

УДК 551.594

О ВЛИЯНИИ ЦИКЛОНОВ НА АТМОСФЕРНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ КАМЧАТКИ

© 2007 г. В. В. Кузнецов, Н. В. Чернева, Г. И. Дружин

Представлено академиком Г.С. Голицыным 05.04.2006 г.

Поступило 06.04.2006 г.

Исследованы эффекты влияния циклонов Камчатки на величину вертикальной компоненты атмосферного электрического поля (АЭП) E_z . Циклоны регистрировались по электромагнитному излучению грозовых разрядов [1] с помощью ОНЧ-пеленгатора [2], разработанного в ИКИР. Максимальное расстояние до грозовых очагов, регистрируемое пеленгатором, достигает $4 \cdot 10^3$ км. Приведены азимутальные распределения источников ОНЧ-излучения и распределения эпицентров циклонов, определяемых на основе синоптических карт гидрометеослужбы Камчатки. Показаны азимутальные перемещения грозовых источников, находящихся в прилегающих к Камчатке областях. Мониторинг E_z проводился на Камчатской обсерватории Паратунка с применением прибора "Поле-2" [3]. Показано, что величина E_z понижается синхронно с атмосферным давлением по мере приближения циклонов к обсерватории. Приведены оценки электрического заряда циклона, максимального понижения атмосферного давления в центре циклона и др. Показано, что АЭП реагирует на перемещение циклона на расстоянии, большем 1.5 тыс. км.

Сезонный ход повторяемости циклонов, а также их распределение по территории Камчатской области обусловлены особенностями атмосферной циркуляции над дальневосточным регионом [4]. Для Камчатки характерны значительные термобарические контрасты, активная циклоническая деятельность, перестройка и смена генерального направления меридиональных составляющих атмосферной циркуляции, что обуславливает здесь сложную и изменчивую погоду. Одной из особенностей циркуляции атмосферы над рассматриваемой территорией является активная циклоническая деятельность,

особенно в холодный период, на полярном и арктическом фронтах. Известно, что над дальневосточными морями и Камчаткой циклоны преобладают зимой [5], достигая наибольшей интенсивности в январе. Этот факт был определяющим при выборе сезона наблюдений.

На рис. 1,а приведены данные по частоте возникновения циклонов на Камчатке в январе 2002 г. Зона наибольшей повторяемости циклонов приходится на южную половину полуострова и прилегающие воды Охотского моря и Тихого океана. Несомненный интерес представляет повторяемость глубоких циклонов, поскольку они, смещаясь на Берингово или Охотское моря, оказывают влияние на погоду всей Камчатки. Циклоны, действующие во время холодного периода в охотском и алеутском районах, формируются преимущественно в южных областях Дальнего Востока, причем на южные циклоны приходится 70% всех циклонов, наблюдавшихся над Беринговым морем, и 52% – над Охотским [4]. Типичные траектории циклонов, оказывающих влияние на погоду Камчатки, показаны на рис. 1,б.

На рис. 1,в приведены трассы двух близких друг к другу циклонов, которые удалось проследить в период наблюдений (январь 2002 г.) среди большого количества возникающих и быстро распадающихся циклонов, изображенных на ежедневных синоптических картах. Видно, что наиболее близко к Камчатке эти циклоны приближались 11–12 января. В это время наблюдалась и наибольшая интенсивность ОНЧ-излучений (рис. 2).

В наблюдениях за циклонами использовался разработанный в ИКИР ДВО РАН ОНЧ-пеленгатор, который непрерывно регистрировал грозовые разряды. Аппаратура пеленгатора работает в диапазоне частот от 3 до 60 кГц. Сигналы от грозовых источников принимаются антенной системой, состоящей из двух взаимно перпендикулярных рамок и штыревой антенны. Поступающая с антенн информация записывается на циф-

*Институт космических исследований
и распространения радиоволн
Дальневосточного отделения
Российской Академии наук,
п. Паратунка Камчатской обл.*

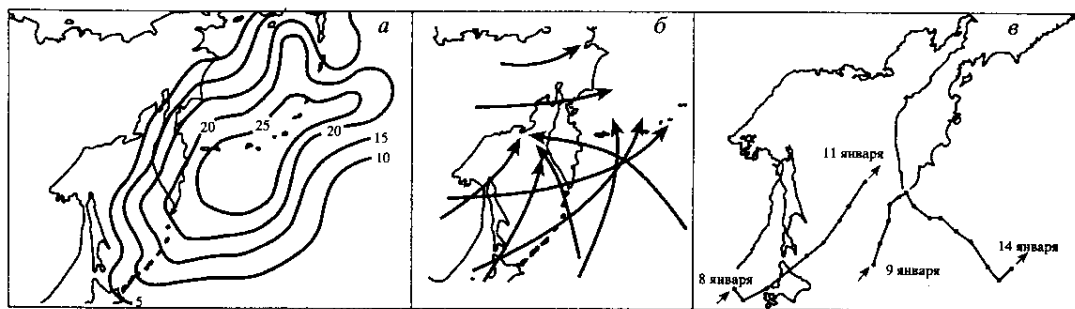


Рис. 1. Усредненное по годам число глубоких циклонов в январе (а), траектории циклонов, оказывающих влияние на погоду Камчатки [4] (б), и перемещение эпицентров двух циклонов в период наблюдений с 8 по 16 января 2002 г. (в).

ровой носитель и обрабатывается в реальном масштабе времени.

Азимутальное распределение грозовых разрядов и эпицентров циклонов с 8 по 16 января 2002 г. приведено в верхней части рис. 2 (точки). Ромбами показаны положения эпицентров циклонов, построенные на основе синоптических карт гидрометеослужбы Камчатки. Видно, что наибольшая плотность грозовых разрядов наблюдается вблизи их эпицентров. При приближении циклона к пункту регистрации (Паратунка) наблюдалось большее число разрядов в единицу времени (это можно видеть из сравнения верхнего и нижнего частей рис. 2). Видно (из нижней части рисунка), что в период с 10 по 12 января циклон приближался к Камчатке на расстояние 50–100 км.

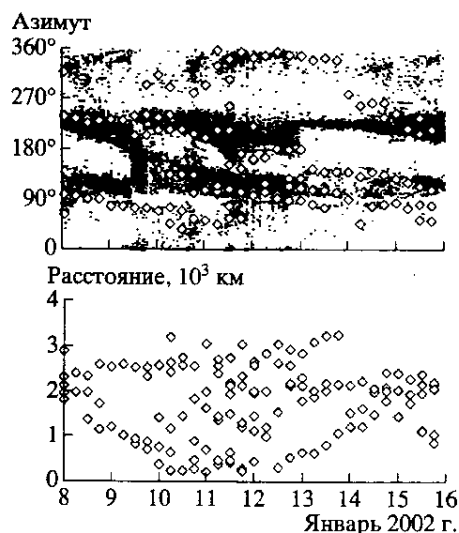


Рис. 2. Азимутальное распределение грозовых разрядов и распределение эпицентров циклонов и расстояния от эпицентров циклонов до обсерватории Паратунка.

На рис. 3 показана временная зависимость расстояний от пункта регистрации до эпицентров циклонов (а) и минимальных расстояний L до эпицентра ближайшего циклона (д). Видно, что ближе всего циклоны подходили к пункту регистрации 10–12 января, что согласовывается с рис. 1, в. Пеленгатор в это время регистрировал ОНЧ-импульсы, которые обычно принято считать грозовыми разрядами – атмосфериками. Количество атмосфериков N (рис. 3, б) в целом повторяет ход минимальных значений L , однако 12 января отмечено anomalous поведение N . В этот день на юге Камчатки наблюдались осадки в виде снежной крупы, что, вероятно, и послужило причиной anomalous поведения. Снежная крупа, как и град, приводит к сильной электризации снега, что, в свою очередь, вызывает электрические разряды, регистрируемые пеленгатором как атмосфериками. На рис. 3, в показано изменение атмосферного давления на обсерватории Паратунка. Отмечается практически полное совпадение хода минимальных значений L и атмосферного давления P . Это говорит о том, что причиной понижения давления являются приближающиеся циклоны. На рис. 3, г показан ход величины E_z , где также видны две anomalous поведения N – 10 и 12 января. Случай 12 января явно связан с сильной электризацией снега во время выпадения снежной крупы, в то время как явление 10 января, по-видимому, обязано обильному снегопаду, который четко проявился в электрическом поле, но не нашел отражения в данных, зарегистрированных ОНЧ-пеленгатором.

Таким образом, наблюдается достаточно хорошая корреляция между величинами E_z , L , N и P за исключением тех случаев, когда циклон находится на малых расстояниях от пункта наблюдения.

Рисунок 4 отображает полученные результаты. Точками (кривая 1) отмечены величины E_z в зависимости от расстояния до циклонов L . Видно, что циклоны начинают “проявляться” в поле E_z на расстоянии от обсерватории $L \approx 1.5$ тыс. км.

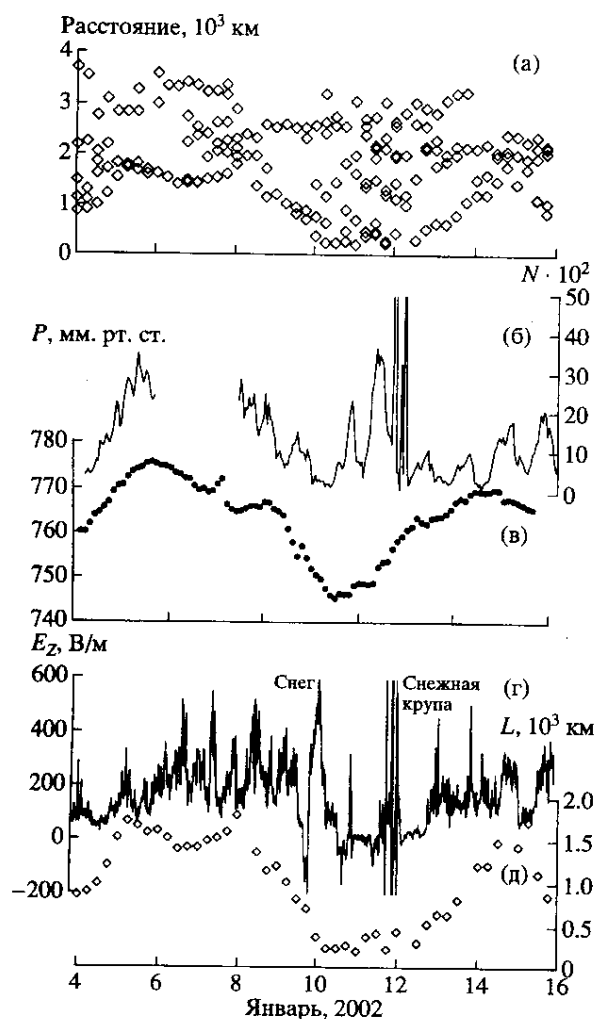


Рис. 3. Расстояние от эпицентров наиболее близких циклонов до обсерватории Паратунка (а), количество грозных разрядов, пришедших в единицу времени с азимута 90° – 180° (б), ход атмосферного давления (P , мм рт. ст.) (в), атмосферное электрическое поле E_z , В/м, Паратунка (г) и минимальные расстояния L до циклонов (д).

На расстоянии 200–300 км до центра циклона поле E_z уменьшается до очень малой величины. Здесь же (крестиками) показана зависимость давления в Паратунке (кривая 4) от расстояния L . На врезке – зависимость E_z от давления; видна линейная зависимость этих параметров. При этом поле E_z уменьшается почти до нуля, в то время как на расстоянии 250 миль циклоны не ощущаются. Обычно на расстоянии 100–150 миль наблюдается заметное падение давления при сохранении суточного хода. Принято также считать, что на расстоянии от циклона, меньшем 100 миль, при падении давления со скоростью примерно 10 мм рт.

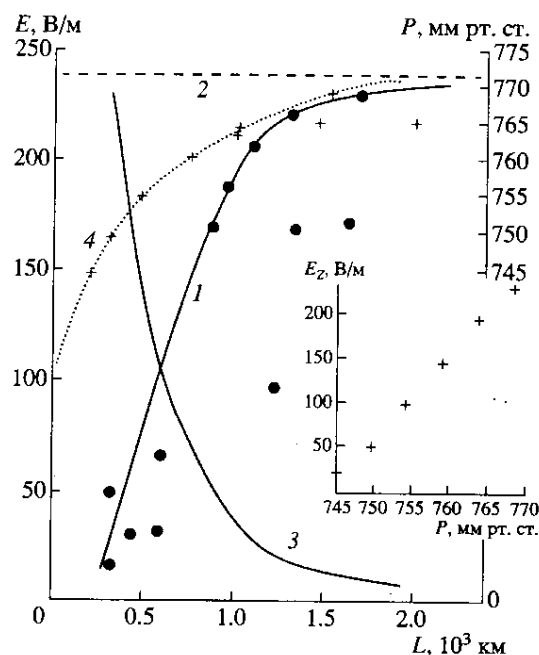


Рис. 4. Кривая 1 и точки – величина АЭП в Паратунке; 2 – величина АЭП (E_z) при отсутствии циклонов; 3 – электрическое поле циклонов; 4 (крестики) – изменение атмосферного давления (P , мм рт. ст.) при приближении циклонов. На врезке – зависимость E_z от P .

ст. в час происходит нарушение суточного хода атмосферного давления. В нашем случае, максимально наблюдаемая скорость падения давления не превышала 1 мм рт. ст. в час. Минимальное расстояние, на которое подходил циклон к месту регистрации, составляет примерно 200 км. При этом наблюдалось понижение давления от 767 до 745 мм рт. ст. Таким образом, наблюдения за ходом зависимости атмосферного давления от расстояния до циклонов в обсерватории Паратунка показывают, что, вероятно, на Камчатке зависимость скорости падения давления по мере приближения циклонов более сильная, чем принято считать.

Согласно общепринятым представлениям об атмосферном электричестве как о “продукте” грозной деятельности с приближением источника грозных разрядов к точке наблюдения, казалось бы, величина E_z должна возрастать, в то время как по многократным наблюдениям она уменьшается. Известно, что повышение атмосферного давления в точке наблюдения приводит к повышению E_z и наоборот [6]. Этот неоднократно подтвержденный, в том числе и нашими наблюдениями, факт, тем не менее, не имеет правдоподобного объяснения. Если принять, что понижение атмосферного давления обязано приближению фронта надвига-

ющихся на Камчатку циклонов, то возможны два варианта объяснения. Наиболее простое, однако не имеющее четкой физической основы объяснение состоит в том, что раз величина АЭП уменьшается при уменьшении давления, то циклоны, которые приближаются к точке наблюдения, приводят и к понижению давления, а это явление уже приводит к уменьшению атмосферного электрического поля.

Альтернативное объяснение состоит в предположении, что уменьшение АЭП происходит из-за того, что циклоны несут на себе большой отрицательный заряд, который, приближаясь к точке наблюдения, создает в ней электрическое поле обратного знака (кривая 3 на рис. 4), что и приводит к понижению АЭП. Кривая 3 получена вычитанием из величины поля E_Z без циклонов (линия 2) измеряемого поля E_Z при наличии циклонов (кривая 1). Эта модель, по крайней мере, не требует обоснования природы связи E_Z с атмосферным давлением. Естественно, остается не находящим объяснения вопрос: почему в случаях увеличения разрядов молний поле E_Z падает?

Выход из положения находит модель АЭП, базирующаяся на идее негрозового источника E_Z [7]. Суть модели состоит в том, что электрический заряд “вносится” в атмосферу Земли галактическими космическими лучами (ГКЛ), а разделение разряда происходит в условиях хорошей погоды и слабой, негрозовой облачности. Суть разделения зарядов была вскрыта еще Вильсоном. Она состоит в том, что на отрицательных зарядах вырастают капли, которые падают на Землю, в то время как положительные ионы поднимаются в верхние слои атмосферы восходящими потоками нагретого воздуха. В конечном счете разделение заряда определяется соотношением скоростей конденсации паров воды и испарением мелких капель. Интенсивность ГКЛ и средняя температура Земли – весьма стабильные во времени параметры, что и определяет стабильность и постоянство электрического заряда Земли $Q = 4\pi\epsilon_0 R_E^2 E_Z$ и, соответственно, стабильность величины E_Z . Здесь R_E – радиус Земли, ϵ_0 – диэлектрическая проницаемость.

Согласно этой модели, циклоны обладают собственным не полностью скомпенсированным электрическим зарядом Q_C . Если заряд циклона Q_C находится на расстоянии L от точки наблюдения (где $L = 0$) и полярность заряда циклона отрицательна (такая же как у Земли), то он формирует поле E_C в точке наблюдения: $-E_C = \frac{Q_C}{4\pi\epsilon_0 L^2}$.

Чем ближе подходит циклон к точке наблюдения, тем, естественно, поле циклона E_C возрастает

(кривая 3, рис. 4). При подходе циклона давление P в точке наблюдения уменьшается (также пропорционально величине L^2). Из модели следует взаимосвязь между АЭП и давлением без привлечения причины, по которой поле E_Z как бы зависит от атмосферного давления. Кроме того, в рамках этой модели невозможно придумать механизм, который бы локально понижал величину АЭП до нуля и даже приводил бы к смене знака E_Z – при изменении величины давления на 30–40 мм рт. ст., что составляет не более 5% от номинала. Следует учитывать также и то обстоятельство, что описываемые в статье наблюдения велись зимой, когда вообще нет смысла рассуждать о локальном изменении величины АЭП за счет процессов конденсации и испарения, так как местная температура значительно ниже температуры фазового равновесия испарение–конденсация.

Полученные в работе результаты позволяют сделать две интересные оценки. Во-первых, можно оценить величину электрического заряда циклона Q_C и рассмотреть, меняется ли эта величина от L . Если принять $Q_C = 4\pi\epsilon_0 L^2 E_C$, то оказывается, что заряд циклона Q_C от расстояния L не зависит и равен ~5000 Кл. Если предположить, что объемная плотность заряда в циклоническом облаке такая же, как в грозовом, $q = 10^{-10}$ Кл · м⁻³, то эквивалентный размер циклона ≤ 100 км. Если учесть, что при разряде молнии циклон теряет примерно 25–50 Кл, то это означает, что он может произвести 100 молний “без подзарядки”. Во-вторых, зная характер зависимости уменьшения давления от расстояния до циклона L , можно оценить максимальное понижение в центре циклона, которое оказывается ~730 мм рт. ст. Обе оценки вполне правдоподобны, что говорит о правдоподобности модели. Однако отсюда следует весьма не тривиальный вывод: АЭП начинает “чувствовать” циклон на расстоянии более 1.5 тыс. км. Если это действительно так, то этот факт можно рассматривать как доказательство “дальнодействия” АЭП.

Сделаем последнее замечание. Естественно, ни у кого не вызовет удивления тот факт, что циклон, как и грозовое облако, находясь в непосредственной близости от точки регистрации, оказывает влияние на АЭП. Совсем другое дело, если циклон удастся обнаружить за 1.5–2 тыс. км. Это открывает новые возможности как в изучении природы АЭП, так и в практическом его использовании в физике атмосферы и солнечно-земной физике.

Авторы благодарят Н.И. Селиверстова за предоставленную возможность использования созданной им на базе ГИС карты Камчатки для визуализации перемещения циклонов.

Работа проведена в рамках программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 30 "Солнечная активность и физические процессы в системе Солнце-Земля" и № 16 "Изменение окружающей среды и климата: природные катастрофы" (тема: 16.3.19.2).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернева Н.В., Дружин Г.И., Тарасенко Д.В. и др. В кн.: Судовое оборудование, судовождение, безопасность мореплавания и жизнедеятельности. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2005. С. 86–95.
2. Дружин Г.И., Тарасенко Д.В., Пухов В.М., Злыго-стев А.В. В кн.: Солнечно-земные связи и электромагнитные предвестники землетрясений: Тез. докл. II Междунар. совещ. 14–19 августа 2001 г. Петропавловск-Камчатский, 2001. С. 32–33.
3. Бузевич А.В., Чернева Н.В., Бабаханов И.Ю., Смирнов С.Э. В кн.: Сб. трудов V конференции по атмосферному электричеству. Владимир, 2003. Т. 2. С. 72–75.
4. Кондратюк В.И. Климат Камчатки. М.: Гидрометеиздат, 1974. С. 11–30.
5. Шарапова Л.П. // Тр. ДВНИГМИ. 1976. В. 57. С. 73–82.
6. Тверской П.Н. Атмосферное электричество. Л.: Гидрометеиздат, 1949. 252 с.
7. Кузнецов В.В. Физика Земли. Обоснование и разработка модели "горячей" Земли. М.: Наука, 2007.