

УДК 550.348.+551.594

ПОДПОЧВЕННЫЙ РАДОН И НАПРЯЖЕННОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ АТМОСФЕРЫ В РАЙОНЕ ПЕТРОПАВЛОВСК - КАМЧАТСКОГО ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО ПОЛИГОНА

© 2006 П.П. Фирстов¹, Н.В. Чернева², Е.А. Пономарев³, А.В. Бузевич²

¹Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск - Камчатский, 683006

²Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,
п. Паратунка, Камчатская область, 684034

³Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, 664033
e-mail: firstov@kscnet.ru

В работе на основе данных, полученных в районе Паратунской геотермальной системы в 1998-2005 гг., показана связь величины напряженности атмосферного электрического поля (АЭП) с эксхалацией радона в приземную атмосферу. Как суточный, так и сезонный ход значений напряженности АЭП контролируются стоком подпочвенного радона в атмосферу, чем объясняется большая разница между максимальным и минимальным значением ~ 90 В/м в суточном ходе, осредненным за весь период наблюдений для условий хорошей погоды. Связь между напряженностью АЭП и стоком радона в атмосферу осложнена глобальной суточной вариацией и метеорологическими процессами.

По существующим представлениям, разность потенциала между поверхностью Земли и ионосферой (около 100 км) составляет порядка 300 кВ. Причем половина падения потенциала приходится на нижний двух - трех километровый слой тропосферы, сопротивление которого в значительной мере определяет вертикальный ток во всей колонне. Считается, что сопротивление этого, так называемого обменного, слоя определяется, в основном, процессом эксхалации почвенного радона в атмосферу и в меньшей степени космическими лучами (Kasemir, 1977). Но в тоже время, за счет интенсивной конвекции и турбулентной диффузии в этом слое велика пространственно-временная изменчивость электрических параметров атмосферы. Все эти процессы формируют особенности поведения электрических параметров в каждом пункте регистрации наземного базирования и в значительной мере маскируют проявление глобальных эффектов атмосферного электричества.

Среди характеристик, определяющих электрическое состояние атмосферы, наиболее доступным является регистрация напряженности (E_z) атмосферного электрического поля Земли (АЭП). Знание морфологических свойств E_z АЭП имеет принципиальное значение, так как ее

вариации, обусловленные метеорологическими и гелиомагнитосферными факторами, можно рассматривать как шум относительно предвестниковых аномалий готовящегося землетрясения, поиск которых проводятся на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне. Для задач геодинамики большое значение имеет изучение суточного и годового хода E_z в пункте регистрации. Такие исследования начали проводиться с момента регулярных наблюдений за вариациями E_z для многих пунктов наблюдений России и других стран (Колоколов и др., 1982; Кречетов, Филиппов, 2000; Махоткин, 1982; Тверской 1949; Филиппов, 1990; Чалмерс, 1974; Чертилова, 1981; Шварц, Огуряева, 1987; Israels-son, Tammet, 2001 и др.). Наиболее устойчив и закономерен суточный ход E_z над океанами, где он остается почти неизменным в течение всего года в виде простой волны с максимумом в 18 - 19 часов и минимумом в 4 часа по мировому времени (унитарная вариация), что связано, как принято считать, с деятельностью мировых очагов гроз (Казимировский, 1983; Тверской, 1949). При наблюдениях в пунктах наземного базирования суточный ход E_z достаточно сложный и различен для разных мест и зависит от метеорологических условий, техногенных помех (выбросы в атмосфе-

ру ионизированных аэрозолей), орографических особенностей места наблюдений (Филиппов, 1990; Чертилова, 1981). Причем если на высоте 3000 м связь с космическими лучами проявляется достаточно надежно (Кречетов, Филиппов, 2000), то на высотах, близких к уровню моря, следует ожидать большой вклад влияния естественной радиоактивности горных пород.

В работе (Бузевич и др., 2004) в первом приближении рассмотрены особенности суточного и годового хода E_z для полуострова Камчатка. В данной работе проведена дальнейшая детализация суточного и годового хода и проведено его сравнение с динамикой стока радона в атмосферу.

Начиная с 1992 г., в Институте космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН на обсерватории Паратунка (пункт ИКР) проводятся непрерывные наблюдения за E_z приземной атмосферы с целью поиска предвестниковых аномалий сильных землетрясений Курило – Камчатской зоны субдукции (Руленко и др., 1992, 1996). В ноябре 1997 г., в 1.2 км к югу от обсерватории Паратунка, на береговой террасе ручья Коркина (пункт ПРТ) был организован непрерывный мониторинг объемной активности радона (ОА Rn) в подпочвенном воздухе (см. врезку рис. 1). С февраля 2000 г. по октябрь 2003 г. в этом же районе работал еще один пункт регистрации подпочвенного радона (пункт Голубая лагуна, ГЛЛ), расположенный в трех км к северо-западу от пункта ПРТ (Фирстов, Рудаков 2003). В данной статье на основании восьмилетних наблюдений в районе Паратунского грабена, который является частью Петропавловск – Камчатского геодинамического полигона, проведено сопоставление E_z и ОА Rn, с целью исследования их взаимосвязи.

ХАРАКТЕРИСТИКА ПУНКТОВ РЕГИСТРАЦИИ, АППАРАТУРА И МЕТОДИКА НАБЛЮДЕНИЙ

Все три пункта регистрации располагаются в северной части Паратунского грабена северовосточного простирания, параллельного Камчатскому участку зоны субдукции, являющемуся южной частью Начикинской складчато – глыбовой зоны. Пункты наблюдений располагаются на высотах около 100 м в речной долине р. Паратунка, ограниченной горными хребтами с высотами 1000-1500 м над уровнем моря. Структурной особенностью района исследований (рис. 1) является глыбовая тектоника (Сережников, Зимин, 1976). Мозаика блоков обусловлена сочетанием движений по системе долгоживущих разрывов следующих главных направлений (по возрасту заложения от молодых к древним):

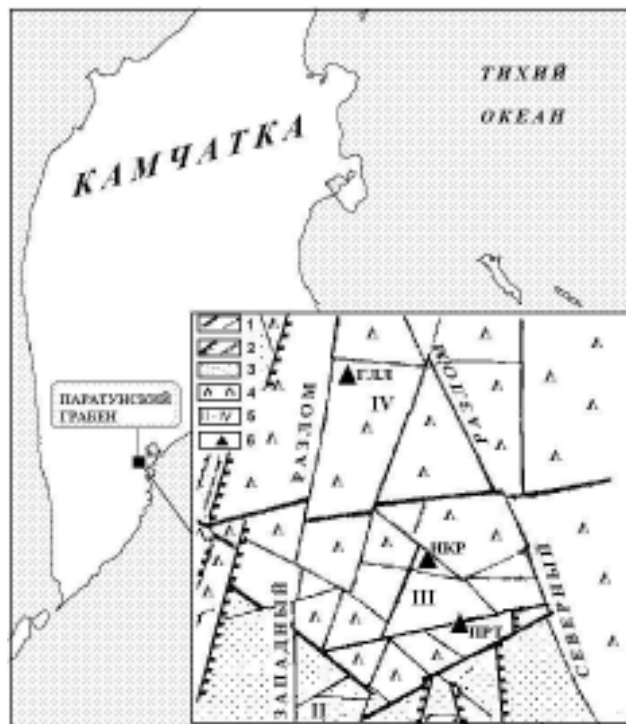


Рис. 1. Расположение Паратунского грабена на полуострове Камчатка. На врезке показана схематическая структурная карта района Паратунского грабена по данным работы (Сережников, Зимин, 1976) и расположение пунктов регистрации подпочвенного радона и напряженности атмосферного электрического поля Земли: 1 – разрывные нарушения (толстые линии – главные, тонкие линии – более низких порядков); 2 – те же, с указанием направления падения плоскости сместителя; 3 – вулканы паратунской толщи; 4 – вулканы алнейского комплекса; 5 – поперечные блоки в дне Паратунского грабена (II – IV); 6 – пункты регистрации: ГЛЛ – Голубая лагуна; ИКР – Институт космофизических исследований и распространения радиоволн; ПРТ – ручей Коркина.

меридиональные (азимуты простирания СЗ 350° ÷ С 0°); субширотные (ВСЗ 85° ÷ ВЮВ 120°); северо – западные (СЗ 320° ÷ СЗ 340°); северо – восточные (СВЗ 50° ÷ 70°); субмеридианальные (ССВ 10° ÷ 20°). Большинство разломов выражено в рельефе, а в долине реки Паратунка под рыхлым чехлом они прослежены геофизическими методами. Между двумя крайними ограничениями грабена в его дне геофизическими методами выявлено несколько разломов, делящих всю структуру на четыре основных блока. Пункт наблюдений за ОА Rn «Паратунка» (ПРТ) располагается на речной террасе ручья Коркина, который трассирует субширотный разлом блока III Паратунского грабена, а обсерватория Института космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН (ИКР) расположена почти в центре небольшого блока (рис. 1).

К Паратунскому грабену приурочена хорошо развитая сеть подземных резервуаров геотер-

мального месторождения. В 700 м от пункта ПРТ ниже по течению ручья находятся естественные выходы термальных вод с содержанием растворенного Rn до 1500 Бк/м³. Расположение пунктов регистрации ОА Rn и E_z в зоне грабена с блоковой тектоникой и хорошо развитой гидротермальной системой, по мнению авторов, увеличивает тензочувствительность регистрируемых параметров в связи с изменением напряженно-деформированного состояния геосреды на заключительной стадии подготовки сильных землетрясений Авачинского залива.

РЕГИСТРАЦИЯ НАПРЯЖЕННОСТИ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Для измерения E_z на обсерватории Паратунка используется электростатический флюксметр “Поле-2м”, созданный и изготовленный в Главной геофизической обсерватории им. Л.И. Воейкова (Гордюк, 1981). Конструктивно прибор состоит из двух блоков первичного преобразователя (электростатического генератора) и блока электроники. Первичный преобразователь расположен на платформе размером 4×4 м², выполненной из металлической сетки и приподнятой над поверхностью земли на 3.4 м. Такие размеры платформы обеспечивают удовлетворительное выравнивание эквипотенциальных линий атмосферного электрического поля Земли. Выбор высоты обусловлен мощностью снегового покрова. Регистрация сигнала осуществлялась с помощью аппаратно-программного комплекса, который включает 16 канальный аналого-цифровой преобразователь, персональный компьютер и пакет программ. Комплекс позволял вести запись сигналов с дискретностью 10 с. Программное обеспечение позволяло осуществлять децимацию с необходимой дискретностью (Бузевич и др., 1998).

НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТЬЮ РАДОНА НА ПАРАТУНСКОЙ ГИДРОТЕРМАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

Регистрация ОА Rn в подпочвенном воздухе в пункте ПРТ проводится в двух разноглубоких точках - в зоне аэрации и вблизи зоны полного влагонасыщения. В 1998-1999 гг. регистрация радона велась с помощью радиометра РГА-01. С конца 1999 г. регистрация ОА Rn стала осуществляться автономными (до двух месяцев) радиометрами “РЕВАР”, в которых с помощью газоразрядных счетчиков типа СТС6 регистрируется β-излучение продуктов распада радона. Накопление данных с частотой дискретизации 0.5 час⁻¹

происходит на твердотельной памяти с последующим их считыванием на компьютер. Одновременная регистрация обоими радиометрами позволила получить эмпирическую зависимость пересчета имп/мин в Бк/м³, что позволило сравнить ряды наблюдений, выполненных разнотипной аппаратурой (Фирстов, Рудаков, 2003).

В зоне аэрации регистрация Rn в ПРТ проводилась на глубине один метр от поверхности пола летней постройки. Газоразрядный датчик β-излучения опускался через полиэтиленовую трубу диаметром 5 см в заборную емкость (10 литров), которая сверху закрывалась пробкой. Кроме того, регистрировалась концентрация радона, находящегося в равновесии с продуктами распада, с поверхности под 10-литровой емкостью. На рис. 2,а приведены записи концентрации Rn за август – сентябрь 2004 г. Наблюдается хорошая корреляция между обеими кривыми $r = 0.61$ (при $r_{zn} = 0.43$ для 95% уровня доверия), а отношение значений концентрации радона в зоне аэрации к радону, находящемуся в равновесии с продуктами распада, на поверхности составляет 4.50 ± 0.82 . Данный факт указывает на то, что наблюдения в зоне аэрации отражает динамику эксхалляции радона с дневной поверхности в атмосферу.

До 2002 г. значения метеопараметров брались по данным метеостанции, расположенной в 45 км от ПРТ, а с 2002 г. измерения атмосферного давления и температуры ведутся на пункте ПРТ. На рис. 2,б показаны вариации метеопараметров (атмосферное давление, температура и количество осадков) за этот же период. Коэффициент корреляции между концентрацией радона в зоне

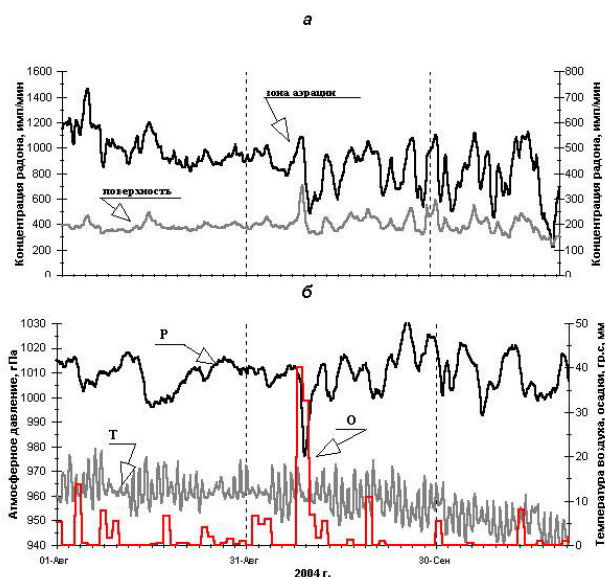


Рис. 2. Образцы записи концентрации радона в пункте ПРТ в зоне аэрации (1 м) и на поверхности грунта (а); метеопараметры (б): Р – атмосферное давление, ГПа; Т – температура воздуха, °С; О – осадки, мм. вод.ст./м².

аэрации и атмосферным давлением составляет $r=0.38$ (при $r_{\text{зн}}=0.25$ для 95% уровня доверия).

В пункте ГЛЛ регистрация велась в зоне аэрации на глубинах один и два метра от дневной поверхности. Датчики опускались в заборные емкости, расположенные в одном метре друг от друга, а площадь над датчиками размером $2 \times 2 \text{ м}^2$ закрывалась полиэтиленовой пленкой для предохранения от проникновения влаги в зону аэрации над датчиками. На рис. 3,а показан пример записи концентрации Rn за период с 1 августа по 20 сентября 2001 г. для пункта ГЛЛ на обеих глубинах и в пункте ПРТ в зоне аэрации. Несмотря на значительное расстояние между пунктами регистрации, значимая фазовая корреляция наблюдается для всех трех кривых, что подтверждает сходный характер стока радона в атмосферу для всего района. На рис. 3,б приведены кривые метеопараметров за этот же период. Коэффициент корреляции между концентрацией радона в зоне аэрации на глубине один метр и атмосферным давлением составляет $r = 0.41$ (при $r_{\text{зн}} = 0.28$ для 95% уровня доверия).

Как указывалось в работе (Фирстов, Рудаков, 2003), для обоих пунктов характерно большое значение передаточной функции между атмосферным давлением и значением радона, что связывается с влиянием конвективной составляющей, обусловленной радоном, источником которого являются воды геотермальных резервуаров, наличие которых характерно для этого района. Причем, зоны динамического влияния разломов, которые характерны для Паратунского грабена, за счет повышенной проницаемости, являются источниками стока в атмосферу ано-

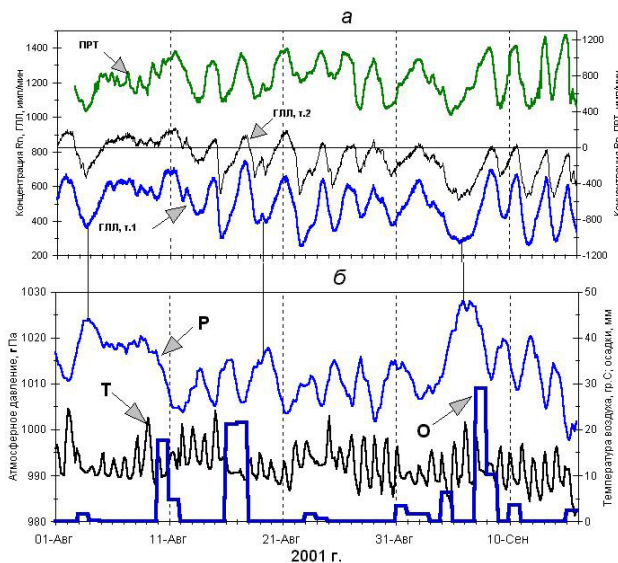


Рис. 3. Образцы записи концентрации радона в зоне аэрации в пунктах ПРТ и ГЛЛ (а) и метеопараметры (б): Р – атмосферное давление, ГПа; Т – температура воздуха, °С; О – осадки, мм. вод. ст./м².

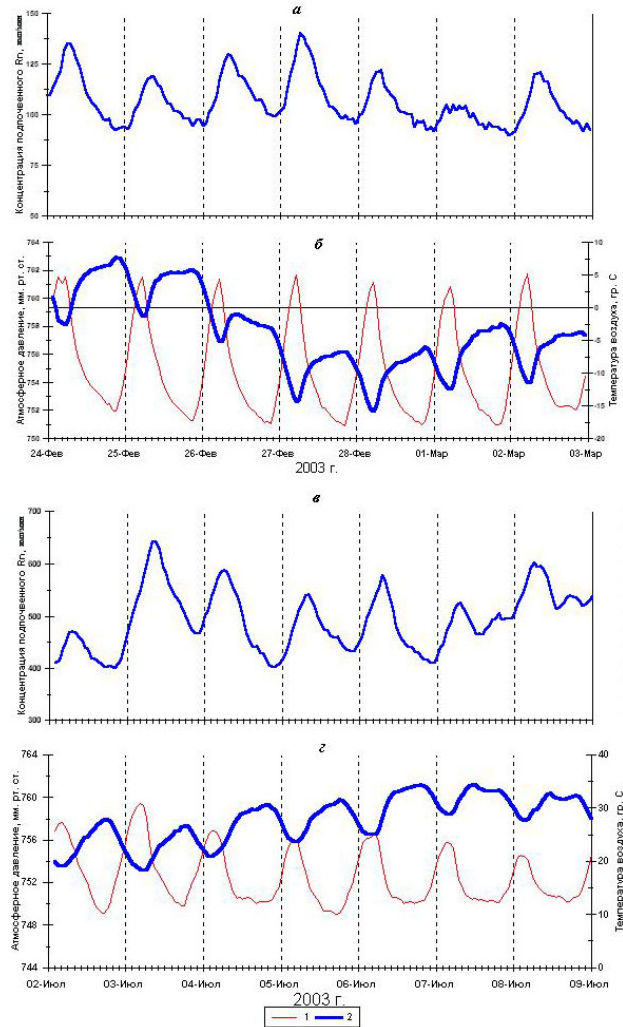


Рис. 4. Образцы записи суточных вариаций концентрации подпочвенного радона (а, в) и метеопараметры (б, д). 1 – температура; 2 – давление.

мальных объемов подпочвенных газов, в том числе и радона.

В некоторые моменты времени, при отсутствии сильных изменений давления, обусловленных циклонами, наблюдались четко выраженные суточные колебания концентрации Rn. Были выбраны участки с четким суточным ходом концентрации Rn в пункте ПРТ, которые приведены на рис. 4, где также показаны температура и атмосферное давление. Как правило, суточный ход в динамике концентрации Rn появляется при суточных колебаниях температуры от 6 до 20°C, что приводит к синхронным суточным колебаниям атмосферного давления и концентрации радона. Как видно на рис. 4, в первой половине суток (время LT) наблюдается всплеск концентрации радона с максимумом, приходящимся на 3-6 ч (15-18 LT), что соответствует времени, когда максимально прогревается верхний слой почва. Прогрев почвы приводит к увеличению проницаемости и увеличению скорости конвек-

тивной составляющей массопереноса радона к дневной поверхности.

СОПОСТАВЛЕНИЕ СУТОЧНОГО И ГОДОВОГО ХОДА НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ С ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТЬЮ РАДОНА В ПОДПОЧВЕННОМ ВОЗДУХЕ

Исследовалась динамика суточного хода E_z для дней с “хорошей погодой”. Выборка значений E_z АЭП в условиях “хорошей погоды” (УХП) позволяет исключить локальные влияния, обусловленные метеорологическими факторами (Семенов, 1982). Под термином УХП принято считать такие погодные условия в пункте наблюдения, при которых действие локальных источников образования объемных электрических зарядов минимально (скорость ветра менее 6 м/с, отсутствие облачности и сильных магнитных возмущений). Следует отметить, что выбор дней с УХП для Камчатского региона, как правило, отвечает характеру антициклональной атмосферной циркуляции, характеризующейся безоблачной погодой и удалением от пункта регистрации активных генераторов АЭП за счет вертикального переноса воздушных масс к поверхности Земли. Такие условия обеспечивают наибольшее влияние эксхалляции радона с поверхности Земли на E_z АЭП.

На рис. 5 приведены среднечасовые значения \bar{E}_z^M для дней с УХП в каждом месяце, осредненные за весь период наблюдений для пункта ИКР, а пунктирной кривой показан осредненный за все месяца годовой суточный ход \bar{E}_z^r . Для трех месяцев (май, июнь, июль) также приведен суточный ход над океанами из работы (Колоколов и др., 1982). К сожалению, дней с УХП в месячных интервалах каждого года в лучшем случае было не больше пяти, поэтому к этому рисунку необходимо относиться с определенной осторожностью.

По форме и амплитуде месячные кривые суточного хода значений \bar{E}_z^M на качественном уровне могут быть разбиты на 3 группы (рис. 5):

1. В мае, июне и июле кривые \bar{E}_z^M напоминают суточный ход над океанами с четко выраженным максимумом унитарной составляющей $\bar{E}_z^M \sim 150$ В/м, приходящейся на 14 – 21 час UT и минимумом в 4-10 часов $\bar{E}_z^M \sim 80$ В/м. Амплитудная вариация составляет 83% от среднего значения, против 23% для суточного хода над океанами.

2. В январе, феврале, декабре суточный ход превышает среднегодовой с $\bar{E}_z^M > 150$ В/м без явно выраженного унитарного максимума.

3. В остальные месяцы (за исключением апреля) в суточном ходе, как правило, наблюдается хорошо выраженный пик с амплитудой $\bar{E}_z^M = 150-$

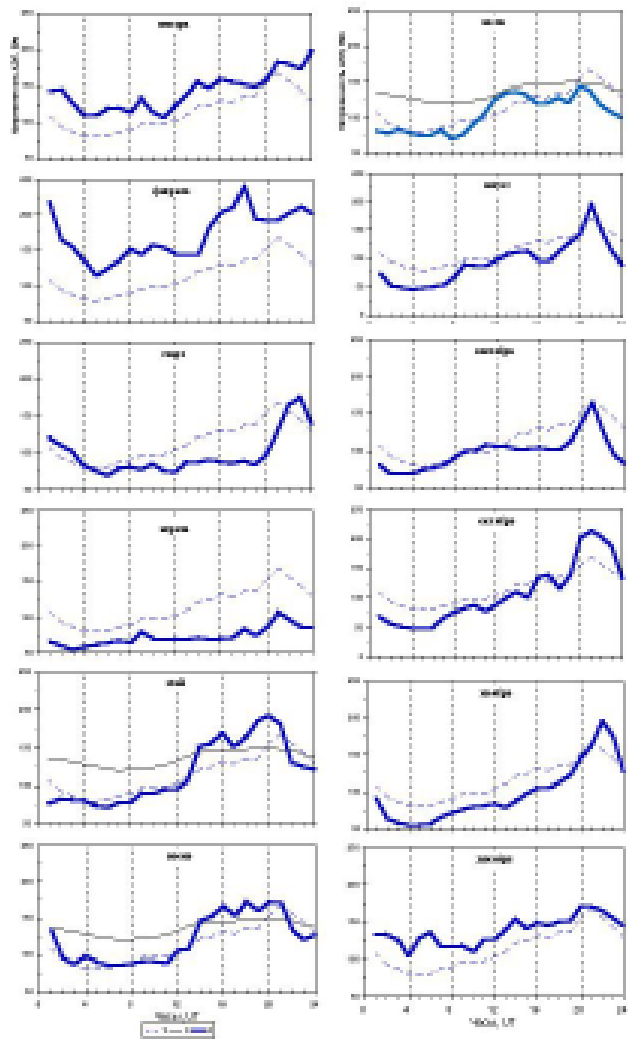


Рис. 5. Суточный ход среднечасовых значений градиента атмосферного электрического поля Земли для дней с “хорошей погодой” в месячных интервалах и осредненный годовой суточный ход за период наблюдений 1999-2002 гг. для пункта ИКР. 1 – годовой суточный ход (\bar{E}_z^r), 2 – суточный ход над океанами, 3 – месячный суточный ход (\bar{E}_z^M).

200 В/м в районе 21 - 22 UT, что соответствует 9-10 часам LT.

Рассмотрим соотношение суточных ходов \bar{E}_z^r и концентрации подпочвенного радона (рис. 6). Минимум в суточном ходе для $\bar{E}_z^r = 75$ В/м приходится на 4-8 часов UT, что соответствует максимуму суточного хода подпочвенного радона. Значительное понижение минимума суточного хода по сравнению с минимумом суточного хода над океанами, указывает на существенное влияние эксхалляций подпочвенных газов на \bar{E}_z^M . Действительно, в силу того, что район наблюдений приурочен к структуре с большим количеством активных разломов над геотермальными резервуарами, повышенная эксхалляция радона в атмосферу обязана влиять как на суточный ход, так и на сезонный.

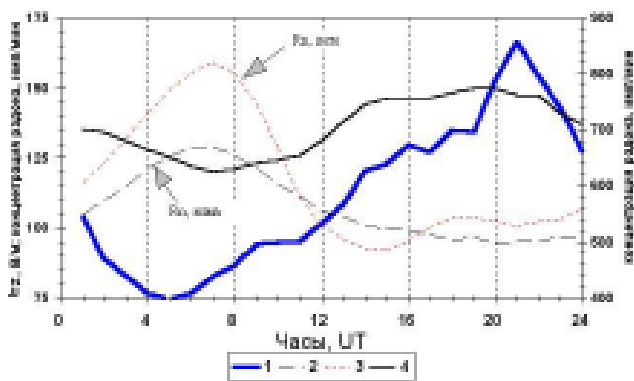


Рис. 6. Годовой суточный ход напряженности атмосферного электрического поля для УХП, осредненный за период наблюдений 1999-2002 гг. и суточный ход концентрации подпочвенного радона. 1 – суточный ход E_z ; 2 – суточный ход Rn в зимние месяцы; 3 – суточный ход Rn в летние месяцы; 4 – суточный ход E_z над Атлантическим и Индийским океанами (Колоколов и др., 1982).

Для изучения сезонного хода E_z^c , данные усреднялись в полусуточных интервалах, а с целью уменьшения влияния помех выбросов, обусловленных ненастной погодой (дождь, снег), было проведено ограничение сигнала +500 В/м по верхнему и -200 В/м по нижнему пределу значений. После чего проводилось усреднение скользящим средним по 20 точкам (рис. 7).

Для ОА Rn на первом этапе проводилась барокомпенсация по методике А.А. Любушина (мл.), а затем по описанной выше методике по усредненным данным строился сезонный ход (рис. 7). Кривые сезонных ходов E_z^c и ОА Rn удовлетворительно аппроксимируются сезонной моделью с трендом (Бокс, Дженкинс, 1974).

На рис. 8 представлены модельные нормированные от среднего значения сезонные

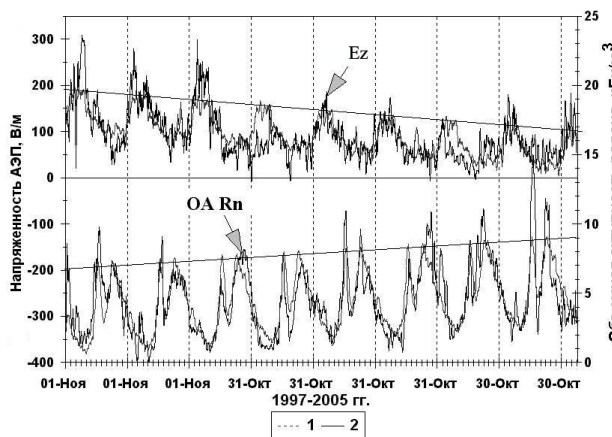


Рис. 7. Сезонный ход напряженности атмосферного электрического поля Земли на обсерватории Паратунка (ИКР) и сезонный ход ОА Rn в зоне аэрации в пункте ПРТ за период 1998-2005 гг. 1 – модель, 2 – экспериментальные данные.

кривые для E_z^c , ОА Rn и температуры воздуха. Так же как и для суточного хода, в сезонном ходе подпочвенного радона и E_z^c наблюдается четко видимая зависимость от температуры воздуха. На качественном уровне динамика E_z^c и ОА Rn находятся в противофазе. При этом в сезонном ходе подпочвенного радона сказывается сильное влияние грунтовых вод в мае месяце, когда значение ОА Rn резко возрастает за счет повышение уровня грунтовых вод, что приводит к вытеснению радона из пор и резкому его увеличению до 200% и более в зоне аэрации. Падение уровня грунтовых вод в июне месяце приводит к понижению уровня открытой поверхности зоны насыщения с перемещением столба атмосферы вглубь рыхлых отложений и, соответственно, к резкому уменьшению ОА Rn в зоне аэрации (эффект «засасывания»). Наиболее отчетливо этот эффект проявился в 2005 г., после многоснежной зимы (рис. 7). В динамике E_z этот момент не проявляется, по-видимому, он связан с умень-

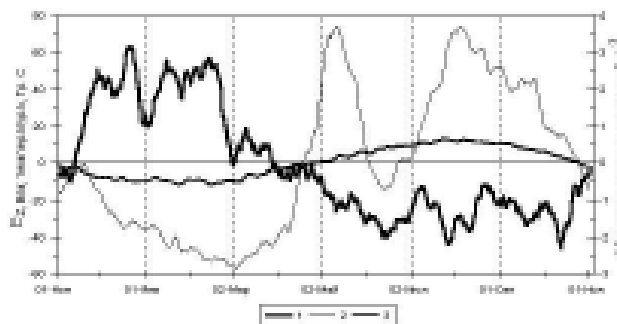


Рис. 8. Нормированные модельные сезонные кривые для E_z , ОА Rn и температуры воздуха. 1 – градиент потенциала атмосферного электричества; 2 – объемная активность подпочвенного радона; 3 – температура воздуха.

шением стока радона в атмосферу в мае месяце за счет насыщения поверхностного слоя грунта тальми водами. Следует отметить, что минимальные значения в суточном ходе $E_z^m = 50 - 100$ В/м наблюдаются в апреле месяце, для которого характерен резкий рост концентрации радона в подпочвенном воздухе (рис. 8).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Влияние радона и его дочерних продуктов на ионизационный баланс приземного слоя атмосферы определяется интенсивностью эксхалации подпочвенного радона и метеорологическими условиями (конвекция, турбулентность и стратификация приземного слоя атмосферы).

Действительно, на качественном уровне как суточный, так и сезонный ход значений E_z определяются стоком подпочвенного радона в атмосферу. Так, в зимние месяцы градиент

атмосферного электрического поля максимален (рис. 7), за счет уменьшения стока радона в атмосферу. Причиной последнего является промерзание верхнего слоя почвы, что приводит к уменьшению проницаемости и появлению “запирающего” слоя, а соответственно к резкому уменьшению конвективной составляющей массопереноса радона. Этой же причиной можно объяснить большую разницу между максимальным и минимальным значением в годовом суточном ходе от 100 до 260 В/м. Следует также отметить, что суточный ход для УХП в зимние месяцы не имеет четко выраженных максимумов (рис. 5).

Вертикальное распределение продуктов распада радона в приземном слое атмосферы зависит от ее стратификации, определяемой метеорологическими условиями (Краснопевцев, 1970). Атмосферная турбулентность происходит как за счет конвективного подъема воздушных масс, вследствие неравномерного нагрева подстилающей поверхности, так и хаотизации сдвиговых течений. Все эти факторы по разному влияют, в зависимости от времени суток и времени года, что четко прослеживается на суточном ходе для условий “хорошей погоды” в месячных интервалах за период наблюдений 1998-2003 гг.

В суточном ходе E_z^m для всех месяцев, за исключением зимних, четко просматривается максимум в 20-22 UT (8-10 LT). В годовом суточном ходе этот максимум имеет форму пика с амплитудой около 30 В/м, который начинается в 19 часов, достигает максимума в 21 час и возвращается к начальному уровню в 23 часа. В работе (Чалмерс, 1974) приведено несколько предположений, объясняющих увеличение E_z с восходом солнца:

1. Эффект Мюлейзена, связывающий возникновение объемных зарядов, в зависимости от изменения увлажненности воздуха в утренние часы.

2. Фотоэлектрический эффект под действием солнечных лучей. Часть легких ионов ночью прилипает к тяжелым кластерам (пылинки, микро капельки росы). К утру легких ионов с большой подвижностью становится меньше, что приводит к уменьшению проводимости и возрастанию E_z . После восхода солнца, за счет фотоотлипания, проводимость возрастает, а E_z уменьшается.

В работе (Чернева, Кузнецов, 2005) “эффект восхода” объясняется возбуждением акусто-гравитационных волн утренним солнечным терминатором. По мнению авторов, следует иметь в виду еще один возможный механизм этого эффекта. Пункт регистрации ИКР расположен в долине, ограниченной горными хребтами, что способствует возникновению ветров склонов, которые возникают во время восхода солнца.

Ветры склонов приводят к перераспределению ионизационного баланса приземного слоя атмосферы. В настоящее время нет достаточных данных, чтобы отдать предпочтение тому или другому механизму, объясняющему “эффект восхода”.

ВЫВОДЫ

В работе на качественном уровне показана связь величины напряженности атмосферного электричества с эксхалацией радона в приземную атмосферу. Как суточный, так и сезонный ход значений E_z контролируются стоком подпочвенного радона в атмосферу, чем объясняется большая разница между максимальным и минимальным значением в суточном годовом ходе ~ 90 В/м за период наблюдений 1998-2002 гг. для условий хорошей погоды (рис. 6). Эта связь осложнена глобальной суточной вариацией и генераторами E_z , связанными с метеорологическими процессами. Изменение напряженно-деформированного состояния блока горных пород на заключительной стадии подготовки сильных землетрясений Авачинского залива приводит к увеличению стока радона в динамических зонах разломов Паратунского грабена (Фирстов, Рудаков, 2003). В условиях “хорошей погоды” увеличение стока радона в атмосферу может найти отражение в динамике E_z , что, по-видимому, и наблюдалось в работах (Руленко и др., 1992, 1996).

Список литературы

Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов, прогноз и управление. Вып. 1. М.: МИР, 1974. 405 с.

Бузевич А.В., Чернева Н.В., Пономарев Е.А. Многолетние наблюдения и морфология вариаций электрического поля E_z на Камчатке // Солнечно-земные связи и электромагнитные предвестники землетрясений. Тез. докл. III междунар. конф. Петропавловск-Камчатский. 2004. С. 33-34.

Бузевич А.В., Смирнов С.Э., Филимонов В.И., Фирстов П.П. Специализированный аппаратно-программный комплекс (АПК) сбора и обработки геофизической информации обсерватории «Паратунка» // Солнечно-земные связи и электромагнитные предвестники землетрясений. Тез. докл. I междунар. совещ. 18-21 августа 1998 г. Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН, 1998. С. 36.

Гордюк В.П. Исследование принципов построения приборов для измерения напряженности электрического поля в приземном слое атмосферы // Тр. ГГО. 1981. Вып. 442. С. 96-102.

Казимировский Э.С. Эффекты гроз в ионосферных процессах (обзор) // Исследования по

- геомагнетизму, аэрономии и физики Солнца. М.: Наука, 1983. С. 171 - 178.
- Колоколов В.П., Курилов В.А., Шиманский Ю.В.* Измерения электрического поля над Атлантическим и Индийским океанами // Тр. ГГО. 1982. Вып. 455. С. 102-105.
- Краснопевцев Ю.В.* К оценке влияния естественных радиоактивных продуктов на ионизационный баланс в свободной атмосфере // ФАО. 1970. Т. 6. № 10. С. 1970-1972.
- Кречетов А.А., Филиппов А.Х.* Электрическое поле атмосферы и интенсивность космических лучей // Электрическое взаимодействие гео-сферных оболочек. М.: ОИФЗ РАН, 2000. С. 30-32.
- Махоткин Л.Г.* Значение результатов наземных наблюдений за градиентом потенциала электрического поля // Тр. ГГО. 1982. Вып. 455. С. 106-109.
- Руленко О.П., Иванов А.В., Шумейко А.В.* Краткосрочный атмосферно электрический предвестник Камчатского землетрясения 6.03. 1992, $M=6.1$ // Докл. РАН. 1992. Т. 326. № 6. С. 980-982.
- Руленко О.П., Дружин Г.И., Вершинин Е.Ф.* Измерения атмосферного электрического поля и естественного электромагнитного излучения перед Камчатским землетрясением 13.11.93 г., $M=7.0$ // Докл. РАН. 1996. Т. 348. № 6. С. 814-816.
- Семенов К.А.* Хорошая погода и элементы атмосферного электричества // Атмосферное электричество. 1982. Вып. 455. С. 112-120.
- Серезжников А.И., Зимин В.М.* Геологическое строение Паратунского геотермального района, влияние отдельных геологических факторов на современную геотермальную деятельность // Гидротермальные системы и термальные поля на Камчатке. Владивосток. 1976. С. 115-142.
- Тверской П.Н.* Атмосферное электричество. Л.: Гидрометеиздат, 1949. 252 с.
- Филиппов А.Х.* Исследование атмосферного электричества в восточной Сибири // Вопросы атмосферного электричества. Л.: Гидрометеиздат, 1990. С. 177-186.
- Фирстов П.П., Рудаков В.П.* Результаты регистрации подпочвенного радона в 1997-2000 гг. на Петропавловск - Камчатском геодинамическом полигоне // Вулканология и сейсмология. 2003. № 1. С. 26-41.
- Чалмерс Дж. А.* Атмосферное электричество. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 415 с.
- Чернева Н.В., Кузнецов В.В.* Форбуш - понижения и эффекты терминатора в атмосферном электричестве // Материалы VIII конференции молодых ученых «Астрофизика и физика околоземного космического пространства». Иркутск. 2005. Ч. 1. С. 37-40.
- Чертилова А.П.* Атмосферное электричество в период приземных инверсий в Иркутске // Труды ГГО. 1981. вып. 442. С. 102-105.
- Шварц Я.М., Огуряева Л.В.* Многолетний ход величин атмосферного электричества в приземном слое // Метеорология и гидрология. 1987. № 7. С. 51-58.
- Israelsson S., Tammet H.* Variation of fair weather atmospheric electricity at Marstra Observatory, Swedon, 1993-1998 // J. Atm. And Sol.-Ter. Phys. 2001. № 63. P. 1693-1703.
- Kasemir H.W.* Theoretical problem of the global atmospheric electric circuit // Electrical Processes in Atmospheres. Darmstadt Steinkopff. 1977. P. 423-438.

SUBSOIL RADON AND ELECTRIC FIELD INTENSITY IN THE ATMOSPHERE IN CASE OF PETROPAVLOVSK-KAMCHATSKY GEODYNAMIC CHAIN IN 1998-2003

P.P. Firstov¹, N.V. Cherneva², E.A. Ponomareva³, A.V. Busevich²

¹*Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006*

²*Institute of Space and Physical Research and Radio Wave FEB RAS, Paratunka, Kamchatka*

³*Institute of Solar Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk*

e-mail: firstov@kscnet.ru

This paper examines the data obtained in the area of Paratunka geothermal site since 1998 throughout 2002. Data analyses revealed a relationship between the electric field intensity (EFI) and exhalation of radon into the ground atmosphere. Both daily and seasonal variations in values of EFI are correlated with the run-out of subsoil radon into the atmosphere. It explains a great difference between maximal and minimal value of about 90 V/pm averaged over the total time of observation in conditions of good weather. Global daily variations and meteorological processes complicate the relationship between the electric field intensity and run-out of radon into the atmosphere.