

Радон-222 как фактор, определяющий электрическое состояние приземного слоя атмосферы

ПЕТРОВА Г.Г.¹, ПЕТРОВ А.И.¹, ПАНЧИШКИНА И.Н.¹, СТАРОСТИНА О.П.

¹Южный федеральный университет, Россия

²МОУ СОШ №53, Ростов-на-Дону, Россия

georgpu@rambler.ru

В последние десятилетия стала очевидной роль радона в электрических процессах в приземной атмосфере. Источником радиоактивных эманаций, присутствующих в атмосферном воздухе, являются горные породы и почвы. Выделившиеся из почвы эманации распространяются в атмосфере благодаря воздушным течениям и турбулентному перемешиванию воздушных слоев. Концентрация эманаций в воздухе убывает с высотой благодаря радиоактивному распаду. Поэтому для ионизации атмосферы особое значение имеет радон-222, период полураспада которого позволяет этому радиоактивному газу достаточно долго находиться в атмосфере, обеспечивая ее ионизацию. Радон-222 и продукты его распада α -радиоактивны, что обуславливает их высокую ионизирующую способность [1].

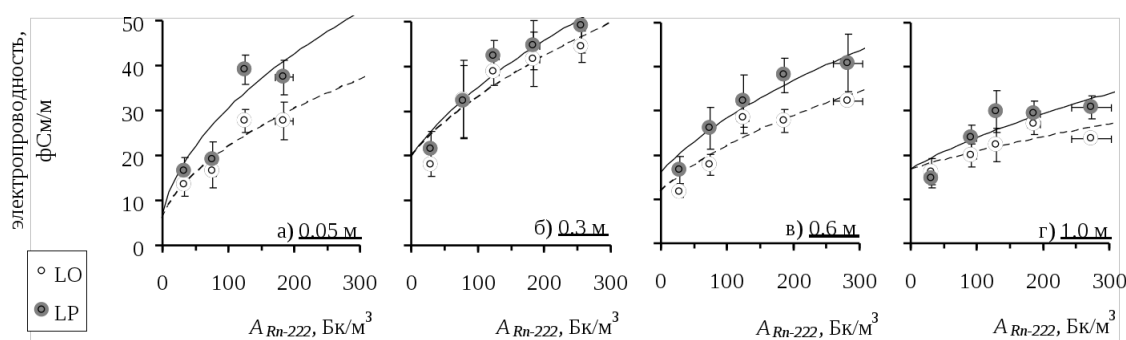


Рис. 1. Ряды регрессии отрицательной (LO) и положительной (LP) электропроводностей атмосферы на разных уровнях в нижнем метровом слое по объёмной активности радона-222 в атмосфере на тех же уровнях в условиях устойчивой стратификации приземного слоя. Сплошные линии - аппроксимирующие кривые для положительной, пунктирные – для отрицательной электропроводности. Планками показаны значения стандартной погрешности (август 2009 года, Талловеров, 35 часов)

В связи с этим оценка роли радона-222 в формировании электрического климата территорий представляется немаловажной, особенно для регионов с повышенным содержанием радона-222 в природных средах, каковым является юг России, в частности, Ростовская область, на территории которой имеется ряд радоногенерирующих геологических объектов. В основном они расположены на востоке области в пределах Ремонтненского и Орловского районов и в центральной части – севернее линии Шахты – Волгодонск. Примерно на одной трети территории области возможно проявление радонового фактора риска для населения. Следует, однако, иметь в виду, что поступление радиоактивных эманаций, в частности, радона-222 из почвы в атмосферу определяется не только присутствием радоногенерирующих объектов в недрах пункта наблюдений, но и условиями выхода эманаций из почвы в атмосферу: наличием разломов и трещиноватостью пород в данной местности и газопроницаемостью почвы непосредственно под измерительным датчиком. Исследование того, как изменение состояния почвы влияет на выход радона, и, опосредовано, на электричество приземного слоя, представляет интерес. Полученные в течение двенадцати

летних экспедиций (табл. 1) Южного федерального университета на территории Ростовской области: Кашарский (4 пункта), Орловский (п.Орловский) районы, г.Ростов-на-Дону, - атмосферно-электрические данные и результаты измерений концентрации радона-222 в нижней атмосфере и почвенном газе проанализированы в комплексе с метеорологическими характеристиками с целью установления корреляций между величинами. Для нейтрализации влияния такого значимого фактора, как интенсивность перемешивания атмосферы, при анализе отбирались данные, полученные в условиях устойчивой стратификации, когда параметр стратификации не превышал 0,7. Такая устойчивая стратификация приземного слоя реализуется в летний период на юге России в ночные часы без ветра при инверсии температуры в нижних 2-х метрах. Параметр стратификации приземного слоя в исследовании оценивался по известному методу Орленко [2] на основании данных измерений температуры воздуха и скорости ветра на высотах 0,5 и 2 м. В этих условиях значения коэффициента турбулентности близки к нулю. Измерения параметров атмосферы измерялись традиционными методами. Полярные электропроводности определялись прибором Гердиена. Концентрация радона-222 регистрировалась радон-монитором “AlphaGUARD” (Genitron Instruments GmbH) в комплекте со специальным датчиком “Soil gas probe STITZ” и насосом “AlphaPUMP” для измерения концентрации радона в почвенном газе. Описание комплекса измерений дано в работе [3].

По результатам измерений имеет место тесная корреляция между электропроводностью атмосферы и концентрацией радона-222 в атмосферном воздухе. Коэффициенты корреляции достигают значений 0,7-0,8.

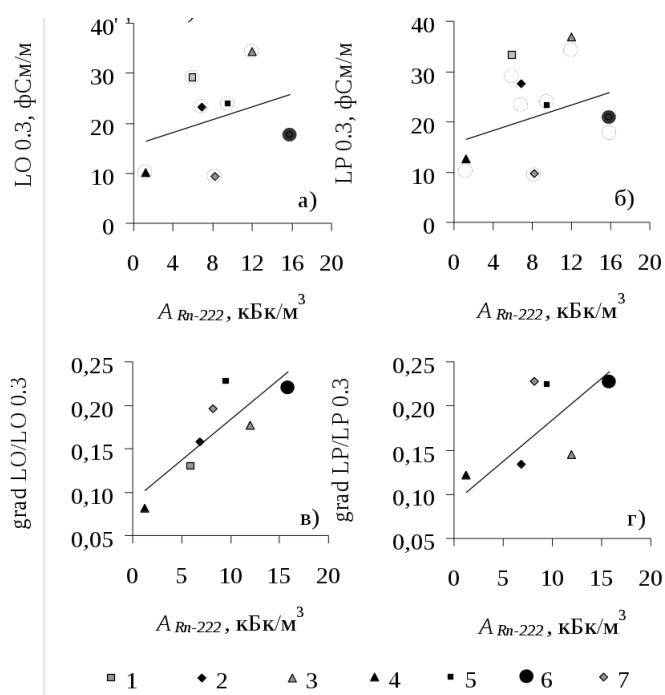


Рис. 2. Ряды регрессии параметров атмосферы по концентрации радона-222 в почве пунктов из таблицы 1: A_{Rn-222} - объёмная активность радона-222 в кБк/м^3 на глубине 0,6 м; а и б – средние для пунктов наблюдений значения отрицательной и положительной электропроводности атмосферы на высоте 0,3 м, полученные в летний период; в и г – относительные градиенты отрицательной ($\text{gradLO}/\text{LO}_{0.3}$) и положительной ($\text{gradLP}/\text{LP}_{0.3}$) электропроводности, средние для тех же случаев.

На рисунке 1 показаны ряды регрессии полярных электропроводностей атмосферы по концентрации радона-222, полученные в условиях устойчивой стратификации для нескольких высот. Каждая точка получена как среднее из 7 измерений. Аппроксимирующие кри-

вые построены в соответствии с уравнениями вида $\lambda = (\alpha A_{Rn} + \lambda_0)^{1/2}$, где A_{Rn} – объёмная активность радона-222 в атмосфере, λ – полярная электропроводность атмосферы.

Поскольку радон в атмосферу поступает из почвы, то можно ожидать, что электропроводность атмосферы вблизи земли будет коррелировать с содержанием радона в почвенном газе. В этом случае на основании данных об электропроводности приземного слоя атмосферы в условиях слабого перемешивания можно было бы опосредованно судить о содержании радона в почве. Однако, корреляция электропроводности атмосферы и концентрации радона-222 в атмосферном воздухе порой нарушается из-за влияния прочих факторов. Так, в Михайловке, где из-за близости реки часто наблюдаются ночные туманы, коэффициенты корреляции полярных электропроводностей атмосферы и концентрации радона-222 в слое 0,3 – 2 метра изменяются от 0,5 – 0,7 в ясные ночи до 0,2 – 0,4 в ночные часы, когда наблюдатель отмечал наличие дымки или тумана [4,5]. Таким образом, повышение содержания аэрозолей в атмосфере является причиной ослабления регрессионной зависимости электропроводности от радона. Возможно, поэтому не удаётся обнаружить тесной корреляции средних значений электропроводности атмосферы вблизи земли с содержанием радона-222 в почве пунктов наблюдений (таблица 1) на основании рядов регрессии, представленных на рисунке 2 (а, б).

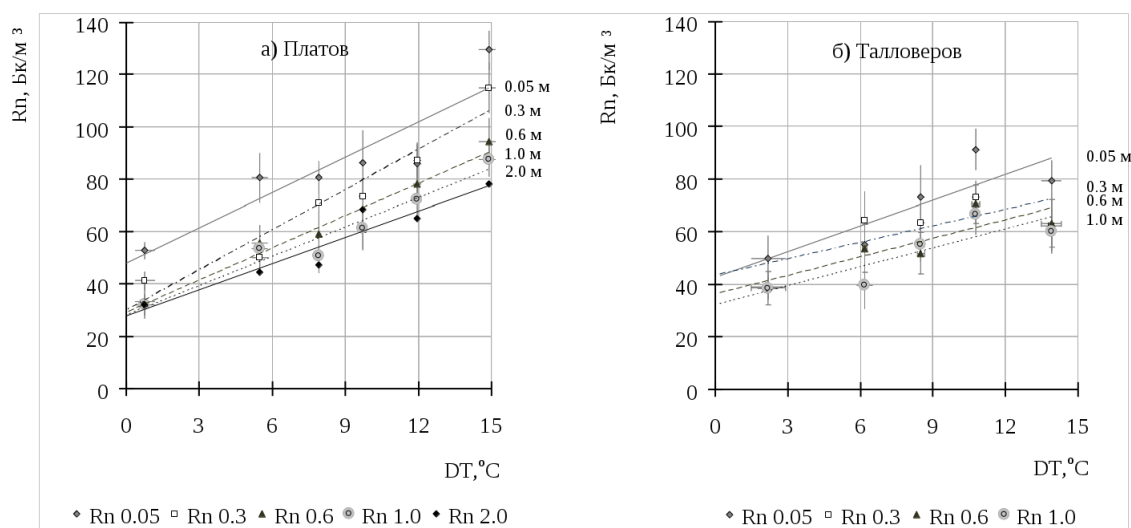


Рис. 3. Ряды регрессии концентрации радона-222 в атмосфере (0,05; 0,3; 0,6; 1; 2м) по разности температур почвы на глубине 20 см и поверхности (DT) для устойчивой стратификации приземного слоя. Планками показаны значения стандартной погрешности

Нивелировать возможное влияние фонового аэрозольного загрязнения приземной атмосферы в пунктах наблюдений, которое неизбежно снижает абсолютные значения электропроводности по всему 3-метровому слою, позволяет использование относительных значений электропроводности, что успешно продемонстрировано в ранее проведенных исследованиях [6]. Кроме того, теснее, чем сама электропроводность атмосферы, с содержанием радона в почве будет коррелировать градиент электропроводности, особенно в условиях устойчивой стратификации температуры в приземном слое. В этих условиях при ослабленном перемешивании формируются заметные вертикальные градиенты электропроводности [5], обусловленные значительным ростом интенсивности ионообразования по мере приближения к поверхности земли из-за увеличения концентрации радона на нижних уровнях. Можно ожидать, что там, где почва особенно сильно эманурует, будут наблюдаться наибольшие значения градиента электропроводности в условиях слабого турбулентного обмена. Тогда по величине этого градиента можно косвенно оценивать содержание радона в почве. Исходя из изложенных соображений, мы использовали в качестве параметра

для оценки содержания радона в почвенном газе отношение градиента атмосферной электропроводности к её значению на высоте экстремума вертикального профиля. В нашем случае это высота 0,3 метра. Таким образом, относительный градиент рассчитывался как отношение $\frac{(\lambda_3 - \lambda_{0.3})/2,7}{\lambda_{0.3}}$. На рисунке 2 (в, г) обнаруживается тенденция к более высоким средним значениям относительных градиентов электропроводности в пунктах наблюдений с повышенным содержанием радона в почве, которая особенно явно прослеживается для отрицательной электропроводности. Это вполне закономерно, если учесть, что в условиях близости земной поверхности концентрация положительных ионов обусловлена не только ионообразованием в данном слое, но и нисходящим притоком ионов из более высоко расположенных слоёв атмосферы вследствие тока проводимости. Для отрицательных ионов, движущихся в атмосферном поле вверх, приток извне ограничен близостью земли. В этих условиях концентрация отрицательных ионов и, следовательно, отрицательная электропроводность теснее связана с процессами ионообразования в самом слое, и такой фактор, как эманирование почвы, имеет особое значение.

Что касается условий выхода радиоактивных эманаций из почвы в атмосферу, то, как показали исследования, содержание радона-222 вблизи земной поверхности коррелирует с терморежимом верхнего слоя почвы. На рисунке 3 представлены результаты измерений для часов с ослабленным перемешиванием приземного слоя при устойчивой стратификации. Из рисунка видно, что при увеличении разности температур почвы на глубине 20 см и поверхности (DT) увеличивается содержание радона-222 вблизи земли. Следует заметить, что положительная разность температур соответствует ситуации, при которой температура в глубине почвы выше, чем на поверхности. При таком распределении тепла в почве тёплый воздух из ее глубин, имея меньшую плотность, выходит через почвенные поры в атмосферу и обогащает ее радоном. Из графика видно, что при DT=0 значения концентрации радона вблизи земной поверхности в нижнем метровом слое, обусловленные только диффузионными потоками, в среднем не превышают 50 Бк/м³. Увеличение разности температур почвы на 10 °С по оценке данных, приведенных на рисунке 1, обеспечивает увеличение концентрации радона в нижнем слое атмосферы в 1,5-2 раза.

Таким образом, можно заключить, что при исследовании электричества приземного слоя, необходимо учитывать физические свойства подстилающей поверхности. Анализ вертикальных профилей полярных электропроводностей атмосферы и градиента её электрического потенциала в нижнем 3-метровом слое с учетом условий устойчивости атмосферы и содержания радона-222 в атмосфере и почвенном газе позволяет предложить физически обоснованную интерпретацию совокупности наблюдающихся вблизи земли атмосферно-электрических закономерностей.

Литература

1. Брикар Дж. Влияние радиоактивности и загрязнений на элементы атмосферного электричества // Проблемы электричества атмосферы.- Л.: Гидрометеоиздат. – 1969. – С. 68-105
2. Орленко Л.Р. Строение планетарного пограничного слоя атмосферы. - Л.: Гидрометеоиздат. – 1979. – 270 с.
3. Петров А.И., Петрова Г.Г., Панчишкина И.Н., Кудринская Т.В., Петров Н.А. Измерительный комплекс для исследования электричества приземного слоя атмосферы // Изв.высших учебных заведений, Сев.- Кав. рег., Естест. Науки. – 2010. - №3. - С. 47-52
4. Петров А.И., Петрова Г.Г., Панчишкина И.Н., Кудринская Т.В., Куповых Г.В., Клово А.Г. Электропроводность воздуха и концентрация радона в приземном слое

// Труды V Российской конференции по атмосферному электричеству, Владимир. - 2003. - С.124-127.

5. *Petrov A.I., Petrova G.G., Panchishkina I.N.* On factors determining the variations of the electric characteristics of a surface layer // Proc.11th Int. Conf. Atm. Electricity. Alabama, USA. – 1999. - P.547-550.
6. *Petrov A.I., Petrova G.G., Panchishkina I.N.* Profiles of polar conductivities and of radon-222 concentration in the atmosphere by stable and labile stratification of surface layer // Atmospheric Research (Elsevier). – 2009.-V.91. – P.206-214.

Radon-222 as a factor, determining atmosphere near ground layer electrical condition

Petrova G.G.¹, Petrov A.I.¹, Panchishkina I.N.¹, Starostina O.P.^{1,2}

¹ *Southern Federal University, Russia*

² *MBEI Sch. 53, Rostov-on-Don, Russia*

The paper considers the results of expedition measurements of atmosphere electrical characteristics and radon-222 concentration in soil gas and near ground air at Rostov region and Mt. Elbrus highland sites.

The data, obtained during a series of expeditions, are analyzed together with meteorological characteristics of the lower atmosphere to determine the role of radon-222 in the processes of formation of the near ground atmosphere electric structure.

Correlation of radon content in the atmospheric air with temperature conditions of the upper 20-centimeter soil layer, influencing radon exhalation, is demonstrated.

According to the results of measurements there is a close correlation between atmosphere electric conductivity and radon-222 concentration in the atmospheric air. Regression equations of polar electric conductivities on radon concentration in the atmosphere are calculated.

Analysis of vertical profiles of atmosphere polar electric conductivities and the electric potential gradient in the lower 3-meter layer, considering the conditions of stability in the atmosphere and radon-222 content, allow us to propose a physically based interpretation of a system of atmospheric and electrical regularities observed near the ground.