

# Атмосферно-электрический критерий аэрозольного и радиоактивного загрязнения атмосферы

Панчишкина И.Н., Петрова Г.Г., Петров А.И.

Южный федеральный университет, Россия

georgpu@rambler.ru

В настоящее время контроль загрязнения атмосферного воздуха с целью быстрого реагирования на последствия техногенных катастроф является одной из проблем экологического мониторинга. Службами контроля различного уровня осуществляется наблюдение за состоянием атмосферного воздуха по физическим, химическим и биологическим показателям. Однако на сегодняшний день к актуальным задачам экологического мониторинга относится поиск интегральных критериев загрязнения атмосферы и модернизация методов контроля качества атмосферного воздуха. В целом ряде работ по атмосферному электричеству [1-5] указывается на возможность использования атмосферно-электрических характеристик для контроля ее чистоты. Тренды в рядах данных многолетних измерений элементов приземного атмосферного электричества, показывают уменьшение электропроводности, что вызвано возросшей антропогенной деятельностью, приведшей к повышению концентрации аэрозолей в атмосфере [8]. Уменьшение электрической проводимости, в свою очередь, приводит к изменению напряженности электрического поля, плотности электрического тока и плотности электрического заряда. Эти эффекты, связанные с присутствием аэрозольных частиц в атмосфере могут проявляться как в локальном, так и в глобальном масштабе [2]. Значительные изменения атмосферно-электрических характеристик наблюдались во время Чернобыльской катастрофы: в десятки раз возросла электропроводность и во столько же раз снизилась напряженность электрического поля в местах выпадения радиоактивных веществ [7]. Многие элементы атмосферного электричества в приземном слое реагируют на изменение содержания аэрозолей и радионуклидов, но по нашему мнению наиболее эффективно в качестве индекса аэрозольного и радиоактивного загрязнения воздуха можно использовать значения концентрации легких ионов в атмосфере.

В чистом воздухе в отсутствии турбулентного перемешивания концентрация легких ионов зависит от интенсивности ионообразования. В приземном слое ионизация осуществляется в результате влияния радиоактивного излучения земной поверхности, радиоактивных примесей, содержащихся в воздухе, космического излучения. Большая часть естественной альфа-радиоактивности вблизи земной поверхности обусловлена эманациями изотопов радона. Наиболее значительная роль в ионизации нижних слоев атмосферы отводится Rn-222, поскольку его период полураспада существенно больше периодов полураспада других изотопов и составляет 3,8 суток. Радон вместе с почвенным газом поступает в атмосферу, где его концентрация уменьшается с высотой. Профиль распределения Rn-222 определяется интенсивностью его выделения и скоростью рассеивания в атмосфере в результате турбулентного перемешивания [3,5]. Вклад радона в процесс ионообразования связан с объемной активностью Rn-222 следующим соотношением

$$q_{Rn} = cA_{Rn}, \quad (1)$$

где  $q_{Rn}$  - интенсивность ионообразования, обусловленная влиянием Rn-222,  $A_{Rn}$  - объемная активность (концентрация) радона-222. По Брикару [2]  $c=0,2$  пар ионов/с·Бк.

При отсутствии аэрозолей и турбулентного перемешивания концентрация легких ионов в атмосфере определяется балансом процессов ионизации и рекомбинации. Полагая для простоты  $n_+ = n_-$ , имеем:

$$\frac{dn}{dt} = q - \alpha n^2 \quad (2)$$

В стационарных условиях

$$\frac{dn}{dt} = 0 \Rightarrow q - \alpha n^2 = 0 \Rightarrow q = \alpha n^2 \quad (3)$$

Полагая, что  $q = q_{Rn}$  и подставив соотношение (1) в уравнение (3) получим

$$cA_{Rn} = \alpha n^2 \quad (4)$$

В качестве критерия чистоты воздуха может использоваться отношение квадрата концентрации легких ионов к объемной активности Rn222:

$$F = n^2 / A_{Rn} \quad (5)$$

Критерий  $F$  играет роль коэффициента пропорциональности в зависимости между квадратом концентрации легких ионов и объемной активностью радона-222, если принять, что этот изотоп радона является единственным ионизатором. Учитывая принятые значения констант  $c$  и  $\alpha$  можно получить значение критерия  $F$  для безаэрозольного случая.

$$F = \frac{n^2}{A_{Rn}} = \frac{c}{\alpha} = 12,5 \cdot 10^{16} \frac{(\text{п.и.})^2}{\text{Бк} \cdot \text{м}^3} \quad (6)$$

Однако следует иметь в виду, что интенсивность ионообразования в каждом пункте наблюдений определяется совокупным действием различных ионизаторов:

$$q = q_{Rn} + q_0(\alpha, \beta, \gamma) + q_{\text{косм.л.}} + \dots \quad (7)$$

где  $q_0(\alpha, \beta, \gamma)$  - интенсивность ионообразования от альфа-, бета-, гамма-излучения земной поверхности,  $q_{\text{косм.л.}}$  - интенсивность ионообразования посредством космического излучения. Поскольку при появлении искусственных радионуклидов в дополнение к естественному радиоактивному фону интенсивность ионообразования увеличивается, концентрация легких ионов может служить индикатором радиоактивного загрязнения.

$$q + q_1 - \alpha n^2 = 0 \Rightarrow \alpha n^2 = q + q_1 \Rightarrow n = \sqrt{\frac{q + q_1}{\alpha}} \quad (8)$$

где  $q_1$  - интенсивность ионообразования, обусловленная антропогенными источниками.

В реальной атмосфере легкие ионы исчезают при рекомбинации не только с ионами противоположного знака, но и в результате соединения с нейтральными и заряженными аэрозолями:

$$\frac{dn}{dt} = q - \alpha n^2 - \eta n N_0 - \gamma n N, \quad (9)$$

где  $N_0$  - концентрация нейтральных аэрозолей,  $N$  - концентрация заряженных аэрозолей (тяжелых ионов),  $\alpha \cong 1,6 \cdot 10^{-6} \text{см}^3/\text{с}$ ,  $\eta \cong 4,3 \cdot 10^{-6} \text{см}^3/\text{с}$ ,  $\gamma \cong 6,5 \cdot 10^{-6} \text{см}^3/\text{с}$  [6]. В стационарном случае уравнение (6) приобретет вид:

$$q - \alpha n^2 - \eta n N_0 - \gamma n N = 0, \quad (10)$$

Снижение концентрации легких ионов вследствие соединения с аэрозолями приведет к уменьшению значений  $F$ .

С целью изучения возможности использования атмосферно-электрических характеристик в качестве индикатора аэрозольного и радиоактивного загрязнения атмосферы в настоящей работе использованы экспериментальные данные, полученные в комплексных экспедициях, проводимых лабораторией геофизических исследований Южного федерального университета [9]. Экспедиции проводились в летние месяцы на территории Ростовской области и на пике Чегет в Приэльбрусье.

В таблице 1 представлены значения критерия  $F$ , полученные по данным экспедиционных измерений объемной активности радона-222  $A_{Rn}$  и концентрации легких ионов  $n$  в различных пунктах наблюдений. Значения критерия приводятся в процентном отношении к значению  $F$ , полученному для пика Чегет, которое оказалось значительно выше, чем для пунктов Ростовской области.

Таблица 1. Относительные значения критерия  $F$  в различных пунктах наблюдений

Пункт наблюдений	$F$ , %
Ростов-на-Дону	2%
п. Орловский	7%
с. Михайловка	7%
х. Платов	14%
х. Талловеров	12%
х. Федоровка	34%
Пик Чегет, Приэльбрусье	100%

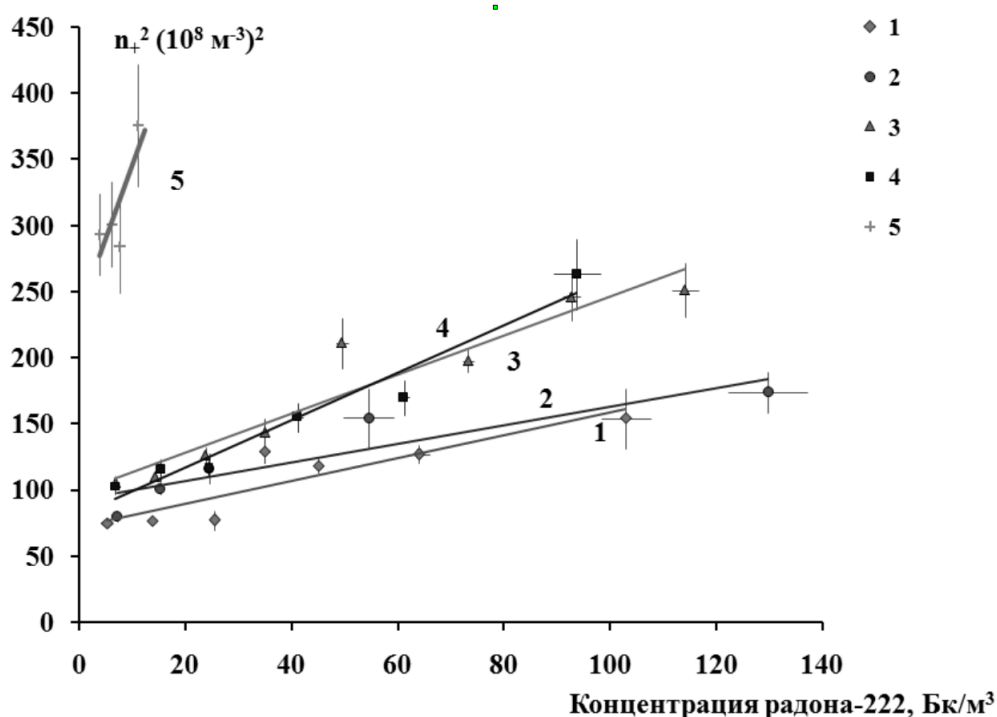


Рис. 1. Ряды регрессии квадрата концентрации положительных ионов по концентрации радона-222 в различных пунктах Ростовской области (планками показаны значения стандартной погрешности): 1 – Михайловка (1995-1998), 2 – Орловский (1999), 3 – Платов (2002-2005), 4 – Талловеров (2008), 5 – пик Чегет (2010)

Анализируя таблицу, можно отметить, что в крупном промышленном центре г. Ростова-на-Дону критерий  $F$  имеет наименьшие значения. В селе Михайловке и поселке Орловском содержание аэрозолей в атмосфере в целом выше, чем в хуторах Платове, Талловерове и Федоровке. Это подтверждается отметками наблюдателей о наличии помутняющих атмосферу факторов (пыль, дым, туман и т.д.).

Высокое значение  $F$  на пике Чегет можно объяснить малым содержанием в горном воздухе аэрозоля антропогенного происхождения и присутствием других источников ионообразования, характерных для условий высокогорья.

Для того чтобы уточнить роль источников ионообразования, которые действуют в исследуемом слое вместе с радоном были построены ряды регрессии квадрата концентрации положительных ионов по концентрации радона-222. При расчете использованы значения концентрации положительных ионов, с целью исключения влияния электродного эффекта.

Для рядов регрессии рассчитаны уравнения линейной функции вида  $n_+^2 = kA_{Rn} + b$  (рис. 1). В данном уравнении  $k$  – угловой коэффициент линейной функции, характеризующий силу связи между величинами  $n_+^2$  и  $A_{Rn}$ , он равен приращению квадрата концентрации легких ионов при увеличении на единицу объемной активности радона-222. Константа  $b$  – значение функции при нулевом значении аргумента, в данном случае определяет вклад других источников ионизации в ионообразование. Уравнения регрессии для всех пяти пунктов представлены в таблице 2.

Таблица 2. Уравнения регрессии квадрата концентрации положительных ионов по концентрации радона-222 для различных пунктов наблюдений

Пункт измерений	Уравнение регрессии	Достоверность аппроксимации
Михайловка	$(n_+)^2 = 0.86A_{Rn} + 73$	0,81
Орловский	$(n_+)^2 = 0.70 A_{Rn} + 93$	0,83
Платов	$(n_+)^2 = 1.47A_{Rn} + 99$	0,91
Талловеров	$(n_+)^2 = 1.79A_{Rn} + 82$	0,95
Пик Чегет	$(n_+)^2 = 11.06A_{Rn} + 235$	0,63.

В пунктах измерений Михайловка и Орловский (линии 1 и 2) коэффициенты  $k$  близки между собой, и примерно вдвое ниже, чем в Платове и Талловерове (линии 3 и 4). Следует отметить, что измерительная площадка в Михайловке находилась вблизи реки, во время наблюдений часто отмечались туманы. Аналогичные рассуждения справедливы относительно результатов, полученных в п.Орловском, только там причиной снижения  $k$  является не туман, а пыль. Поселок Орловский расположен на юго-востоке Ростовской области в полупустынной зоне. В период измерений часто наблюдались сильные восточные ветры с пылью и поземкой. В Платове и Талловерове помутняющие атмосферу факторы отмечались значительно реже. Наибольший наклон прямой (линия 5) для пика Чегет можно объяснить малым содержанием аэрозоля в атмосфере.

Таким образом, используя критерий  $F$ , рассчитанный по значениям концентрации легких ионов и объемной активности радона-222 можно осуществлять оперативное картирование уровней аэрозольной и радиоактивной загрязненности атмосферы, а после получения тревожной информации сигнального мониторинга проводить более подробные исследования. Полученные закономерности могут явиться основой для разработки оперативной региональной системы радиационно-экологического мониторинга.

## Литература

1. Брикар Дж. Влияние радиоактивности и загрязнений на элементы атмосферного электричества // Проблемы электричества атмосферы. - Л.: Гидрометеиздат. - 1969. - С. 68
2. Морозов В.Н. Математическое моделирование атмосферно-электрических процессов с учетом влияния аэрозольных частиц и радиоактивных веществ. - СПб., РГГМУ. - 2011. - 253 с.
3. Israelsson S. Measurements of surface-air space charges carried by dry wind-driven dust. // J. Atmosph. Terr. Phys. - 56(12). - 1994. - P. 1551-1556.
4. Kamsali N., Prasad B.S.N., Datta, J. Atmospheric electrical conductivity measurements and modeling for application to air pollution studies // Advances in Space Research. - 44(9). - 2009. - P. 1067-1078
5. Петров А.И., Петрова Г.Г., Панчишкина И.Н., Кудринская Т.В. Возможность использования атмосферно-электрических характеристик для оценки аэрозольного и радиоактивного загрязнения приземного слоя // Сборник трудов VII Российской конференции по атмосферному электричеству. - Т.2. - 2012. - с.37-39
6. Ивлев Л.С., Довгалоюк Ю.А. Физика аэрозольных систем. - СПб.: СПбГУ, 1999, 194с.
7. Israelsson S., Knudsen E. Effect of radioactive fallout from nuclear power plant accident electrical parameters // J. Geophys. Res. - 1986. - V.91. - p. 11909-11910.
8. Огуряева Л.В., Шварц Я.М. Многолетний ход величин атмосферного электричества в приземном слое. // Метеорология и гидрология. - 1987. - №7. - с. 59-64.
9. Петров А.И., Петрова Г.Г., Панчишкина И.Н., Кудринская Т.В., Петров Н.А. Измерительный комплекс для исследования электричества приземного слоя атмосферы. // Известия высших учебных заведений, Сев.- Кав. рег., Естест. науки. - №3. - 2010. - с. 47-52

## Atmosphere electric criterion of aerosol and radioactive pollution of the atmosphere

*Panchishkina I.N., Petrov A.I., Petrova G.G.*

*Southern Federal University, Russia*

A method for aerosol and radioactive pollution control of the atmosphere on the basis of experimental data on light ion concentration and Rn-222 volumetric activity in the near ground air is discussed in the paper. Studying the character of the dependence between these values, it is possible to conclude about the presence of aerosol in the atmosphere and about the infusion of radionuclides non-characteristic for natural conditions into the atmospheric air. Comparative analysis of the data, obtained in complex expeditions carried out for several years in Rostov-on-Don, in several points of rural districts of Rostov Region, and at Mt. Cheget (vicinity of Mt. Elbrus), was performed. The calculated values of the criterion correspond, in general, to aerosol and radioactive situation in each observation point.