

**АНАЛИЗ АТМОСФЕРНО-ЛИТОСФЕРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НА ДИНАМИКУ
НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ АТМОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ
ОБСЕРВАТОРИИ ПАРАТУНКА (КАМЧАТКА)
ANALYSIS OF ATMOSPHERE-LITHOSPHERE INTERACTION ON DYNAMICS OF
INTENSITY OF AN ATMOSPHERE ELECTRICAL FIELD ACCORDING OBSERVATORY
PARATUNKA DATA (KAMCHATKA)**

Н.В. Чернева¹, П.П. Фирстов^{1,2}, Г.И. Дружин¹

¹Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, nina@ikir.ru

²Камчатский филиал Геофизической службы РАН

The influence of cyclonic activity on the atmosphere-lithosphere interaction is considered. The connection of a trajectory of cyclones movements with meteorological values, the dynamics of VLF-radiation, the radon flow into an atmosphere and intensity of the Earth atmospheric electrical field (E_z EFA) at observatory Paratunka. The trajectories of the cyclones movement were determined on the VLF-radiation data. The fall of pressure and growth of temperature occurs at the approach of cyclones to the observatory the radon flow into an atmosphere has increased four times as much, it has resulted to the fall of E_z values on 200 V/m. The adduced data specify on the close atmosphere-lithosphere interaction for the considered case.

Введение

Для полуострова Камчатка с его высокой сейсмичностью вопрос обнаружения предвестников землетрясений имеет большое значение. По мнению многих исследователей, изменение напряженно-деформированного состояния геосреды на заключительном этапе подготовки сильных землетрясений находит отражение в динамике напряженности электрического поля атмосферы (ЭПА) через увеличение эксхалляции радона (R_n) в приземный слой атмосферы под действием геодинамических процессов. Как показано в работе [1, 2] вертикальная составляющая напряженности (E_z) ЭПА зависит от концентрации радона в приземном слое; интенсивности космических лучей; освещенности атмосферы, управляющей фотоионизационными процессами; вариаций потенциала электросферы. Влияние на сток R_n в атмосферу весьма существенно зависит от вариаций метеорологических величин (температура, атмосферное давление, осадки), которые имеют четкую сезонную составляющую.

Анализ динамики значений E_z ЭПА за период 1998 – 2006 гг. осуществлялся на основе среднесуточных значений E_z для дней с условиями «хорошей» погоды (УХП). С целью изучения атмосферно-литосферных связей рассматривалось сезонное поведение метеорологических величин (атмосферное давление, температура воздуха, высота снежного покрова) и значений ОА R_n . Кривая сезонного хода E_z строилась по усредненным в полусуточных интервалах данным. С целью минимизации вклада импульсных помех, обусловленных метеорологическими факторами в виде дождя или снега, вводилось ограничение сигнала +500 В/м по верхнему и -200 В/м по нижнему пределу значений, затем проводилось усреднение скользящим средним по 10 дням.

Формирование сезонного хода e_z эпa под действием метеорологических факторов

Исследовалась связь между температурой воздуха E_z и за период 1997 – 2007 гг. В месяцы с отрицательной среднесуточной температурой с ноября по май, условно названные «зимними», наблюдаются резкие вариации температуры с амплитудой до 15°C и колебания атмосферного давления с амплитудой до 25 гПа (рис. 1б), обусловленными приходом теплых циклонов из акватории Тихого океана. Связь между значениями E_z и температурой воздуха рассматривалась с использованием средних значений за 10 дней высоты снежного покрова и температуры воздуха, полученные в ГУ «Камчатское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» («Камчатское УГМС»).

Наблюдается обратно пропорциональная зависимость между температурой воздуха и E_z . Минимум сезонного хода температуры почти совпадает с максимумом, со сдвигом в 10 суток с $r_{\max} = -0.67$ (при $r = -0.42$ для 95% уровня доверия). Наиболее правдоподобное объяснение этого факта, заключается в том, что летом происходит увеличение стока R_n в атмосферу за счет увеличения проницаемости верхнего слоя грунта, что ведет к уменьшению значений E_z .

Несмотря на то, что R_n считается основным ионизатором приземного слоя атмосферы, сопоставление плотности потока радона с поверхности (эксхалляция, Бк/м²·с) и E_z на достаточно длинных рядах в литературе не встречается, поэтому большой интерес представляет сопоставление сезонных ходов для E_z и плотности потока R_n .

На расстояниях менее 2.5 км от обсерватории осуществлялась регистрация объемной активности радона (ОА Rn) в зоне аэрации на глубине один метр, в двух пунктах с частотой дискретизации 2 цикла/час [3]. Сопоставление ОА Rn в зоне аэрации и ППП с поверхности, дало качественно подобную картину с коэффициентом корреляции 0.87, что дает право рассматривать ОА Rn в зоне аэрации как качественную картину динамики стока Rn в атмосферу. Поэтому вполне оправдано сопоставление сезонных ходов E_Z и ОА Rn в зоне аэрации.

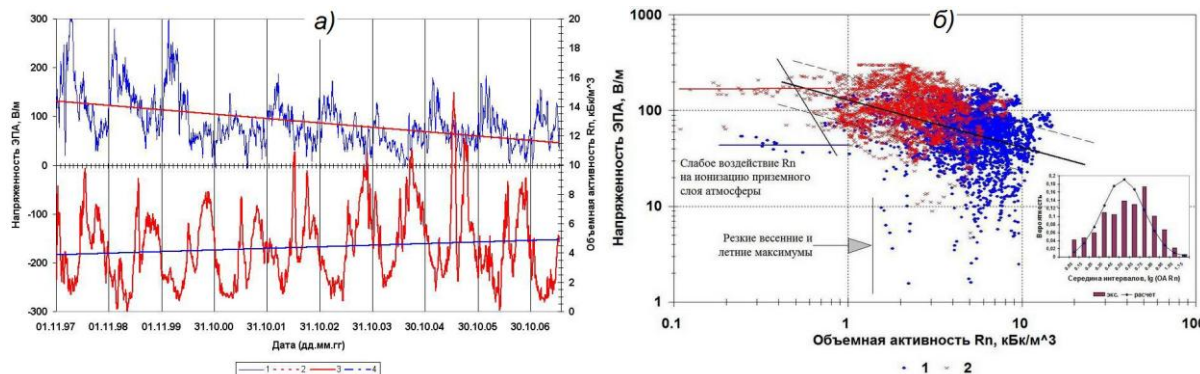


Рис. 1. *a* – сезонный ход 1–напряженность АЭП; 3– ОА Rn в зоне аэрации. Линиями показан тренд: 2– E_Z АЭП; 4 – ОА Rn. *б* – корреляционное поле между значениями ОА Rn и E_Z : 1 – летний период; 2 – зимний период. На врезке показана гистограмма распределения $\lg Rn$.

Исходные данные ОА Rn подвергались барокompенсации по методике А.А. Любушина [4], а затем усреднялись аналогично данным E_Z . На рис. 1*a* показаны ряды значений с трендами E_Z и ОА Rn за период 1997 – 2007 гг. Кривые сезонных ходов E_Z и ОА Rn удовлетворительно аппроксимируются сезонной моделью с трендом [5]. Для сезонного хода ОА Rn характерно два максимума весенний (май) и летний (август). Резкий всплеск ОА Rn в мае связан с влиянием грунтовых вод, когда происходит повышение уровня грунтовых вод, что приводит к вытеснению Rn 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»). Дальнейшее увеличение среднесуточных температур приводит к увеличению проницаемости грунта и увеличению значений ОА Rn с максимумом в августе месяце. На рис. 1*a*, видно, что обоим максимумам кривой ОА Rn соответствует уменьшение значений E_Z .

На рис. 1*б* приведено корреляционное поле $\lg E_Z = f(\lg Rn)$ для $E_Z > 1$ В/м облака точек за весь период наблюдений с разделением пар значений на «летний» и «зимний» интервал. На врезке на рис. 1*б*, где показана гистограмма вероятности распределения $\lg Rn$ экспериментальных данных и вероятность теоретических частот. И хотя нулевая гипотеза по критерию Пирсона не проходит, нами исследовалась корреляционная зависимость $\lg E_Z = f(\lg Rn)$. Особенностью поля точек являются «струи» низких значений $E_Z < 10$ В/м особенно для летнего периода, что связано с выпадением осадков, во время которых, как правило, наблюдаются низкие значения E_Z . Зависимость $\lg E_Z = f(\lg Rn)$ с учетом ограничений показанных на рис. 1*б* можно описать линейной зависимостью рассчитанной методом наименьших квадратов:

$$\lg E_Z(\text{В/м}) = -0.40 \cdot \lg Rn(\text{Бк/м}^3) + 2.05 \pm 0.27$$

Коэффициент корреляции для этой совокупности точек составляет - 0.39, проверка гипотезы о значимости выборочного коэффициента корреляции на основании распределения Стьюдента дала значимый результат. Как видно на рис. 1*б*, при ОА Rn < 1.0 Бк/м³ значение E_Z постоянное и составляет летом ~180 В/м, а зимой ~40 В/м. По-видимому, эти значения ОА Rn на глубине один метр является предельным, при увеличении которого ионизирующий эффект стока Rn не влияет на E_Z АЭП в приземном слое атмосферы.

Связь динамики e_z эпa с циклонической активностью

Полуостров Камчатка расположен на востоке Евразии, для которой характерны значительные термобарические контрасты, активная циклоническая деятельность, перестройка и смена генерального направления меридиональных составляющих атмосферной циркуляции, которые обуславливают здесь сложную и изменчивую погоду. Одной из особенностей циркуляции атмосферы над рассматриваемой территорией является активная циклоническая деятельность, особенно в холодный период, которая в районе полуострова Камчатка преобладает зимой, достигая наибольшей интенсивности в январе [6].

Мониторинг циклонической активности осуществляется на основании регистрации электромагнитного излучения грозových разрядов (атмосфериков) с помощью ОНЧ пеленгатора, работающего на обсерватории «Паратунка» [7]. Мощные тропические циклоны, приходящие с юго-западного направления, оказывают существенное воздействие на все параметры нижней атмосферы. Детально рассматривалось атмосферно-литосферное взаимодействие за январь 2002 г., когда к полуострову Камчатка подошло сразу два циклона, зародившиеся в акватории Тихого океана 8 января и через три дня подошедшие к берегам Камчатки. Траектории движения циклонов по данным Камчатского УГМС показаны на рис. 2а [6].

На рис. 2б точками показано азимутальное распределение атмосфериков с 8 по 16 января 2002 г. по данным пеленгатора, а ромбами, также как и на рис. 2в нанесены положения эпицентров циклонов. Смещение центров циклонов, хорошо трассируется повышенной плотностью атмосфериков, причем при приближении циклона к пункту регистрации плотность атмосфериков значительно увеличивается. В период с 10 по 12 января эпицентр циклона находился на расстоянии 50-100 км от обсерватории «Паратунка».

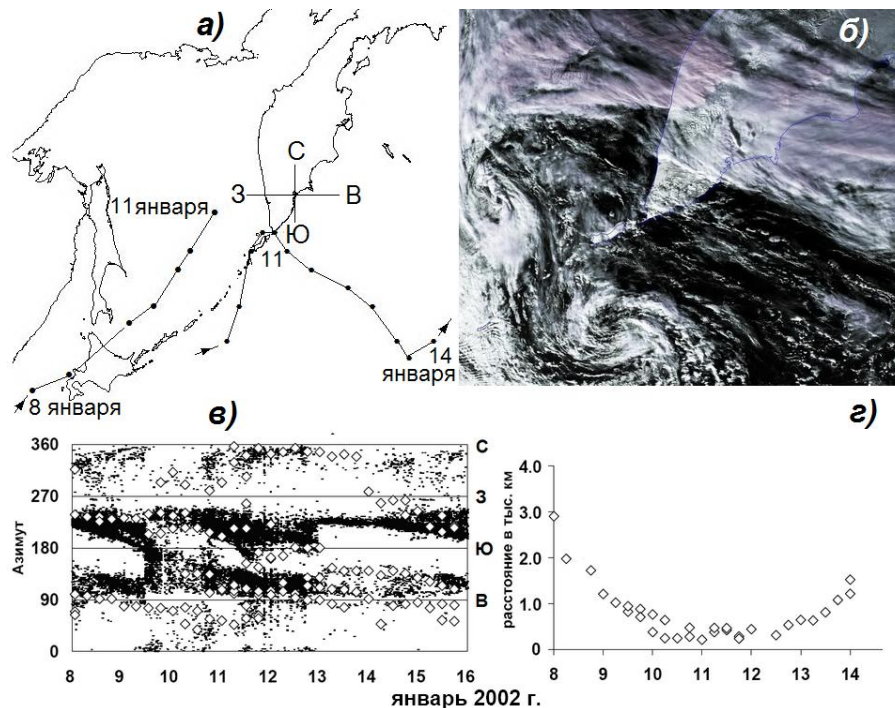


Рис. 2. а -траектория циклонов, зародившихся в акватории Тихого океана 8 и 9 января 2002 г.; б – снимок циклонов со спутника; в - азимутальное распределение грозových разрядов и эпицентров циклонов; г - расстояние от эпицентров циклонов до обсерватории «Паратунка».

Следует отметить интересное поведение динамики значений E_z при прохождении фронта циклона через район пункта регистрации с 12 часов 9 января до конца 10 января. Прохождение фронта циклона сопровождалось бухтообразным возмущением E_z от -200 В/м до значений 500 В/м (рис. 4в). Этому периоду соответствует и самая низкая плотность атмосфериков ~ 200 имп/час. В конце 10 января интенсивность E_z ЭПА упала почти до единиц В/м и продержались на этом уровне почти до середины 12 января. В работе Кузнецова этому факту дается два объяснения. Наиболее простое, состоит в том, что величина ЭПА уменьшается при уменьшении давления, а циклоны, которые приближаются к точке наблюдения, приводят к понижению давления, а это

явление уже приводит к уменьшению атмосферного электрического поля. Второе объяснение состоит в предположении, что уменьшение ЭПА происходит из-за того, что циклоны несут на себе большой отрицательный заряд, который, приближаясь к точке наблюдения, создает в ней электрическое поле обратного знака, что и приводит к понижению ЭПА [6].

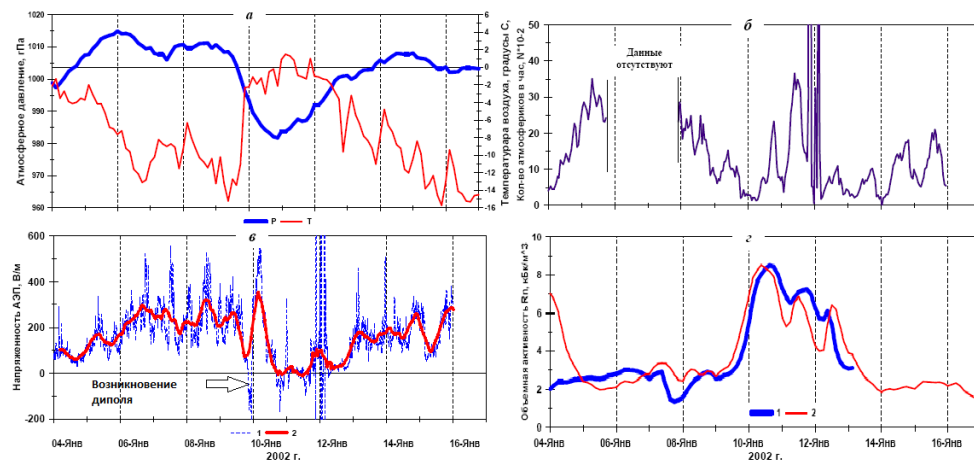


Рис.3. Динамика параметров атмосферы во время прохождения южного циклона. Метеорологические величины, Р - атмосферное давление, Т - температура воздуха – (а); плотность атмосфериков – (б); напряженность ЭПА, 1—мгновенные значения с частотой дискретизации 6 цикл/час, 2—осредненные в 10 часовых интервалах – (в); объемная активность Rn, 1—пункт ПРТ, 2—пункт ГЛЛ – (г).

На рис. 3а приведена динамика атмосферного давления и температуры воздуха за период 4-17 января 2002 г. Атмосферное давление 9 января, начиная с 14 ч. стало резко падать, а температура воздуха расти. К концу 10 января давление упало на 30 гПа, а температура воздуха возросла от -15° до 0° . В конце 12 января начали выпадать осадки в виде снежной крупы, что вероятно и привело к сильным возмущениям как в ОНЧ – излучении (рис. 3б), так и в E_z ЭПА (рис.3в).

На рис. 3г показана динамика объемной активности подпочвенного, радона в зоне аэрации на двух пунктах, расположенных недалеко от обсерватории Паратунка. Видно, что ОА Rn на обоих пунктах синхронно возросла в 4 раза с 2 кБк/м³ до 8 кБк/м³. Такое мощное увеличение стока Rn в атмосферу обусловлено «высасывающим» эффектом падения давления и увеличением проницаемости горных пород под действием увеличения температуры. В свою очередь повышенный сток радона в приземный слой, очевидно, привел к увеличению его ионизации и увеличению проводимости, что привело к падению E_z ЭПА почти на 200 В/м. Коэффициент корреляции между Rn и E_z составил -0.43 , при 0.3 для 95% уровня доверия.

На основании данных регистрации E_z ЭПА на обсерватории «Паратунка» в период 1996-2008 гг. установлено:

1. Впервые в мировой практике на качественном уровне показана связь E_z ЭПА со стоком радона в приземный слой атмосферы. Сезонный ход E_z на полуострове Камчатка контролируется стоком радона в атмосферу, чем объясняется большая разница между максимальным и минимальным значением в годовом ходе ~ 90 В/м за период наблюдений.

2. Впервые показано, что в период отрицательных среднесуточных температур (ноябрь – апрель) приход циклонов с южных направлений сопровождается значительным уменьшением E_z ЭПА за счет увеличения стока Rn под воздействием сильного падения атмосферного давления и резкого потепления на $10-15^{\circ}$.

Литература

1. Чернева Н.В., Фирстов П.П., Пономарев Е.А. Некоторые вопросы ионизации приземной атмосферы//IV международная конференция «Солнечно-земные связи и предвестники землетрясений». ИКИР ДВО РАН. 2007. С.199-205.
2. Чернева Н.В., Фирстов П.П., Пономарев Е.А. Временные изменения атмосферного электричества на обсерватории Паратунка, Камчатка //Сб. тр. VI Российской конференции по атмосферному электричеству. Нижний Новгород. 2007. С. 89-90.

3. Фирстов П.П., Пономарев Е.А., Чернева Н.В., Бузевич А.В., Малышева О.П. К вопросу о влиянии баровариаций на эскаляцию радона в атмосферу // Вулканология и сейсмология. 2007. №6. С. 46-53.
4. Любушин А.А.,(мл), Малугин В.А. Статистический анализ отклика уровня подземных вод на вариации атмосферного давления // Физика Земли. 1993. № 12. С. 74-80.
5. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов, прогноз и управление. Вып. 1. М.: МИР. 1974. -405 с.
6. Кузнецов В.В., Чернева Н.В., Дружин Г.И. О влиянии циклонов на атмосферное электрическое поле Камчатки // Доклады АН. 2007. Т. 412. №4. С. 547-551.
7. Дружин Г.И., Чернева Н.В. Пеленгация грозových источников, связанных с циклонами Камчатки // Труды XXI Всероссийской научной конференции «Распространение радиоволн». 2005. Т.1. С.421-424.

**О ПРИЧИНАХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ «УДАЛЁННЫХ» ГЕОФИЗИЧЕСКИХ
ПРЕДВЕСТНИКОВ, РЕГИСТРИРУЮЩИХСЯ НА ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОЙ, ОКОЛО
НЕДЕЛИ, СТАДИИ ПОДГОТОВКИ СИЛЬНЫХ МИРОВЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ
ON THE ORIGIN OF «LONG-DISTANCE» GEOPHYSICAL PRECURSORS REGISTERED AT
FINAL (ABOUT ONE WEEK) STAGE OF PREPARATION OF STRONG WORLD
EARTHQUAKES**

В.А. Широков¹, А.В. Бузевич, Н.В. Широкова¹

¹Камчатский филиал Геофизической службы РАН

The examples of abnormal geophysical response and operating precursors observed on Kamchatka for some hours - day up to strong remote world earthquakes are esteemed. In many cases the cause of such anomalies was considered obscure. The probable mechanism of originating of «remote» precursors is offered, which one can be esteemed as endorsement of planetary - regional model of opening-up tectonic of earthquakes.

Введение. При разработке модели подготовки тектонических землетрясений (ТЗ) нами развивается альтернативный к существующим моделям [1] подход, согласно которому солнечная активность, гравитационные и электромагнитные процессы в системе Солнце-Земля-Луна имеют ключевое значение на всех стадиях подготовки сильных сейсмических событий, от её долгосрочной фазы (более года) до оперативной (менее одной недели) [2-11 и др.]. Показано, что космические факторы поддерживают энергетику мантийных и коровых процессов, оказывая значимое влияние на крупномасштабные перемещения земных масс в литосфере и мантии Земли [4]. На основе учёта ключевой роли космических факторов в сейсмотектоническом процессе в 2001 г. предложена планетарно-региональная модель подготовки тектонических землетрясений [3], в соответствии с которой общепланетарные космические воздействия относятся к ключевым факторам, влияющим на региональные геодинамические процессы в различных структурных зонах Земли. Показано, что общепланетарные космические факторы приводят к геофизическому отклику на любых расстояниях от очагов готовящихся землетрясений, в том числе на оперативной, заключительной стадии подготовки сейсмических событий [8, 9, 11].

Результатом этого подхода в глобальном варианте является пробная методика оперативного (время упреждения до семи суток) прогноза сильных мировых землетрясений ГЛОБАС (ГЛОБальная Активизация Сейсмичности) по комплексу сейсмологических, геофизических и космофизических данных, которая эпизодически тестировалась в реальном времени в период январь 2008 - апрель 2009 гг. [11]. Из 9 прогнозов 8 оказались успешными по времени и магнитуде [9, 11], причём в двух случаях были сделаны оправдавшиеся оценки мест возникновения мировых землетрясений (землетрясения ожидалось в Японии, $M=6.8$ и в Индонезии, $M=6.4$). Среднее время упреждения составило около трёх суток [8, 11]. Затем в период май-октябрь 2009 г. тестирование велось почти ежедневно на основе совместного использования методик ГЛОБАС и оперативного прогноза мировых землетрясений по деформационным наблюдениям И.И.Степанова, осуществляющего непрерывную регистрацию деформаций в г. Александров Владимирской области с использованием датчика собственной конструкции [11,12]. В период май-октябрь 2009 г. было сделано 20 оперативных прогнозов, причём с 7 сентября давались прогнозы не только времени и магнитуды, но и места ожидаемых в мире сильных землетрясений [11]. Оценки мест будущих событий оказались удачными: 10 из 12 землетрясений с $M \geq 6.6$ произошли вблизи прогнозирувавшихся мест с ошибками до 800 км, т.е. не более 4% от половины длины окружности Земли [9, 11].

Цели работы. Практически во всех хорошо разработанных моделях подготовки землетрясений [1] априори принимается, что за пределами так называемой зоны подготовки, равной нескольким размерам очага готовящегося землетрясения, «перемещения блоков и плит не