

УДК 551.590.29

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО ЭФФЕКТА ИОНИЗАЦИИ АТМОСФЕРЫ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАРАЖЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

© 2011 г. Академик Н. П. Лаверов, С. А. Пулинец, Д. П. Узун

Поступило 08.07.2011 г.

Исследуются процессы взаимодействия радиоактивных изотопов цезия-137 (^{137}Cs) и йода-131 (^{131}I) с пограничным слоем атмосферы. Энергичные электроны, испускаемые ^{137}Cs (энергия электронов 170.8 кэВ) и ^{131}I (энергия электронов 970 кэВ), а также продукты их вторичного распада в результате ударной ионизации молекул атмосферных газов приводят к образованию большого количества первичных ионов. Первичные ионы вступают в химические реакции и одновременно подвергаются гидратации (присоединению молекул водяного пара). Этот процесс называется процессом “старения” ионов. В случае резкого увеличения скорости ионизации, как это бывает при авариях реакторов на атомных электростанциях, гидратация ионов приобретает взрывной характер (в литературе это процесс называют ион-стимулированной нуклеацией и образуются крупные ионные кластеры размером в несколько микрон. Процесс гидратации ионов и последующей коагуляции наночастиц сопровождается выделением тепловой энергии (скрытой теплоты испарения), поскольку присоединение молекул воды к ионам по энергетической эффективности эквивалентно конденсации. Как показали теоретические оценки и данные экспериментальных измерений, уровень потока тепла, выделяемого в результате ионизации пограничного слоя атмосферы при существенном радиоактивном загрязнении, достаточен для регистрации аномальных потоков тепла средствами дистанционного зондирования (инфракрасными радиометрами), устанавливаемыми на искусственных спутниках Земли. Измерения проводятся в диапазоне длин волн 8–12 мкм,

прозрачном для облачного покрова, что делает такие измерения погодонезависимыми.

В работе приведены примеры регистрации тепловых аномалий после аварий на станциях Три-Майл Айленд (США), Чернобыльской атомной станции, а также показана динамика тепловой аномалии над атомной электростанцией Фукусима-1 (Япония) в результате аварий, ставших результатом катастрофического землетрясения вблизи города Сендай 11 марта 2011 г.

ЕСТЕСТВЕННАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ ЗЕМЛИ И ТЕПЛОВЫЕ АНОМАЛИИ

Основным источником ионизации приземного слоя атмосферы является естественная радиоактивность Земли, обусловленная в основном выходом на поверхность продуктов распада урана [1, 2]. Наибольший вклад в процесс ионизации вносит радон, поскольку он выносится на поверхность в результате миграции газов в земной коре [3], а также флюидами. Наибольшая активность эманации радона регистрируется над тектоническими разломами земной коры [4], причем в процессе подготовки землетрясения уровень излучения радона возрастает многократно [5]. Исследование процессов ионизации приземного слоя воздуха радоном в ходе подготовки землетрясения позволило установить, что тепловые аномалии, наблюдаемые перед землетрясениями, являются результатом выделения скрытой теплоты испарения при гидратации ионов, образуемых при ионизации атмосферных газов радоном [6]. Дальнейшее усовершенствование комплексной модели связей в системе литосфера–атмосфера–ионосфера позволило получить основные параметры тепловых аномалий, генерируемых в процессе подготовки сильных землетрясений [7]. Величина потока длинноволнового инфракрасного излучения варьируется от единиц до нескольких десятков Вт/м². Из рис. 1, где представлена динамика интенсивности длинноволнового инфракрасного излучения над эпицентром землетрясения на Суматре 26 декабря 2004 г., видно, что за 3 сут до землетрясения величина потока превы-

*Институт геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии и геохимии
Российской Академии наук, Москва*

*Институт прикладной геофизики им. Е.К. Федорова,
Москва*

*Институт космических исследований
Российской Академии наук, Москва*

Университет Чэпмена, Орандж, Калифорния, США

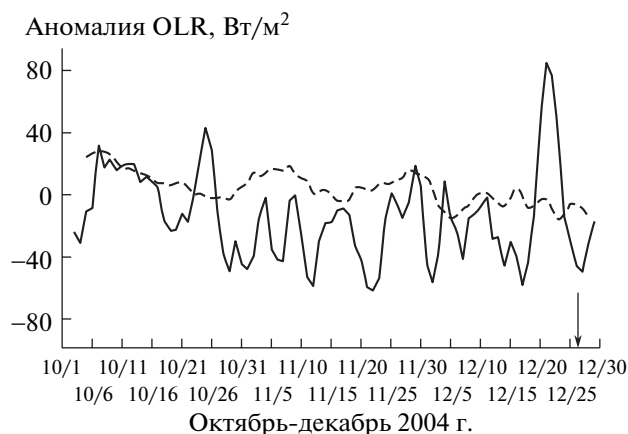


Рис. 1. Динамика излучения длинноволнового инфракрасного излучения, регистрируемого спутником NOAA-16 с октября 2004 г. по январь 2005 г. (сплошная линия), и средняя величина потока над той же точкой за период 2001–2004 г. плюс среднее квадратичное отклонение (штриховая). Стрелка – момент землетрясения.

шала 80 Вт/м² [8]. Успешные результаты спутникового мониторинга тепловых аномалий перед землетрясениями, осуществляемого в течение последних 5 лет, дают основание для рассмотрения вопроса о возможности регистрации тепловых аномалий, генерируемых в результате аварий на атомных электростанциях, если принять во внимание идентичность физического механизма и высокий уровень ионизации при выбросах радиоактивных веществ во время аварий на атомных электростанциях.

РАДИОАКТИВНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО КОНТРОЛЯ

Аварии с повреждением атомного реактора в США (Три-Майл Айленд, 1979 г.) и в СССР (Чернобыль, 1986 г.) со всей остротой поставили вопрос о безопасности ядерных технологий и возможности объективного независимого контроля уровня радиоактивного загрязнения вследствие выброса радиоактивных веществ в атмосферу или на поверхность земли [9]. Особое внимание следует уделять вопросам ядерной безопасности при размещении атомных электростанций в сейсмоактивных регионах планеты. Проблемы ядерной энергетики Японии и неадекватные подходы контролирующей компании ТЕРСО уже не в первый раз становятся предметом пристального внимания мировой общественности. В июле 2007 г. после сильного землетрясения вблизи города Нигата имел место инцидент, подобный аварии на атомной станции Фукусима, – утечка загрязненной воды и выброс радиоактивного газа в атмосферу с последующим аварийным отключением атомного реактора на крупнейшей в мире атом-

ной электростанции Кашивазаки-Карима [10]. Поскольку это был разовый выброс и инфраструктура станции не претерпела значительных повреждений, инцидент остался известен только специалистам. Катастрофическое цунами 11 марта 2011 г. вывело из строя системы жизнеобеспечения атомной электростанции Фукусима-1, в частности, систему охлаждения реакторов, а землетрясение привело к образованию трещин в защитных оболочках реакторов 1-го и 2-го блоков электростанции. В результате произошло несколько взрывов водорода, приведших к выбросу в атмосферу продуктов распада, в частности, радиоактивных цезия и йода, а также к аварийной утечке в океан загрязненной воды и последующим целенаправленным сливам вследствие переполнения резервуаров. Ситуация усугублялась тем, что информация об уровне радиации изменялась на порядки в течение суток, что свидетельствовало или о неадекватных действиях персонала, или о намеренном утаивании реальной ситуации на станции.

Учитывая, что при неблагоприятном развитии событий последствия аварии могли иметь глобальный характер, был необходим независимый источник информации, позволяющий оценивать уровень радиоактивного заражения. Таким источником стали измерения теплового излучения над станцией, использующие модифицированную технологию регистрации уходящего инфракрасного длинноволнового излучения (OLR), описанную в [8]. Первые попытки зарегистрировать тепловое излучение над аварийной атомной электростанцией сделаны в [11] и дали положительный результат. На рис. 2 показаны примеры тепловых аномалий, зарегистрированных после аварий на атомных электростанциях в США (Три-Майл Айленд, 1979 г., левая панель) и в СССР (Чернобыль, 1986 г., правая панель).

Представленные на рис. 2 результаты показывают, что с помощью мониторинга тепловых аномалий в диапазоне OLR открываются новые возможности независимого контроля радиоактивного заражения местности и атмосферы в случае подобных аварий.

ДИНАМИКА АНОМАЛИЙ OLR НАД АТОМНОЙ СТАНЦИЕЙ ФУКУСИМА (ЯПОНИЯ) ПОСЛЕ АВАРИИ

Первый взрыв водорода произошел 12 марта, однако он, по всей видимости, не привел к существенным выбросам радиоактивных веществ в атмосферу в отличие от второго взрыва, после которого было зарегистрировано существенное повышение радиационного фона. Это можно видеть из данных по дозам облучения, зарегистрированного на станции Курихама неподалеку от Фукусимы (рис. 3, тонкая кривая) [12].

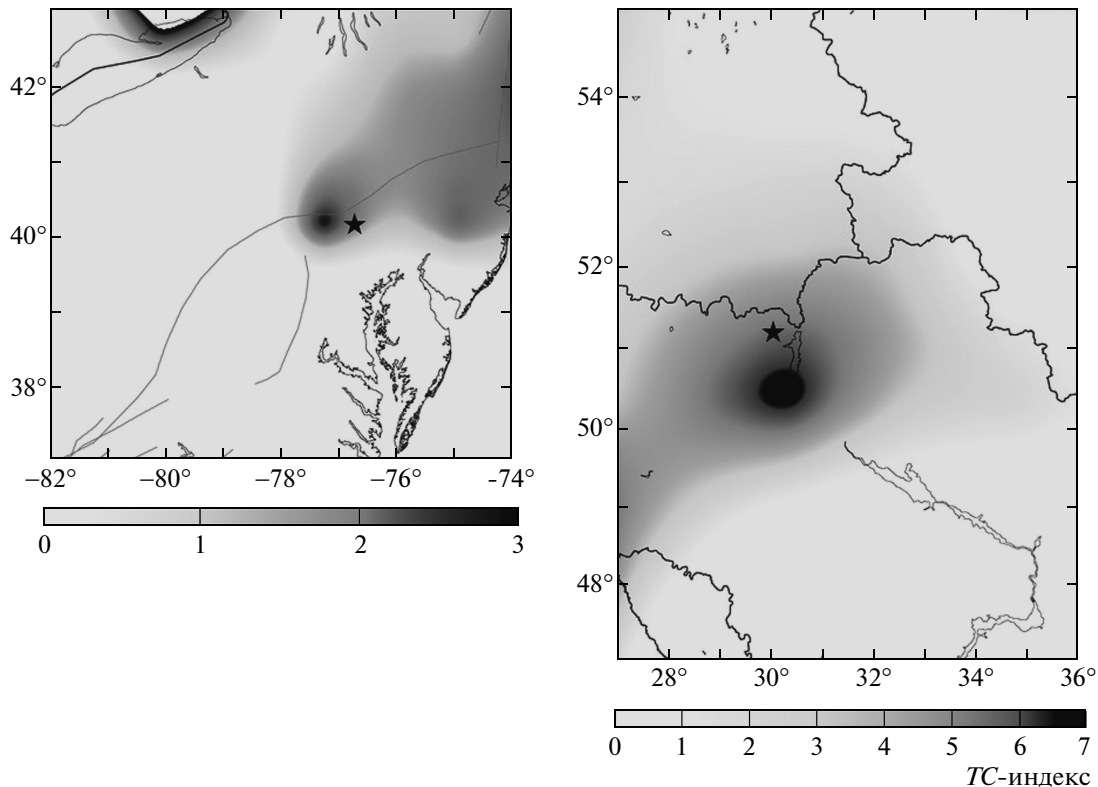


Рис. 2. Тепловая аномалия (OLR) NOAA/AVHRR зарегистрированная после аварии на атомной электростанции Три-Майл Айленд (США) 28 марта 1979 г. (левая панель). Справа – тепловая аномалия (OLR), зарегистрированная после аварии на атомной электростанции в г. Чернобыль (СССР) 26 апреля 1986 г.

Второй взрыв имел место 21 марта, и это был максимум в динамике радиоактивного загрязнения вокруг атомной станции. Тепловое пятно над станцией Фукусима для 21 марта по данным прибора AVHRR, установленного на спутнике NOAA-15 (США), показано на рис. 4. Видно, что уровень инфракрасного длинноволнового излучения достигает 14 Вт/м^2 . После 21 марта идет постепенное спадание теплового потока, что соответствует уменьшению уровня радиационного загрязнения над станцией.

Динамика потока OLR над атомной станцией Фукусима для периода 11–31 марта 2011 г. представлена на рис. 3 (жирная кривая). Периоды резкого увеличения потока OLR абсолютно точно соответствуют выбросам радиации (тонкая кривая), что является аргументом в пользу предлагаемого механизма генерации тепловых аномалий путем ионизации приземного слоя атмосферы и последующей конденсации паров воды на ионах с выделением скрытой теплоты испарения.

Таким образом, в работе продемонстрирована возможность независимого контроля радиоактивного загрязнения окружающей среды с помощью спутникового мониторинга тепловых аномалий над областями загрязнений. В качестве физического механизма генерации подобных

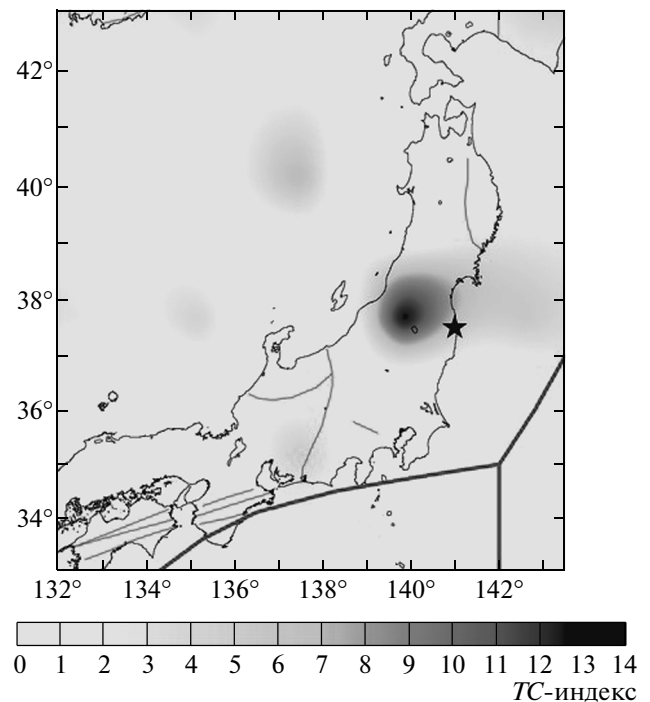


Рис. 3. Динамика изменения потока уходящего длинноволнового инфракрасного радиоизлучения (OLR) над станцией Фукусима (жирная кривая) по данным спутника NOAA-15/AVHRR за период 11–31 марта 2011 г. и эффективная доза радиации по наземным измерениям [12].

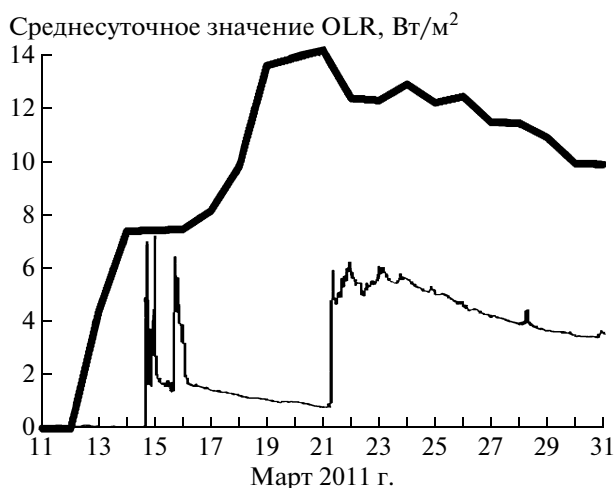


Рис. 4. Поток уходящего длинноволнового инфракрасного радиационного излучения (OLR) над станцией Фукусима по данным спутника NOAA-15/AVHRR.

аномалий предложен механизм ионизации приземного слоя атмосферы, разработанный для случая тепловых аномалий, регистрируемых перед сильными землетрясениями. Уровень потока уходящего длинноволнового инфракрасного радиационного излучения (OLR) над станцией Фукусима по данным спутника NOAA достигал 14 Вт/м^2 , что сравнимо с величинами, регистрируемыми перед сильными землетрясениями. Различия в методиках обработки данных заключались в фильтрации данных. Для атомной электростанции отсеивались транзитные потоки с целью накопления информации о неподвижном источнике. Несмот-

ря на малую разрешающую способность прибора AVHRR (2°C), используемая методика позволила надежно зарегистрировать тепловые аномалии, что в перспективе предоставляет возможность улучшения предложенной методики при использовании инфракрасных радиометров с лучшим пространственным разрешением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ikebe Y. // J. Earth Sci. 1970, V. 18. P. 85–93.
2. Лаверов Н.П., Казанский В.И., Тугаринов А.И. Эволюция уранового рудообразования. М.: Атомиздат, 1978. 120 с.
3. Khilyuk L.F., Chillingar G.V., Robertson J.O.Jr., Endres B. Gas Migration. Events Preceding Earthquakes. Houston (TX): Culf, 2000. 390 p.
4. Спивак А.А. В кн.: Геофизика межгеосферных взаимодействий. М.: Геос, 2008. С. 235–246.
5. King C.-Y., Zhang W., King B.-S. // Pageoph., 1993. V. 141. P. 111–124.
6. Pulinets S. A., Ouzounov D., Karelin A.V., et al. // Phys. and Chem. Earth. 2006. V. 31. P. 143–153.
7. Pulinets S. A., Ouzounov D. // J. Asian Earth Sci. 2011. V. 41. P. 371–382.
8. Ouzounov D., Liu D., Kang C., et al. // Tectonophysics. 2007. V. 431. P. 211–220.
9. Лаверов Н.П., Величкин В.И. Мальковский В.И. и др. В кн.: Изменение окружающей среды и климата: природные и связанные с ними техногенные катастрофы. М.: ИГЕМ РАН, 2007. С. 139–175.
10. Cyranoski D. // Nature. 2007. V. 448. P. 392–393.
11. Pulinets S, Ouzounov D. Abstr. NH24A-04. Fall Meeting. San Francisco (A): AGU, 2010.
12. <http://www.mext.go.jp/english/>