

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭМАНАЦИОННОГО ПОЛЯ РАДОНА И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ГРАНИЦЕ ЗЕМНАЯ КОРА-АТМОСФЕРА

И.Б. Косарев, А.А. Спивак

Обсуждаются результаты синхронной регистрации объемной активности радона-222 в подпочвенной атмосфере и напряженности электрического поля в приземном слое атмосферы. Отмечается значимая корреляция между пространственными и временными вариациями указанных геофизических полей в зонах влияния тектонических разломов. Предложена численная модель взаимодействия поля радоновых эманаций и электрического поля атмосферы.

Введение

Изучение процессов преобразования и взаимодействия геофизических полей на границе земная кора-атмосфера, где протекает практически вся жизнедеятельность человека, представляет особый интерес. Атмосферное электрическое поле представляет собой один из наиболее важных факторов, которые определяют условия среды обитания. Электрическое поле атмосферы участвует в эволюции живых организмов, являясь источником информации о внешнем мире и обеспечивая непрерывное приспособление живых организмов к изменениям окружающей среды и взаимосвязи на всех уровнях иерархической организации – от отдельной клетки до биосферы в целом [Экология...].

Помимо этого пространственные и временные вариации электрического поля содержат информацию о строении приповерхностных участков земной коры, а также о режимах протекающих на ее приповерхностных участках геофизических процессов, в том числе в условиях слабых и сильных внешних воздействий естественного и техногенного происхождения (приливная деформация среды, барические вариации в атмосфере, работа электротехнического оборудования, линии электропередач и т.д.).

Высказано предположение [Грунская, 2002; Кашлева, 2008; Кузнецов, Симкин, 1990; Шулейкин, 2006], что напряженность электрического поля атмосферы на приповерхностных участках в значительной мере определяется интенсивностью радоновых эманаций. Это определяет повышенный интерес к изучению взаимодействия эманационного поля радона и электрического поля в приземном слое атмосферы [Рудаков, 2009].

В настоящей работе представлен анализ результатов синхронной регистрации объемной активности радона-222 в подпочвенной атмосфере и вертикальной составляющей напряженности электрического поля на земной поверхности. С целью описания процесса преобразования указанных полей разработан подход и численная модель взаимодействия рассматриваемых геофизических полей.

Результаты инструментальных наблюдений

При анализе влияния радоновых эманаций на величину электрического поля в приземном слое атмосферы привлекались данные, полученные в результате выполнения синхронной регистрации геофизических полей, выполненной на территории ПО «Маяк» [Адушкин, Соловьев, Спивак, 1998] в Горном Алтае (район Горноалтайского (Чуйского) землетрясения 27.09.2003 г.) [Локтев, Соловьев, 2005; Спивак, 2010] и в Тункинской рифтовой зоне в Прибайкалье [Адушкин, Спивак, Локтев и др., 2011; Спивак, 2010].

Результаты измерений свидетельствуют о сопоставимости временных вариаций объемной активности подпочвенного радона R и вертикальной компоненты напряженности электрического поля на земной поверхности E (регистрация электрического поля выполнялась на высоте около 1 м над земной поверхностью).

В качестве иллюстрации на рис. 1 приведены совместно усредненные за трое суток временные вариации величин R и E . Из графиков, представленных на рис. 1, видно, что увеличение объемной активности подпочвенного радона вызывает уменьшение электрического поля и наоборот, что позволяет предполагать наличие обратной зависимости между рассматриваемыми величинами R и E . Связь между вариацией объемной активности подпочвенного радона ΔR и абсолютной величиной вариации напряженности электрического поля ΔE приведена на рис. 2.

Аналогичные данные получены при регистрации геофизических полей в зоне влияния Курайской тектонической структуры (Горный Алтай). В частности, на рис. 3 приведены результаты синхронных измерений величин R и E , выполненных в пункте Акташ в период активизации Курайского разлома [Спивак, 2010]. Данные рис. 3 свидетельствуют о том, что значительные увеличения объема эманаций радиоактивного радона ^{222}Rn вызывают не только падение абсолютной величины электрического поля в приземном слое атмосферы, но могут привести даже к изменению знака электрического поля вблизи земной поверхности.

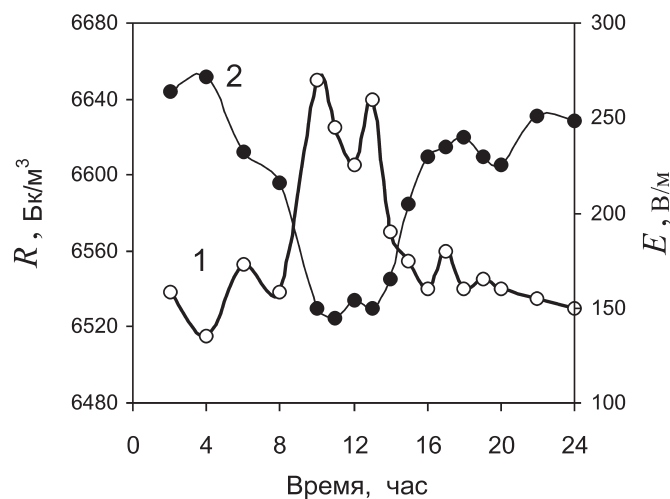


Рис. 1. Усредненные по трем суткам суточные вариации вертикальной компоненты напряженности электрического поля вблизи земной поверхности, вызванные изменением интенсивности радоновых эманаций (ПО «Маяк»).

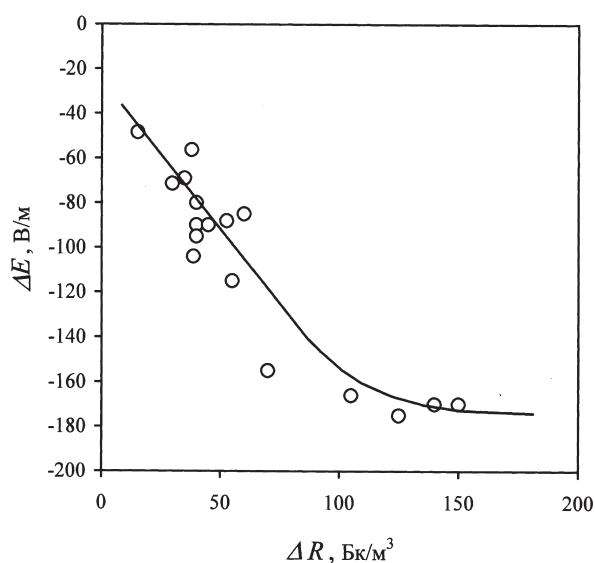


Рис. 2. Абсолютная величина вариаций электрического поля на земной поверхности ΔE в зависимости от изменений радоновых эманаций ΔR .

Возможную связь между R и E демонстрируют также данные, полученные при пространственных наблюдениях. В частности на рис. 4 представлены результаты инструментальных наблюдений, выполненных вдоль одного из профилей, пересекающих Тункинскую рифтовую зону [Адушкин и др., 2011]. Приведенные на рис. 4 результаты измерений показывают обратную зависимость между объемной активностью подпочвенного радона и величиной электрического поля в приземном слое атмосферы (пространственные вариации E и R находятся в противофазе: поступление радиоактивного радона вызывает уменьшение напряженности вертикальной составляющей электрического поля).

Совместный анализ данных, полученных при выполнении профильных измерений в районах Курайской и Тункинской тектонических структур, подтверждает наличие обратной зависимости между абсолютными величинами объемной активности подпочвенного радона и вертикальной компонентой напряженности электрического поля (рис. 5).

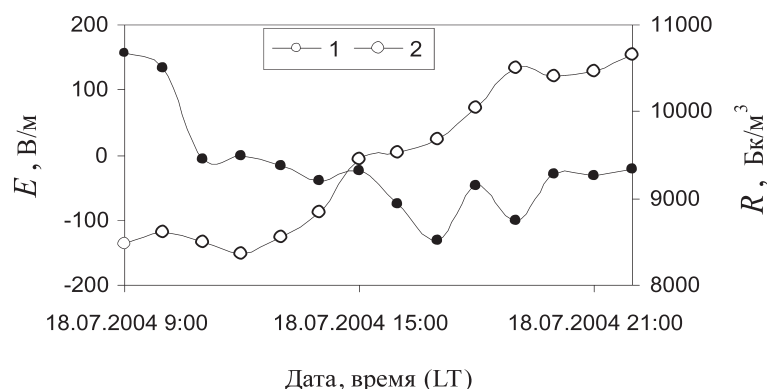


Рис. 3. Изменение напряженности электрического поля E и объемной активности подпочвенного радона R в пункте Акташ (зона влияния Курайского разлома).

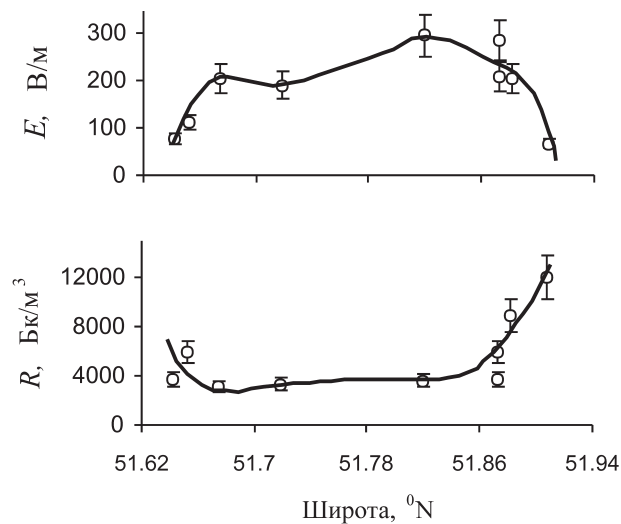


Рис. 4. Изменение напряженности электрического поля в приземном слое атмосферы E и объемной активности подпочвенного радона R вдоль субмеридианного профиля, пересекающего Тункинскую рифтовую впадину (Байкальская рифтовая зона).

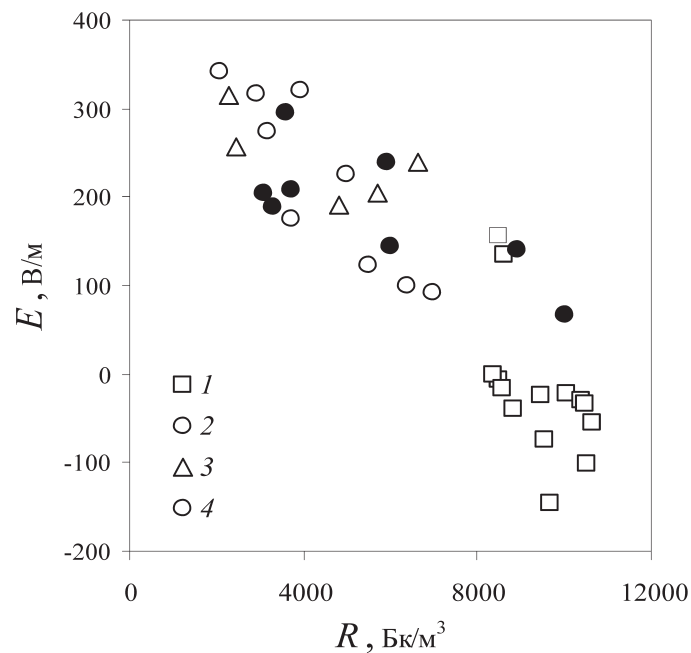


Рис. 5. Корреляция между вертикальной компонентой напряженности электрического поля в приземном слое атмосферы и объемной активностью подпочвенного радона по результатам регистрации: 1 – временных вариаций в течение суток 18.07.2004 г. в зоне влияния Курайской тектонической структуры; 2 и 4 – площадных наблюдений соответственно вдоль субмеридианного и субширотного профилей, пересекающих Тункинскую рифтовую впадину; 3 – площадных наблюдений вдоль профиля, пересекающего Курайскую тектоническую структуру (Горный Алтай).

**Расчетная модель влияния радоновых эманаций
из недр на электрическое поле
в приповерхностном слое атмосферы**

Эскаляция радона в атмосферу приводит к повышению уровня ионизации приповерхностных атмосферных слоёв и образованию приповерхностного плазменного слоя. Каждая α -частица, используемая атомом ^{222}Rn со средней энергией 6 МэВ производит около $2 \cdot 10^5$ электрон-ионных пар. Ионизирующее излучение радона создаёт большое число ионов O_2^+ . При выходе радона в 10 эман скорость ионообразования соответствует $6,33 \cdot 10^5 \text{ см}^{-3} \text{ с}^{-1}$.

Таким образом, атмосферная радиоактивность является основным ионизирующим фактором, определяющим проводимость в приземных слоях. Увеличение уровня радиоактивности в приземном слое воздуха при выходе радона на поверхность существенно меняет проводимость и электрическое поле в слое Земля-ионосфера. Основным механизмом этого влияния на проводимость приземного слоя является осаждение ионов из газовой фазы на конденсированных аэрозольных частицах и образование больших ионных кластеров в результате ионизации и плазмохимических реакций [Сорокин, Чмырев, Яценко, 2001].

Квазистационарные электродинамические процессы в слое Земля-ионосфера описываются следующей системой уравнений:

$$\vec{E} = -\nabla\varphi; \quad \nabla \vec{E} = 4\pi(\rho + \rho_s); \quad \vec{j} = \sigma \vec{E}, \quad \frac{\partial(\rho + \rho_s)}{\partial t} + \nabla(j + j_s) = 0 \quad (1)$$

где $\vec{E}$ и φ – величины электрического поля и потенциала, $\vec{j}$ и ρ – плотность тока и заряда, j_s и ρ_s – плотность стороннего тока и заряда, σ – проводимость среды.

Производя преобразование уравнений (1), можно получить следующее уравнение для электрического поля в слое Земля-ионосфера

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + 4\pi\sigma \right) \nabla \cdot \vec{E} + 4\pi(\nabla \cdot \sigma) \vec{E} = -4\pi \nabla \cdot \vec{j}_s. \quad (2)$$

Входящая в уравнения (1)–(2) величина проводимости среды σ является функцией плотности и температуры среды и определяется плазмохимическим составом приземного слоя.

Предполагая, что характерный временной масштаб рассматриваемых процессов превосходит время релаксации $1/4\pi\sigma$, из (2) можно получить уравнение для распределения стороннего тока по высоте и в этом приближении провести простую оценку возмущения электрического поля [Сорокин, Чмырев, Яценко, 2001]. Если при инъекции с земной поверхности в атмосферу концентрация аэрозолей достигнет величины $N_0 = 10^3 \text{ см}^{-3}$, и при этом доля возникших положительно заряженных аэрозолей составит 10%, отрицательно заряженных – 0, то получим, что поле на поверхности $E(0) = -3,3E_0$, где E_0 величина невозмущённого атмосферного поля у поверхности. При $E_0 = 130 \text{ В/м}$ возмущённое выбросом поле будет равно минус 430 В/м. Это достаточно большая величина, свидетельствующая о том, что выбросы радона из почвы могут приводить к достаточно большим вариациям атмосферного электрического поля.

В заключение на рис. 6 представлены результаты расчетов напряженности электрического поля на земной поверхности на основе модели с привлечением данных регистрации объемной активности подпочвенного радона на одном из

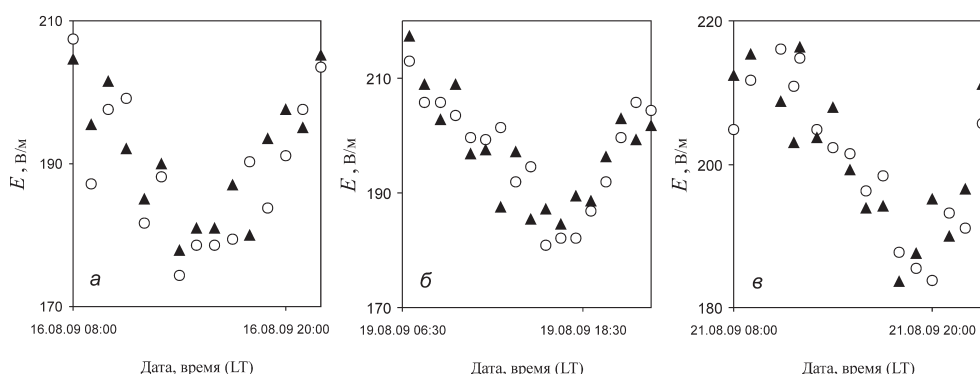


Рис. 6. Напряженность электрического поля на земной поверхности E для трех периодов времени, характеризующихся «хорошей» погодой (а–в).

Треугольники – результаты расчета по модели; кружки – данные инструментальных наблюдений (Тункинский рифт [Адушкин и др., 2011]).

участков Тункинского рифта [Адушкин и др., 2011; Болбот и др., 2012]. Там же для сравнения приведены результаты регистрации вертикальной составляющей электрического поля в приземном слое атмосферы, полученные в периоды «хорошей» погоды. Сравнение данных показывает, что предложенная расчетная модель вполне адекватно описывает результаты инструментальных наблюдений. Более того, учитывая сильную зависимость электрического поля приземного слоя атмосферы от метеоусловий [Адушкин и др., 2011; Локтев, Соловьев, 2010], можно с помощью расчетной модели выделять вариации E , связанные с радоновыми эманациями в произвольных погодных условиях.

Заключение

Сложность обработки и последующего анализа результатов инструментальных наблюдений в приповерхностной зоне Земли связаны с необходимостью учета разнообразных факторов, влияющих на пространственные и временные характеристики геофизических полей. Предложенный подход к оценке напряженности электрического поля на земной поверхности, учитывающий обобщающие эмпирические зависимости и результаты расчетов, позволяет прогнозировать величину электрического поля у земной поверхности в условиях «хорошей» погоды по результатам более стабильных, практически не зависящих от метеоусловий измерений радоновых эманаций¹.

Исследования выполнены при поддержке РФФИ (гранты 11-05-00096-а и 12-05-00578-а).

¹ Имеются в виду влияние влажности, осадков, низкой облачности и т.д. Влияние барических вариаций в атмосфере на объемную активность подпочвенного радона известно [Болбот и др., 2012].

Литература

- Адушкин В.В., Соловьев С.П., Спивак А.А.* Электрические и радиационные характеристики приземного слоя атмосферы на территории По «Маяк» // Вопросы радиационной безопасности. 1998. № 3. С. 3–9.
- Адушкин В.В., Спивак А.А., Локтев Д.Н., Соловьев С.П., Харламов В.А.* Инструментальные наблюдения за геофизическими полями Тункинской рифтовой зоны // Межгеосферные взаимодействия. М.: ГЕОС, 2011. С. 44–53.
- Болбот Д.Ю., Локтев Д.Н., Спивак А.А., Харламов В.А.* Влияние слабых возмущений на эманацию радона в Тункинской рифтовой зоне. Настоящий сборник. 2012.
- Грунская Л.В.* Электромагнетизм приземного слоя и его взаимосвязь с геофизическими и астрофизическими процессами. Владимир.: Владим. гос. ун-т, 2002. 104 с.
- Кашлева Л.В.* Атмосферное электричество. С.-П.: 2008, 116 с.
- Кузнецов О.Л., Симкин Э.М.* Преобразование и взаимодействие геофизических полей в литосфере. М.: Недра, 1990. 269 с.
- Локтев Д.Н., Соловьев С.П.* Вариации электромагнитного поля в районе Чуйского землетрясения // Динамические процессы в системе внутренних и внешних взаимодействующих геосфер. М.: ГЕОС, 2005. С. 179–186.
- Локтев Д.Н., Соловьев С.П.* Комплексные геофизические наблюдения на границе литосфера-атмосфера в районе Байкальской рифтовой зоны // Динамические процессы в геосферах. М.: ГЕОС, 2010. С. 250–258.
- Рудаков В.П.* Эманионный мониторинг геосред и процессов. М.: Научный мир, 2009. 176 с.
- Сорокин В.М., Чмырев В.М., Яценко А.К.* Возмущение электрического поля в слое земля–ионосфера при инъекции заряженных аэрозолей // Геомагнетизм и аэрономия. 2001. Т. 41. № 2. С. 187–191.
- Спивак А.А.* Особенности геофизических полей в разломных зонах // Физика Земли. 2010. № 4. С. 55–66.
- Шулейкин В.Н.* Атмосферное электричество и физика Земли. М.: ИПНиГ, 2006. 159 с.
- Экология человека в изменяющемся мире* / Колл. авторов. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 570 с.