на пикетах 6–8.

Таблица 1

**Объемная активность радона грунта, атмосферы и АЭП,
зарегистрированные на пикетах 6, 7, 8**

№№ наблюдательных пикетов	Rn, Бк/л	Rn(a), Бк/л	АЭП, В/м
6	2,74	1,19	296
7	4,73	3,66	394
8	15,36	8,99	-2177
Рост об. активности радона	5,6 раза	7,6 раза	

Время работы на одном пикете и проезд на следующий занимает ~20 минут: бурение скважины, взятие пробы, анализ пробы на содержание радона грунта, продув рабочего объема атмосферным воздухом, анализ атмосферной пробы на содержание радона атмосферы. Поскольку при работе использовался один прибор, а изменения контролируемых параметров шли достаточно быстро, полученный результат нельзя назвать корректным.

Проверка увеличения содержания радона грунта и атмосферы при падении атмосферного давления перед грозой проводилась на подушке насыпного грунта толщиной 0,6–0,8 м на заболоченной территории с использованием двух датчиков радона – пробы почвенного и атмосферного воздуха отбирались одновременно. При появлении на горизонте кучево-дождевого облака с интервалом 20 минут были сняты 3 отсчета объемной активности радона грунта, атмосферы и АЭП. Результаты измерений представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Изменения объемной активности радона грунта, атмосферы и АЭП
при падении атмосферного давления в предгрозовом период**

Время перед грозой (время падения давления)	Rn, Бк/л	Rn(a), Бк/л	АЭП, В/м
43 минуты	0,67	0,32	312
23 минуты	4,73	1,75	-1180
3 минуты	11,59	4,9	-7500
Рост об. активности радона	17,3 раза	15,3 раза	

Как отмечено в комментариях к табл. 1, 2, работы на территории Касимовского ПХГ в июле 2003 г. неоднократно прерывались частыми грозами. Рассмотрим результаты сравнения вариаций поля, зарегистрированных на Касимовской ПХГ еще на одном профиле в 2000 и 2003 гг. – рис. 3. Центральная часть профиля проходит в непосредственной близости от куста нагнетательных скважин, на линии ухода газа к купольной части ПХГ.

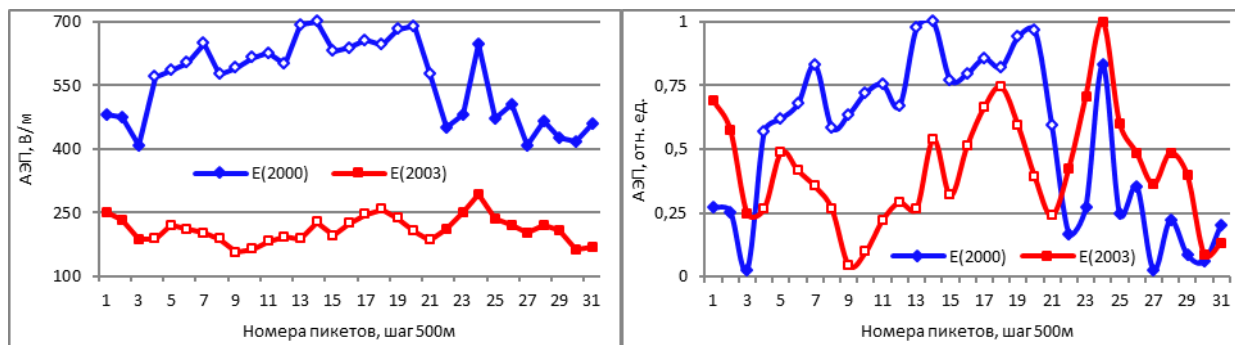


Рис. 3. Результаты наблюдений АЭП на профиле, проходящем мимо куста нагнетательных скважин 2000 и 2003 гг.

Абсолютные значения поля в 2000 г. в среднем в 2,7 раза выше, нежели чем в 2003 г. Наблюдения 2000 года проводились в сентябре месяце, после завершения цикла закачки; в 2003 году работы выполнялись в начале июля, в ходе цикла закачки. Если сравнить вариации поля по линии пикетов (4–21), то явный всплеск АЭП 2000 года сменяется в 2003 году провалом. Причина наблюдаемых отличий кроется во времени постановки измерений относительно цикла закачки горючего ископаемого. В 2000 году измерения проводились существенно позже завершения цикла закачки; в 2003 году – во время цикла закачки, когда закачиваемый горючий газ через линию пикетов (4–21) растекался от куста нагнетательных скважин к купольной части газохранилища.

В ходе измерений, которые проводились исключительно в солнечные дни после очередной грозы, приземный воздух был насыщен влагой – большим количеством нейтральных ядер конденсации, что, в противоречие с наблюдаемым результатом, должно приводить к высоким значениям АЭП [18]. Единственная причина, которая могла привести к низким значениям поля, – повышенная ионизация приземного воздуха. Расширение приповерхностного порового пространства, вызванное процессом закачки и растекания газа, влекло за собой избыточный сброс водорода и метана в атмосферу, которые, в свою очередь, увеличили вынос в приповерхностный воздух основного ионизатора – почвенного радона. В преддверье грозовой активности сброс радона в

атмосферу существенно возрастет (см. табл. 1, 2) за счет падения атмосферного давления. Проведенный анализ результатов наблюдений позволяет предположить, что частые грозы над территорией Касимовского ПХГ в июле 2003 года были спровоцированы процессом закачки.

Вернемся еще раз к результатам наблюдений, представленных на рис. 1, 2. До начала спада АЭП до отрицательных значений 21 мая уровень поля варьировал в пределах 90–110 В/м. Это значит, что в минимуме АЭП (-5000 В/м) увеличение модуля ВТП за счет поля достигло величины ~ 50 . Увеличение полярной проводимости при минимуме поля положим равным росту объемной активности радона атмосферы перед началом грозы $\sim 15,3$ (табл. 2). Полагая фоновые значения ВТП на уровне среднемировых $(2-3) \cdot 10^{-12} \text{ А/м}^2$, получим величину модуля тока в минимуме поля $|j_{\text{макс}}| = (1,5-2,3) \cdot 10^{-9} \text{ А/м}^2$.

Относительные значения вариации ВТП 21 мая и 29 мая сравнимы между собой. По литературным данным, токи осадков (в нашем случае мороси) оцениваются величиной $j_{\text{осадков}} = (10^{-9}-10^{-8}) \text{ А/м}^2$ (рис. 4) [15, 22], что согласуется с результатами оценки $|j_{\text{макс}}|$.

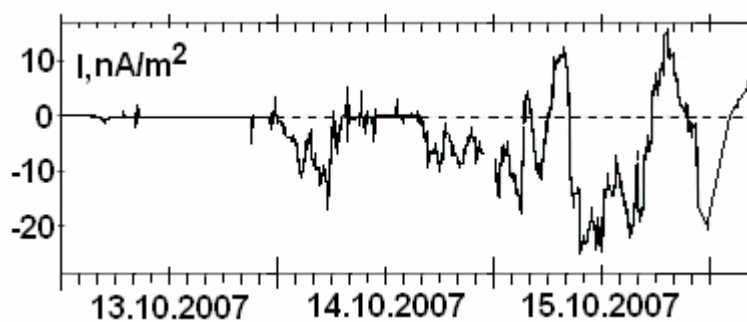


Рис. 4. Ток дождя [22]

Полученный результат позволяет утверждать, что падение атмосферного давления, вызванное образованием кучево-дождевого облака в предгрозовой период, повышает ВТП до уровня токов осадков. Это значит, что начало осадков не приведет к значительным изменениям тока.

Молниевые разряды облако–земля и водород, метан и почвенный радон

Молниевые разряды представляют большую опасность для многих тысяч километров линий электропередач, авиационного транспорта, провоцируют многочисленные лесные пожары. Еще с прошлого века составлялись карты грозовой активности. Здесь широкую популярность приобретает метод пассивной радиолокации грозowych очагов – грозопеленгация. Создан и пополняется в реальном времени банк данных, информация в который поступает с автоматизированных систем фиксации

моментов ударов молний в землю. Систематизация этих данных позволяет оценить разбросы грозовой активности по временному и территориальному признаку. Если обратиться к грозовой активности на карте конкретной местности, то бросается в глаза пятнистая структура очагов гроз – рис. 5.

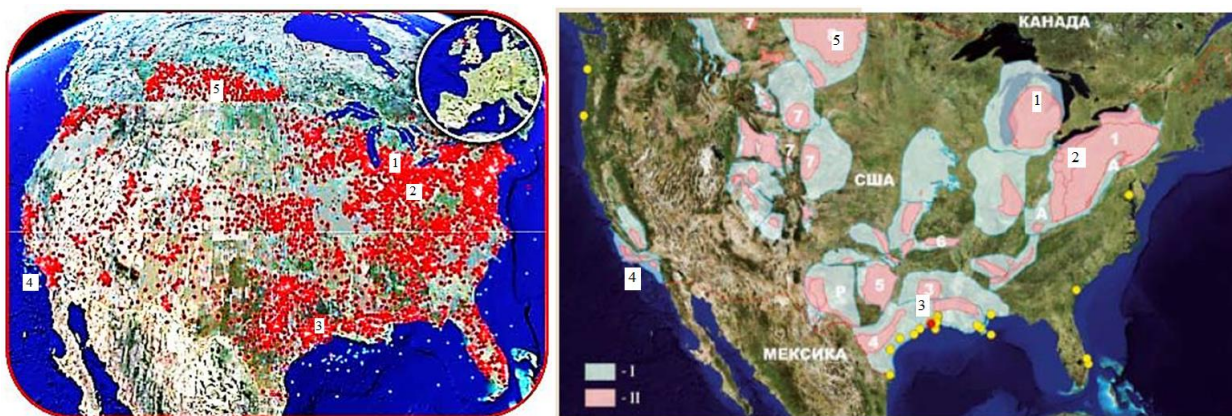


Рис. 5. Размещение очагов грозовой активности на территории Северной Америки по данным крупнейшей сети гронопеленгации – более 150 датчиков (слева), карта разработок сланцевого газа в Северной Америке (справа)

Подобное явление позволяет говорить о влиянии локальных геологических и геодинамических особенностей земли на территориальное распределение молниевых разрядов. Сравним размещение очагов грозовой активности с картой разработки сланцевого газа (см. рис. 5). Цифрами 1–5 на картах отмечены территории с совпадением площадей грозовой активности и разработок сланцевого газа: 1 – штат Мичиган; 2 – штаты Нью-Йорк и Пенсильвания; 3 – штаты Техас и Луизиана, побережье Мексиканского залива; 4 – южное побережье Тихого океана штата Калифорния; 5 – штаты Монтана и Северная Дакота, граница с Канадой.

Разработки сланцевого газа сопровождаются избыточным сбросом в приземную атмосферу метана – основного компонента сланцевого газа. Метан, в свою очередь, транспортирует радон в приповерхностную атмосферу.

В начале прошлого века профессор Л.Н. Богоявленский связал территориальную повторяемость молниевых разрядов облако–земля с уровнем радиоактивности. По набранной им статистике под г. Сестрорецком высокий уровень радиоактивности (высокая ионизация воздуха) привел к высокой частоте поражаемости этой территории молнией. Этот феномен Л.Н. Богоявленский устойчиво наблюдал из года в год.

По современным данным, под г. Сестрорецк находится уникальное радоновое озеро Лопухинка, образованное рядом источников, объемная активность радона в которых

достигает ~400 Бк/л. На территории города Сестрорецка, поселков Белоостров и Песочный находится Государственный природный заказник «Сестрорецкое болото», общей площадью 1900 гектаров. В западной части болота, прилегающей к озеру Сестрорецкий разлив, объемная активность радона лежит на уровне ~252 Бк/л.

По данным Л.Н. Богоявленского, присутствие в земле гранитов, сланцев, руд металлов сильно меняет локальную ионизацию воздуха; чем ближе они залегают к поверхности Земли – тем выше ионизация. Территории с прямым выходом пород на поверхность в три раза чаще поражаются молниями, чем в случае их залегания на глубинах 60–80 м. Примером тому может служить Курская магнитная аномалия – до 32 гроз ежегодно, Тихвинская – до 25 гроз.

Повышенная ионизация воздуха над рудным телом была зарегистрирована в ходе профильных наблюдений АЭП над Новоселковским ильменит-магнетитовым рудопроявлением (Белоруссия) – рис. 6 [18, 23].



Рис. 6. План эквипотенциальных зон над Новоселковским ильменит-магнетитовым рудопроявлением, построенный по результатам АЭП-наблюдений 19–20.08.87

Причина спада поля над проекцией рудного тела на поверхность земли определяются электрохимическими процессами в шапке рудного тела, которые сопровождаются выделением водорода – основного газа-носителя радона в приповерхностную атмосферу [24].

По статистике молния значительно чаще ударяет в глинистые и влажные участки, в пологие речные берега, заболоченные территории, где грунтовые воды ближе всего подходят к поверхности земли. На болотах присутствует метан биогенной природы – второй газ-носитель радона; мелкий глинистый водоупор и падение атмосферного давления порождают мощный выброс ионизатора в атмосферу при падении давления.

Пример тому удалось наблюдать на обрамленном лесом поле площадью 0,5 км² (Московская обл., г. Чехов, пос. Новый быт), которое пересекали две параллельные друг другу линии проседания грунта, в конце которых были родники. Несмотря на наличие естественных молниеотводов – деревьев, в зонах проседания бросались в глаза места входа молниевых разрядов в землю. При пересечении этих линий проседания в ходе АЭП-профилирования регистрировался провал поля на 40–60% от фонового уровня, наблюдаемого на остальных участках маршрутов наблюдения (работы выполнялись в условиях хорошей погоды [25–27]).

На рис. 7 представлены результаты наблюдений полярных проводимостей атмосферного воздуха на заболоченном участке профиля. Критерий заболоченности – камыши. Отношение средней суммарной полярной проводимости на заболоченном участке профиля – $\lambda_{\text{бол}} = 0,89$ отн. ед. к среднему значению на пикетах 14–19, 24–34 – $\lambda = 0,42$ отн. ед., $\lambda_{\text{бол}}/\lambda = 2,1$. Малые значения отношения суммарной полярной проводимости определяются метеорологической ситуацией – измерения проводились в Ставропольском крае при длительной аномальной жаркой погоде ~40 °С днем.

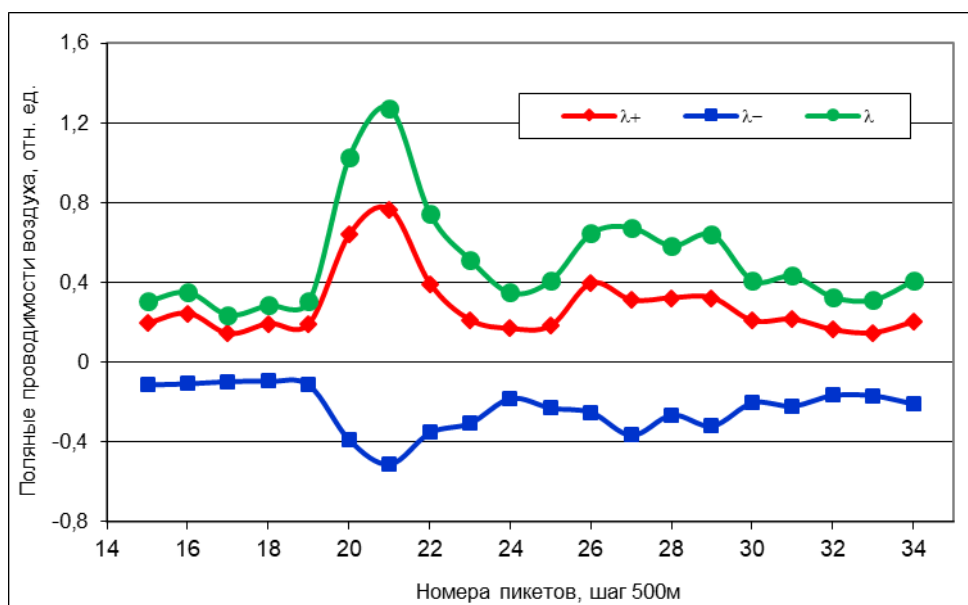


Рис. 7. Вариации полярной проводимости воздуха на профиле на территории Северо-Ставропольского ПХГ, на отрезке между пикетами 20–23 профиль пересекает заболоченный участок

Рис. 8 иллюстрирует ярко выраженный результат влияния на электропроводность воздуха ионизации в результате выброса радионуклидов при аварии на Чернобыльской атомной электростанции.

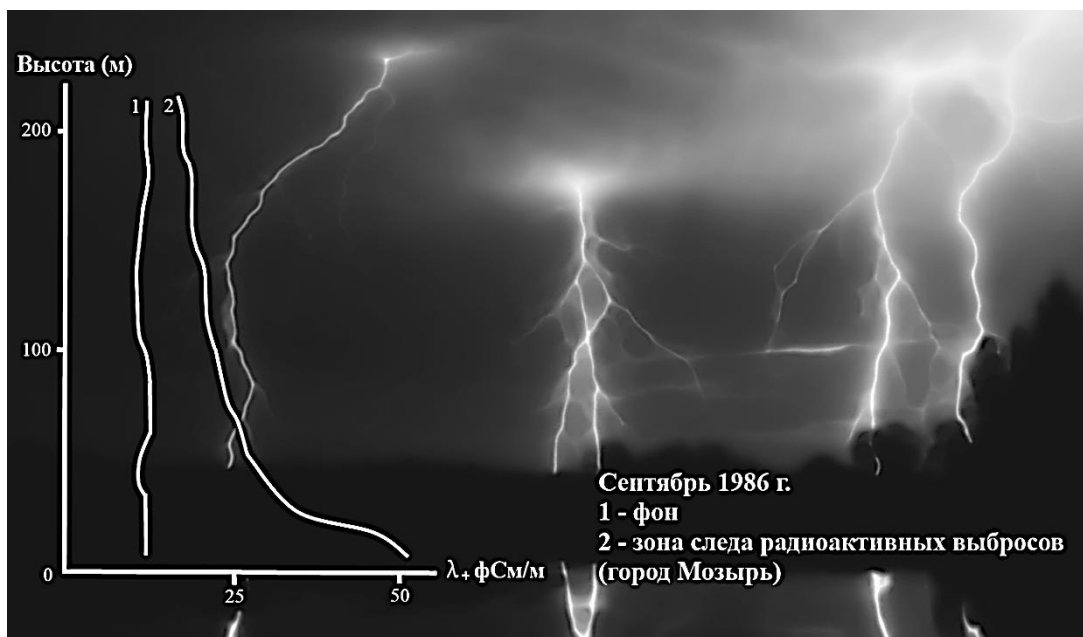


Рис. 8. Электрическое состояние пограничного слоя атмосферы под воздействием радиоактивного выброса при аварии на Чернобыльской АЭС

Самый высокий громоотвод в России – Останкинская телебашня построена на заболоченной территории. В течение многих лет специалисты Энергетического института им. Г.М. Кржижановского одновременно фотографировали башню с нескольких окрестных домов и пришли к заключению, что далеко не всегда молния попадает в верхушку Останкинской башни: имели место разряды в основание смотровой площадки и в основание башни. По статистике 5–7 процентов всех ударов молнии поражают боковую поверхность башни гораздо ниже ее вершины.

В непосредственной близости от Останкинской башни молнии бьют в землю так же часто, как и до ее строительства. Это позволяет предположить, что избыточный сброс биогенного метана, а соответственно и радона, в предгрозовую период за счет падения атмосферного давления приводит к росту проводящих характеристик приземных слоев атмосферы.

В средней полосе России в 100-метровое строение ударяет одна молния в год, а если рассматривать здание высотой в 540 м (как Останкинская телебашня), то можно зафиксировать средний годовой показатель ударов – 27–30. Радиус безопасной зоны вокруг башни достигает всего 200 м. За этими границами телевышка уже не уберегает строения от молний.

Предгрозовой период характеризуется резким увеличением ветра. Следуя терминологии работы [28, 29] ветер «подсасывает» радон из приповерхностных слоев

грунта. Иллюстрацию эффекта «подсасывания» можно видеть на рис. 9. Здесь представлены результаты профильных измерений водорода (одного из газов-носителей радона) в образцах почвенного $H(p)$ и атмосферного $H(a)$ воздуха в ветреную погоду: скорость ветра 8–10 м/с, пробы почвенного воздуха отбирались с глубины 50–60 см.

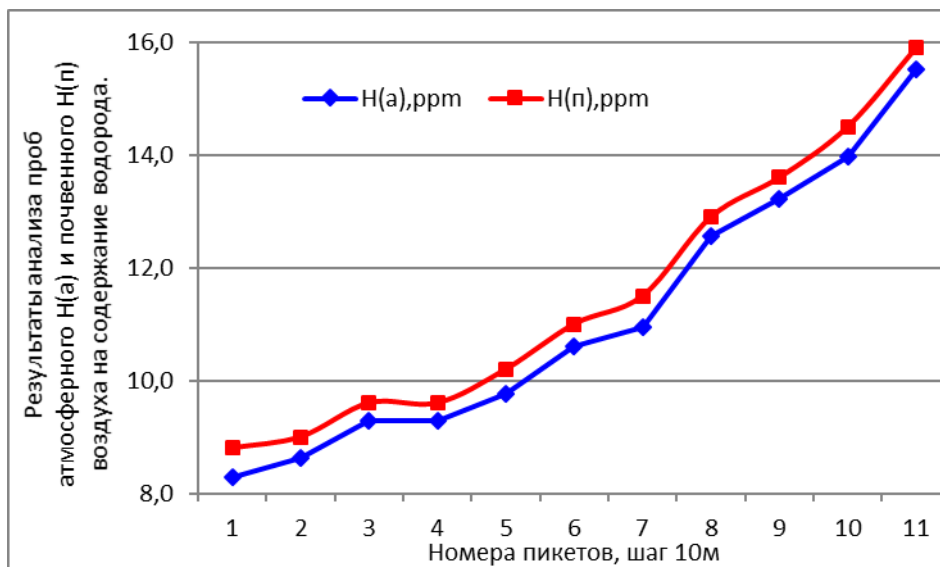


Рис. 9. Отсчеты датчика водорода при исследовании проб атмосферного – $H(a)$ и почвенного – $H(p)$ при ветре 8–10 м/с (14.10.2002)

При повторном проходе профиля в нормальных погодных условиях средняя разность содержания водорода в почвенном и атмосферном воздухе на профиле составила величину ~4,9 ppm.

Заключение

Приведенный обзор материалов полевых наблюдений показывает, что в местах молниевых разрядов облако–земля имеет место повышенный сброс в приповерхностную атмосферу метана – одного из двух газов-носителей радона, основного ионизатора приземного воздуха. Полученный результат нов и представляет очевидный прикладной интерес – обеспечение безопасной эксплуатации ПХГ.

Согласно заключению специалистов Энергетического института им. Г.М. Кржижановского в непосредственной близости от Останкинской башни – самого высокого в России молниеотвода, радиус безопасной зоны вокруг башни достигает всего лишь 200 м. Молнии бьют по окружающей заболоченной территории так же часто, как и до постройки башни. На территориях кустов нагнетательных скважин ПХГ установлены молниеотводы. Площадь кустов нагнетательных имеет характерные размеры до сотен метров, что требует установки нескольких стометровых молниеотводов.

Более того, если цикл закачки на ПХГ идет в летнее время, когда грозовая активность максимальна, надо с особым вниманием относиться к метеорологической ситуации. Образование кучево-дождевого облака сопровождается падением давления, а это, в свою очередь, интенсифицирует воздухообмен почва-атмосфера.

Наконец представленные материалы опровергают представления о влиянии ионизации приземного воздуха на частоту молниевых разрядов облако–земля. В середине прошлого века во Франции для получения эффекта молниевых отводов родилась идея принудительной искусственной радиоактивной ионизации воздуха. Радиоактивные молниеотводы увидели свет, хотя и выпускались очень недолго. Причина неудач заключалась в невозможности безопасного использования мощного источника излучения.

Во всех рассмотренных выше примерах ионизация приземного воздуха носила не точечный, а площадной характер. Принимая во внимание метеорологические и геодинамические процессы, сопутствующие грозовой активности, известную статистику гроз, можно говорить, что в зонах естественного площадного роста концентраций эксхалирующего почвенного радона частота молниевых разрядов увеличивается.

Статья написана в рамках выполнения государственного задания (тема «Энергетика, динамика и дегазация Земли, теоретические и экспериментальные основы инновационных сейсмоакустических технологий исследования геологической среды и контроля за объектами нефтегазодобычи», № АААА-А16-116021510125-7).

ЛИТЕРАТУРА

1. Санкт-Петербургские ведомости. 1752. № 58.
2. Санкт-Петербургские ведомости. 1753. № 45.
3. *Priestley J.* The history and present state of electricity with original experiments. London: Printed for J. Dodsley, J. Johnson and T. Gadell, 1767. 700 p.
4. *Имянитов И.М., Шифрин К.С.* Современное состояние исследований атмосферного электричества // Успехи физических наук. 1962. Вып. 4. С. 593–642.
5. Руководство по наземным наблюдениям за элементами атмосферного электричества. Л.: Изд-во ГГО им. А.И. Воейкова, 1960. 95 с.
6. *Семенов К.А.* Хорошая погода и элементы атмосферного электричества // Труды ГГО им. А.И. Воейкова. 1982. Вып. 455. С. 112–119.
7. Труды III Всероссийского симпозиума по атмосферному электричеству. Тарту, 1986. 300 с.

8. Proceedings 8-th conference on atmospheric electricity. Uppsala-Sweden, 1988. 897 p.
9. Труды IV Всероссийского симпозиума по атмосферному электричеству. Нальчик, 1990. 312 с.
10. Proceedings 9-th conference on atmospheric electricity. St. Petersburg, Russia, 1992. Vol. 1–3. 977 p.
11. Труды V Российской конференции по атмосферному электричеству. Владимир, 2003. 344 с.
12. Труды VII Всероссийской конференции по атмосферному электричеству. СПб., 2012. 287 с.
13. Багмет А.Л., Багмет М.И., Барабанов В.Л. и др. Исследование земноприливных колебаний уровня подземных вод на скважине «Обнинск» // Известия АН СССР. Сер. Физика земли. 1989. № 11. С. 84–95.
14. Барабанов В.Л., Гриневский А.О., Калачев А.А., Савин И.В. Частотная характеристика систем скважина-водоносный горизонт по данным наблюдений за уровнем подземных вод // Известия АН СССР. Сер. Физика земли. 1988. № 3. С. 41–50.
15. Тверской П.Н. Курс метеорологии. Л.: Гидрометеиздат, 1951. 887 с.
16. Шулейкин В.Н. Шумы Земли и атмосферное электричество // II Всероссийская акустическая конференция: Сб. докл. 2014. С. 58–59.
17. Шулейкин В.Н., Шукин Г.Г. Атмосферное электричество и микроколебания земли // Метеорология и гидрология. 2015. № 12. С. 38–46.
18. Шулейкин В.Н., Шукин Г.Г., Куповых Г.В. Развитие методов и средств прикладной геофизики – атмосферно-электрический мониторинг геологических неоднородностей и зон геодинамических процессов. СПб.: Издательство РГГМУ, 1915. 205 с.
19. Баранов В.И. Радиометрия. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 343 с.
20. Зубарев А.П., Шулейкин В.Н. Комплексный геофизический и геохимический контроль при эксплуатации подземных газохранилищ. М.: Изд-во «Газпром ПХГ», 2009. 264 с.
21. Шулейкин В.Н. Перенос радона в приповерхностные слои грунта и приземную атмосферу // Геофизические процессы и биосфера. 2013. Т. 12, № 2. С. 57–66.
22. Канониди К.Х., Лидванский А.С., Собисевич Л.Е., Хаердинов Н.С. Пульсации геомагнитного поля связанные с вариациями интенсивности космических лучей во время гроз // 31-я ВККЛ: Сб. докл. М.: МГУ. 2010. 5 с.

23. *Ерышев А.П., Николаев А.В., Урдуханов Р.И., Шулейкин В.Н.* Результаты атмосферно-электрических и сейсмических наблюдений над железнорудным месторождением. М.: Препринт № 5 ИФЗ АН СССР, 1987. 11 с.

24. *Шулейкин В.Н.* Чувствительность атмосферного электрического поля к изменениям концентраций водорода и метана [Электронный ресурс] // Георесурсы, геоэнергетика, геополитика: Электрон. науч. журн. 2016. Вып. 1(13). 19 с. Режим доступа: <http://www.oilgasjournal.ru> (Дата обращения 20.09.2018).

25. *Имянитов И.М., Шифрин К.С.* Современное состояние исследований атмосферного электричества // Успехи физических наук. 1962. Вып. 4. С. 593–642.

26. Руководство по наземным наблюдениям за элементами атмосферного электричества. Л.: Изд-во ГГО им. А.И. Воейкова, 1960. 95 с.

27. *Семенов К.А.* Хорошая погода и элементы атмосферного электричества // Труды ГГО им. А.И. Воейкова. 1982. Вып. 455. С. 112–119.

28. *Стыро Б.И.* Вопросы ядерной метеорологии. Вильнюс, 1959. 418 с.

29. *Стыро Б.И.* Самоочищение атмосферы от радиоактивных загрязнений. Л.: Гидрометиздат, 1968. 290 с.