ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЗМУЩЕНИЙ ОТ ЛИТОСФЕРЫ ДО ИОНОСФЕРЫ НА ПРИМЕРЕ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Салихов Н.М., Пак Г.Д.

Институт ионосферы Национального центра космических исследований и технологий, Алматы, Казахстан

Исследованы литосферно-атмосферно-ионосферные связи на примере распространения возмущений от литосферы до ионосферы при подземных ядерных взрывах на Семипалатинском испытательном полигоне и двух землетрясениях (Mb=3,5 и Mb=3,6) вблизи г. Алматы. Комплексом измерительного оборудования, установленного в горной местности, за семь дней до землетрясения зарегистрированы одновременно аномальные эффекты в вариациях интенсивности потока гамма-квантов, температуры, акустических импульсов и доплеровском сдвиге частоты (ДСЧ) ионосферного сигнала. Ретроспективный анализ записей вариаций ДСЧ ионосферного сигнала при подземных ядерных взрывах на Семипалатинском испытательном полигоне выявил на записях ДСЧ возмущения спустя 15–18 минут после взрыва и отклика ионосферы на акустическую волну. Аномальные эффекты, зарегистрированные в ионосфере при проникновении в приземную атмосферу радиоактивных продуктов от ПЯВ и при повышении потока гамма-квантов перед землетрясением, имеют, по-видимому, общий механизм передачи возмущений в ионосферу, а именно изменение ионизации пограничного слоя атмосферы, приводящее к изменению общего тока между ионосферой и Землей.

Введение

В последние десятилетия возрос интерес к исследованиям механизмов передачи возмущений от литосферы до высот ионосферы при активизации геофизических процессов естественного и искусственного происхождения. Наиболее мощным искусственным воздействием на геофизическую среду и биосферу обладают ядерные взрывы. При проведении подземных ядерных взрывов (ПЯВ) на Семипалатинском испытательном полигоне (СИП) в восьмидесятых годах прошлого столетия активно изучался акустический механизм распространения инфразвуковых волн через атмосферу и их эффекты в ионосфере методом доплеровского сдвига частоты (ДСЧ). Исторически это было связано с необходимостью дистанционного обнаружения эффектов в ионосфере от промышленных и подземных ядерных взрывов [1]. При прохождении акустической волны от взрыва на записях ДСЧ четко выявлялись возмущения в ионосфере, и еще в то время нами было отмечено, что после отклика ионосферы на прохождение акустической волны на записях вариаций ДСЧ ионосферного сигнала возникали возмущения, механизм появления которых не обсуждался. В данной статье мы вернулись к рассмотрению этих, ранее не исследованных эффектов, на примере 18-ти подземных ядерных взрывов, произведенных на Семипалатинском испытательном полигоне.

ИОНОСФЕРНЫЕ АНОМАЛИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ (АНАЛИЗ ИСТОРИЧЕСКИХ ЗАПИСЕЙ ДОПЛЕРОВСКОГО СДВИГА ЧАСТОТЫ ИОНОСФЕРНОГО СИГНАЛА)

Для регистрации отклика ионосферы на подземные ядерные взрывы был использован аппаратнопрограммный комплекс (АПК) доплеровских измерений, в основу которого заложен принцип работы петли фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) и реализована возможность измерения ДСЧ большего по амплитуде луча в условиях многолучевости [1, 2]. На рисунке 1 приведена оригинальная запись ДСЧ во время последнего подземного ядерного взрыва мощностью 75 кт, произведенного 19 октября 1989 г в 09 ч 50 мин 00с (GMT) на Семипалатинском испытательном полигоне в скважине № 1365 площадки Балапан.



по оси абсцисс – время в секундах от начала взрыва

Рисунок 1. Эффекты в доплеровском сдвиге частоты ионосферного сигнала от подземного ядерного взрыва мощностью 75 кт, произведенного на СИП 19 октября 1989г в 09 ч.50 мин 00 с (GMT)

Радиозондирование ионосферы проводилось на трассе Курчатов (N50,715 E78,621) - Саржал (N49,6 E78,683) с частотой радиозондирования f = 7,727 МГц. На рисунке 1 видно, что через 510 с (8,5 мин) после ПЯВ в записях доплеровского сдвига частоты ионосферного сигнала сначала появляется возмущение, вызванное проникновением акустических волн в ионосферу (рисунок 1-а), источником которого является движение земной поверхности в откольной зоне. Затем через 1005 с (16,75 мин) после взрыва наблюдается всплеск значительно меньшей амплитуды (рисунок 1-б), чем при акустическом воздействии. Сравнение экспериментальных записей доплеровского сдвига частоты на рисунках 1-а и 1-б показывает, что не только время появления, но также форма и величина вторичного эффекта отличаются от эффектов воздействия на ионосферу акустических волн от ПЯВ. В экспериментах регистрация ДСЧ после взрыва продолжалась, как правило, не более 30-40 мин, тем не менее, это позволило зарегистрировать появление вторичных возмущений в ионосфере после подземных ядерных взрывов. На записях ДСЧ возникновение вторичного эффекта в ионосфере регистрировалось в среднем через 15-18 мин после взрыва. Хотя мы не располагаем официальной информацией о радиационной обстановке во время проведения данного взрыва, по воспоминаниям сотрудников, обеспечивающих радиационный контроль и радиационную безопасность, при проведении эксперимента в скв. 1365 19 октября 1989 г. [3] наблюдался выход продуктов ядерного взрыва на дневную поверхность с повышением радиационного фона в районе эпицентра взрыва до 15-40 Р/час. Мы обратили внимание, что время появления ионосферной аномалии после взрыва соизмеримо со временем повышения радиоактивности атмосферы после подземных ядерных взрывов при прямых измерениях радиоактивного фона атмосферы с вертолетов и



Рисунок 2. Образование отрицательной аномалии в ионосфере спустя 1 ч после взрыва в Северной Корее 12 февраля 2013 г.[6]

самолетов [4, 5]. По статистике взрывы неполного камуфлета, сопровождающиеся незначительным истечением радиоактивных газов, составляли 45% от общего количества взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне [5], 67% от осуществленных подземных испытаний на Новоземельском полигоне [4]. Практика проведения подземных испытаний на Арктическом ядерном полигоне показала. что при всех камуфлетных ядерных взрывах, в результате фильтрации через зоны расплава, дробления, микро- и макротрещиноватости происходит выход на поверхность радиоактивных компонентов от ПЯВ. Если выход произошел менее чем через 1 мин, в атмосфере обнаруживаются изотопы стронция-89, -90, барий-140, цезий-137, свыше 1 мин, но не более 33 мин – изотопы стронций-89 и цезий-137, а от 33 до 40 мин – лишь цезий-137. В результате сейсмического воздействия энергии ядерного взрыва на горный массив в атмосферу выбрасываются большие массы естественных радона, тория и их дочерних продуктов распада [4]. Выход в атмосферу радионуклидов приводит к ионизации приземных слоев атмосферы, что является одним из звеньев передачи возмущения в системе литосфера-атмосфера-ионосфера.

В качестве примера, приводятся результаты современного исследования состояния ионосферы во время подземного ядерного взрыва на северокорейском ядерном полигоне 12 февраля 2013 г. После ПЯВ были зарегистрированы подземные толчки с магнитудой 4,9 и через 1 час после ядерного взрыва по спутниковым данным GPS выявлено образование отрицательной аномалии в ионосфере [6]. На рисунке 2 показано отрицательное отклонение полного электронного содержания вследствие смещения радиоактивного облака в сторону японского о-ва Хонсю под влиянием северо-западного ветра.



красной стрелкой отмечено возрастание ДСЧ ионосферного сигнала с выходом на максимум через 6 мин после взрыва

Рисунок 3. Результаты измерений амплитуды и доплеровской частоты при подземном ядерном взрыве 28 июля 1978 г. [8] По мнению авторов, локальные изменения электронной концентрации в ионосфере при подземном ядерном взрыве связаны с изменениями проводимости атмосферы вследствие ионизации пограничного слоя при выходе на поверхность радиоактивных компонентов от ПЯВ. Такая же последовательность передачи возмущений от литосферы до ионосферы может рассматриваться как возможный механизм появления вторичных эффектов в ионосфере, зарегистрированных нами во время ПЯВ на Семипалатинском испытательном полигоне. Отметим, что в эксперименте «Масса» (260 тонн ТНТ, 1981 г) [2, 7] во время проведения наземного фугасного взрыва в записях ДСЧ вторичный эффект в ионосфере не наблюдался.

Еще одним подтверждением передачи возмущения в ионосферу при проникновении радиоактивных веществ в приземную атмосферу являются результаты измерения ДСЧ во время ПЯВ 28 июля 1978 г. Подземный ядерный взрыв с неполным камуфлетом был произведен на Семипалатинском испытательном полигоне в пределах горного массива Дегелен 28 июля 1978 г в 2 ч 46 мин 57,8с UT. Координаты места взрыва: N49,755 E78,145. Это был первый взрыв, во время которого мы начали проводить измерения доплеровского сдвига частоты ионосферного сигнала. Взрыв был произведен в штольне, и групповой заряд состоял из пяти частей. Мощность одного из них была от 20 до 150 ктн, а каждого из остальных – между 1 и 20 ктн [8, 9]. Во время взрыва произошел незапланированный выход продуктов взрыва на поверхность. Через 7-9 с после взрыва зарегистрировано возмущение амплитуды радиосигнала (положительный выброс) и одновременно отрицательный выброс в доплеровской частоте (рисунок 3). Авторы [8] считают, что наблюдаемый интерференционный эффект вызван отражением радиоволны от ионизированного облака, возникшего при взрыве, в интервале высот 1,23-7,4 км и не может быть объяснен распространением акустической волны от взрыва до высот ионосферы. На рисунке 3 обращает на себя внимание присутствие еще одного всплеска ДСЧ ионосферного сигнала (отмечен красной стрелкой), происхождение которого в [8] не рассматривалось. Этот всплеск возник после взрыва одновременно с интерференционным эффектом, с выходом на максимум примерно через 6 мин, что не может быть объяснено распространением акустической волны, хотя бы до высот Е-области ионосферы (~100 км). Возрастание доплеровского слвига частоты началось практически одновременно с выбросом радиоактивных продуктов от ПЯВ.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИТОСФЕРНО-АТМОСФЕРНО-ИОНОСФЕРНЫХ СВЯЗЕЙ ВО ВРЕМЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ВБЛИЗИ Г. АЛМАТЫ

Эманация радиоактивных газов из горных пород (радона и его дочерних продуктов распада) рассматривается в ряде работ, например, в [10] как возможный индикатор процесса подготовки землетрясений в силу причинной зависимости от изменений напряженно-деформационного состояния горных пород в сейсмически активных регионах. Производимое радиоактивными веществами изменение уровня ионизации в приземной атмосфере влияет на проводимость пограничного слоя атмосферы до высот 1–2 км от поверхности земли и оказывает основное влияние на ток между ионосферой и Землей. Это, в свою очередь, способствует генерации электрических полей в ионосфере, приводя к образованию неоднородностей электронной концентрации. Механизмы литосферноатмосферно-ионосферной (ЛАИ) связи и появления возмущений в ионосфере в периоды подготовки землетрясений изложены в [6, 11–13]. Данная концепция была положена в основу планирования эксперимента данной работы.

Литосферно-атмосферно-ионосферные связи исследуем на примере двух слабых землетрясений – 30 декабря 2017 г. и 2 февраля 2018 г., произошедших в г. Алматы и его окрестностях. Согласно информации Центра данных РГП ИГИ (www.kndc.kz):

– 30 декабря 2017 г. в 15 ч 55 мин 45 с по Гринвичу в 19 км на юг от г. Алматы произошло землетрясение (координаты эпицентра: 43,05 град северной широты, 76,87 град восточной долготы) с магнитудой Mb=3,5. Энергетический класс К=7,4. Глубина очага землетрясения 3 км (землетрясение произошло вблизи очагов катастрофических Верненского землетрясения 1887г и Кеминского землетрясения 1911 г.);

- 2 февраля 2018 г. в 09 ч 20 мин 44,24 с по Гринвичу в г. Алматы произошло землетрясение (координаты эпицентра: 43,1486 град северной широты, 76,8786 град восточной долготы) с магнитудой Mb=3,6. Энергетический класс К=8. Глубина очага землетрясения 4 км (землетрясение ощущалось в г. Алматы с интенсивностью 3–4 балла).

На рисунке 4 приведена схема расположения эпицентра землетрясения 30 декабря 2017 г. относительно научных станций «Космостанция», Радиополигон «Орбита», измерительной скважины и очага катастрофического Верненского землетрясения 1887 г. M=7,3.



«Космостанция» - N43,04351 E76,94139; Радиополигон «Орбита» - N4,05818 E7,9727; Эпицентр Верненского землетрясения 1887 г. - N43,1 E76,8

Рисунок 4. Схема расположения эпицентра землетрясения 30.12.2017 г. относительно пунктов «Космостанция», Радиополигон «Орбита», измерительная скважина, эпицентр Верненского землетрясения 1887 г. В исследовании использован комплекс измерительного оборудования, позволяющий проследить цепочку передачи возмущений в геофизических полях от литосферы до высот ионосферы. На территории научной станция «Космостанция», расположенной на высоте 3340 м над уровнем моря, находится не заполненная водой измерительная скважина, глубиной около 100 м. Скважина расположена в 13,3 км от очага Веренского землетрясения 1887 г. и в 16,3 км от очага Кеминского землетрясения 1911 г. В скважине установлено следующее измерительное оборудование:

– гамма-детектор с кристаллом натрий-йод NaI(TI), СДН.30, Ø40 мм, предназначенный для измерения вариаций интенсивности потока гаммаквантов на глубине 39 м;

 датчики температуры – 4 шт. на глубинах 1 м, 24 м и 39 м, а также на открытом воздухе рядом со скважиной;

– акустический микрофон (Физико-технический Институт МОН РК) чувствительностью 25 Па/мВ для регистрации сейсмоакустической эмиссии, установленный на глубине 52 м.

Вариации интенсивности потока гамма-квантов в приземной атмосфере регистрировали также вблизи скважины с помощью сцинтилляционного детектора БДЭГ2-39 (Россия) с кристаллом натрий-йод NaI(TI), Ø150мм. Калибровка наземного и скважинного гамма-детекторов проведена с помощью эталонных источников Am-241 (E_{γ} =60 кэВ) и Cs-137 (E_{γ} =660 кэВ).

Для регистрации отклика ионосферы на активизацию сейсмических процессов использован аппаратно-программный комплекс (АПК) доплеровских измерений, в основу которого заложен принцип работы петли фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) и реализована возможность измерения ДСЧ большего по амплитуде луча в условиях многолучевости [14, 15]. Измерение ДСЧ в условиях многолучевости является важным преимуществом перед другими методами доплеровских измерений. Все это позволяет обеспечить круглосуточный режим измерений с высоким уровнем автоматизации. В АПК доплеровских измерений включен пакет программ, созданный специально для выявления откликов ионосферы на различные гелио-геофизические события.

На Радиополигоне «Орбита», расположенном на высоте 2750 м над ур. м. в 2,9 км от «Космостанции», находится аппаратно-программный комплекс регистрации акустических волн в приземной атмосфере в инфразвуковом диапазоне частот.

Эпицентр землетрясения 30.12.2017 г. находился всего в 5,3 км от скважины. Столь редкий случай близкого расположения эпицентра к измерительному оборудованию в скважине позволил зарегистрировать отклик в вариациях интенсивности потока гамма-квантов, акустических импульсов и температуры на слабое землетрясение. Анализ данных выполнен за период с 9 декабря 2017 г. по 8 января 2018 г. Фоновые значения интенсивности потока гамма-квантов с 9 до 23 декабря имели лишь небольшие вариации, 23 декабря – за семь дней до землетрясения, - измерительным комплексом, расположенным в скважине, зарегистрированы аномальный всплеск интенсивности потока гамма-квантов в диапазоне низких энергий 50-200 кэВ (рисунок 5-б) и небольшое повышение температуры (рисунок 5-а). Повышенный уровень гамма-излучения сохранялся на протяжении 3-х дней и в последующий период вплоть до землетрясения. В то же время микрофон зарегистрировал два геоакустических всплеска (рисунок 5-в) с максимумом 23 декабря и 30-31 декабря (в день землетрясения и после него).







вертикальная линия – время землетрясения 30.12.2017 г.

Рисунок 6. Динамический спектр мощности вариаций потока гамма-квантов в скважине до землетрясения (а) и в день землетрясения (б)

Следует отметить, что в работах, нацеленных на поиск краткосрочных предвестников землетрясений, зачастую не приводятся данные о возмущениях непосредственно в момент землетрясения. В данном эксперименте для обнаружения возможного косейсмического отклика на землетрясение были применены методы спектрального анализа – расчет динамического спектра мощности вариаций потока гаммаквантов в скважине (рисунок 6). В результате установлено очевидное увеличение динамического спектра мощности потока гамма-квантов на фоне суточных вариаций в день землетрясения (рисунок 6-б). А за семь дней до землетрясения всплеск динамического спектра мощности вариаций потока гаммаквантов в скважине более чем в 7000 раз превосходил мощность динамического спектра фоновых вариации потока гамма-квантов и достигал 777 имп² (рисунок 6-а).

Анализ вариаций потока гамма-квантов показал, что отклик на активизацию сейсмических процессов наблюдался как в скважине, так и в приземной атмосфере. Однако следует подчеркнуть, что выделение сейсмогенных возмущений в вариациях потока гамма-квантов в приземной атмосфере ограничено подверженностью влияниям факторов внешней среды, в частности, выпадению осадков в виде дождя, снега и града [16], изменениям влажности атмосферного воздуха, температуры. В скважине на глубине 39 м осадки не оказывают влияния на фоновые вариации потока гамма-квантов, а температура воздуха колеблется на уровне тысячных долей градуса. Поэтому в период наблюдений, начиная с 23 декабря, возмущения в вариациях потока гамма-квантов в скважине проявились более отчетливо, и хорошо зарегистрирован не только всплеск, но и тонкая структура отклика на процессы подготовки землетрясения (рисунок 7-а). Отклик в вариациях потока гамма-квантов в приземной атмосфере на процесс подготовки землетрясения также присутствует, но имеет более сглаженную форму (рисунок 7-б).

На графиках (рисунок 7) показано, что повышение интенсивности гамма-излучения в приземной атмосфере запаздывало относительно всплеска ионизации внутри скважины, что обусловлено, по-видимому, последовательностью перемещения радиоактивных элементов на поверхность земли с задержкой около 5 час.

Исследования последних десятилетий показали, что ионосфера весьма чувствительна к процессам, происходящим в литосфере в периоды подготовки и во время крупных землетрясений. Разрабатываются новые методы и комплексные подходы с использованием наземных и спутниковых средств наблюдения, чтобы повысить достоверность обнаружения сейсмогенных эффектов в ионосфере. В данной работе мы применили модифицированный метод доплеровских измерений ионосферного сигнала [14, 15], позволяющий проводить кратковременные и длительные наблюдения за динамикой вспышек ионизации и отслеживать возмущенность в ионосфере накануне и во время землетрясений. За семь дней до землетрясения (23 декабря 2017г) в вариациях ДСЧ ионосферного сигнала отмечен минимум (рисунок 5-д), который совпал с началом резкого повышения интенсивности потока гамма-квантов и максимумом акустических всплесков. В день землетрясения (30 декабря 2018г) небольшое повышение ДСЧ совпало со вторым максимумом акустических импульсов. Отметим, что геомагнитная обстановка в период с 18 по 31 декабря была спокойной, магнитные бури отсутствовали (tesis.lebedev.ru), что является важным условием достоверности выявления сейсмогенных откликов ионосферы.

Схожие, но менее выраженные эффекты в параметрах исследуемых геофизических полей при активизации сейсмических процессов, отмечены накануне и во время другого землетрясения 2 февраля 2018 г. с Mb=3,6, произошедшего на территории г. Алматы. Эпицентр этого землетрясения находился значительно дальше от измерительной скважины, чем эпицентр землетрясения 30 декабря 2017 г.



вертикальные линии – всплески гамма-квантов, зарегистрированные сначала в скважине, а затем в приземной атмосфере (примерно с 5-часовой задержкой)

Рисунок 7. Сравнение вариаций гамма-квантов в скважине на глубине 39 м (а) и в приземной атмосфере на поверхности земли (б) в период с 22 по 26 декабря 2017 г.

Координаты эпицентра землетрясения 30 декабря 2017 г. по данным сейсмологических служб

Особенностью полученных данных является то, что эпицентр землетрясения находился очень близко от скважины – на расстоянии около 5,3 км. Исходя из формулы Добровольского [17] деформационные процессы в литосфере при подготовке землетрясения наблюдаются в пределах расчетного радиуса от эпицентра:

$$R = 10^{0,43M}$$
, (1)

где R – радиус в км, М – магнитуда землетрясения. Согласно (1) для землетрясения магнитудой Mb=3,5 радиус, в пределах которого при подготовке землетрясения происходят деформационные процессы в литосфере, равен 31,99 км. Следовательно, исследовательская скважина должна вписаться в расчетный радиус и находиться в зоне наиболее активных процессов подготовки землетрясения, что позволит анализировать аномальные эффекты в геофизических полях в связи с процессами подготовки землетрясения. Однако возникла необходимость уточнения расположения эпицентра и гипоцентра землетрясения 30.12.2017 г, поскольку разные сейсмологические службы предоставили отличающиеся данные (таблица). Из таблицы видно, что географические координаты эпицентра землетрясения отличаются по широте более чем на 0,3 град. (>30 км), а глубина (гипоцентр) землетрясения определена как 2-10 км. Так же в таблице приводится разное время основного толчка и магнитуды землетрясения. Поэтому возникла потребность уточнить, вписывается ли расположение измерительной скважины в круг, определяемый расчетным радиусом R (1) и находится ли измерительная скважина в ближней зоне наиболее активных процессов подготовки землетрясения или на краю этого круга.

Для наглядности координаты землетрясения перенесены из таблицы на рисунок 8, где также указано расположение передающего (ТХ) и принимающего (RX) пунктов доплеровского ионозонда, линия радиотрассы и проекция на землю точки отражения радиоволны в ионосфере.



🛑 – эпицентры дальней зоны радиуса Добровольского,

– эпицентры ближней зоны,

- проекция на землю точки отражения радиоволны в ионосфере

Рисунок 8. Расположение эпицентра землетрясения 30.12.2017г по данным различных сейсмических служб (срочных донесений, интерактивных бюллетеней и оперативных каталогов) относительно измерительной скважины, передающего (TX) и принимающего (RX) пунктов доплеровского ионозонда

На рисунке 8 указаны шесть различных эпицентров одного землетрясения, из которых три находятся в ближней зоне радиуса Добровольского, остальные – в дальней зоне. Для уточнения местоположения эпицентра и гипоцентра землетрясения привлечены данные мониторинга АПК инфразвуковых измерений Института ионосферы, расположенного на Радиополигоне «Орбита». При прохождении сейсмической волны в результате вертикального смещения земной поверхности образуются обменные волны. Регистрация обменных волн с помощью инфразвуковых датчиков проводится с 60-х годов прошлого столетия [18-20]. Инфразвуковой комплекс зарегистрировал появление обменных волн «поверхность – атмосфера» через 2,1 с после землетрясения 30.12.2017 г. (рисунок 9).

Источник данных	Широта, СШ	Долгота, ВД	Время землетрясения	Глубина, км	Магнитуда	
					Mb	Мру
ИГИ -1, kndc.kz, служба срочных донесений	43,0515	76,8774	15:55:45,61	0	3,4	3,1
ИГИ -2, kndc.kz, интерактивный бюллетень	43,3584	76,8681	15:55:45,0	3	3,5	3,3
СОМЭ -1, some.kz, служба срочных донесений	43,0900	76,8800	15:55:45	10	-	4,2
СОМЭ -2, some.kz, оперативный каталог	43,1000	76,9000	15:55:45,8	10	-	4,2
Геофизическая служба РАН, ceme.gsras.ru, служба срочных донесений	43,23	76,85	15:55:45	10	4,1	_
Европейский средиземноморский сейсмологический Центр, emsc-csem.org	43,21	76,76	15:55:45,1	2	3,8	_

Таблица. Параметры землетрясения 30.12.2017 по разным источникам



Рисунок 9. Регистрация инфразвуковым датчиком обменных волн, образованных прохождением сейсмической волны

Сейсмическая волна от гипоцентра землетрясения дошла до Радиополигона «Орбита» через 2,1 с, от глубины 2–10 км, согласно таблице. Если принять значение скорости распространения продольной сейсмической Р-волны в интервале 4,5–6 км/с, то расчетное расстояние от гипоцентра до инфразвукового датчика будет находиться в интервале 9,45–12,6 км. С учетом этих данных инфразвуковых измерений можно заключить, что наилучшее совпадение соответствует точке с координатами, представленной СОМЭ-2, а также точкам, соответствующим решениям ИГИ-1 и СОМЭ-1 (рисунок 8). В таком случае можно считать, что скважина с измерительным оборудованием расположена в ближней зоне радиуса Добровольского на расстоянии ~ 5,3 км.

Таким образом, комплексом измерительного оборудования за семь дней до землетрясения (23 декабря 2017 г.) были зарегистрированы всплески интенсивности потока гамма-квантов в скважине на глубине 39 м и через 5 ч в вариациях потока гамма-квантов в приземной атмосфере. Наблюдения показали, что уровень фонового потока гамма-квантов в скважине мало меняется день ото дня и в отличие от потока гамма-квантов в приземной атмосфере не реагирует на выпадение осадков в виде дождя, града и снега. Это является важным условием для выявления даже небольших изменений радиоактивности внутри скважины при выходе из горных пород радона и его дочерних продуктов. Наблюдаемые максимумы интенсивности потока гамма-квантов, зарегистрированные в скважине 23 декабря, произошли одновременно с усилением геоакустической эмиссии и температуры внутри скважины. Всплески потока гамма-квантов в скважине, а затем и повышение в приземном слое атмосферы, с большой вероятностью связаны с эксхаляцией радона и его дочерних продуктов распада из горных пород при активизации сейсмических процессов. В [21] также отмечено повышение потока гаммаквантов вслед за значительным увеличением концентрации почвенного радона, зарегистрированных за несколько дней до землетрясений на востоке Тайваня. Одновременно с появлением аномальных эффектов в скважине и приземной атмосфере были зарегистрированы возмущения в ионосфере – понижение

ДСЧ ионосферного сигнала. Данный эффект, как отклик ионосферы сейсмогенного происхождения, может быть объяснен с позиций концепции литосферноатмосферно-ионосферных связей, предложенной [6, 11-13]. Согласно концепции ЛАИ выход радиоактивных газов из горных пород, который зарегистрирован как рост интенсивности потока гамма-квантов в скважине и приземной атмосфере, вызывает повышение ионизации приземной атмосферы, приводит к изменению проводимости пограничного слоя атмосферы, что оказывает влияние на ток межлу ионосферой и Землей. Далее, за счет перераспределения электрического потенциала между поверхностью Земли и ионосферой происходит сток электронов с уменьшением электронной концентрации в ионосфере, которые в проведенном эксперименте зарегистрирован как уменьшение доплеровского сдвига частоты ионосферного сигнала. Следует подчеркнуть, что одновременность появления аномальных эффектов, зарегистрированных в различных геофизических полях, повышает достоверность их связи с подготовкой землетрясения.

В данной работе концепция литосферно-атмосферно-ионосферных связей нашла подтверждение при проведении ретроспективного анализа записей ДСЧ ионосферного сигнала, полученных при проведении подземных ядерных взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне. Установлено, что спустя 15–18 мин после взрыва и отклика ионосферы на акустическую волну в ионосфере появляются отчетливые возмущения в ДСЧ ионосферного сигнала. Время появления возмущений совпадало с данными дозиметрических служб о повышении радиоактивности приземной атмосферы над эпицентрами ПЯВ.

Аномальные эффекты, зарегистрированные в ионосфере при проникновении в приземную атмосферу радиоактивных продуктов от ПЯВ и при повышении интенсивности потока гамма-квантов перед землетрясением, имеют, по-видимому, общий механизм передачи возмущений в ионосферу, а именно изменение ионизации пограничного слоя атмосферы, приводящее к изменению общего тока между ионосферой и Землей.

Заключение

Исследованы литосферно-атмосферно-ионосферные связи на примере распространения возмущений от литосферы до ионосферы при подземных ядерных взрывах на Семипалатинском испытательном полигоне и двух землетрясений (Mb=3,5 и Mb=3,6), произошедших в г. Алматы и его окрестностях.

1. Для изучения процессов активизации сейсмических процессов вблизи очагов Кеминского и Верненского катастрофических землетрясений создан новый комплекс измерительного оборудования, расположенный в горах в окрестностях мегаполиса г. Алматы.

2. На «Космостанции» (h 3340 м) проводится непрерывный мониторинг интенсивности потока гамма-квантов и температуры на поверхности земли и в измерительной скважине на глубине 39 м; на Радиополигоне «Орбита» (h 2750 м) проводится непрерывный мониторинг вариаций доплеровского сдвига частоты ионосферного сигнала и акустических волн в инфразвуковом диапазоне.

3. Представился уникальный случай, когда землетрясение произошло в непосредственной близости к измерительной скважине, что дало возможность обнаружить выраженные аномальные эффекты в геофизических полях накануне слабого землетрясения 30.12.2017 г. 4. Близкое расположение эпицентра землетрясения к измерительной скважине, в ближней зоне радиуса Добровольского, подтверждено инфразвуковыми измерениями при регистрации обменных волн после основного толчка.

5. За семь дней до землетрясения выявлены аномальные эффекты в вариациях потока гамма-квантов, температуры, акустических импульсов и доплеровском сдвиге частоты ионосферного сигнала. Одновременность появления аномальных эффектов в различных геофизических полях повышает достоверность их связи с процессами подготовки землетрясения и позволяет рассматривать их как прекурсоры землетрясения.

6. Выполнен ретроспективный анализ записей вариаций доплеровского сдвига частоты ионосферного сигнала при проведении подземных ядерных взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне. На записях ДСЧ отклика ионосферы на акустическую волну обнаружены отчетливые возмущения спустя 15–18 мин после взрыва.

7. Аномальные эффекты, зарегистрированные в ионосфере во время ПЯВ и землетрясений, имеют общий механизм передачи возмущений в ионосферу на стадии проникновения радиоактивных веществ в атмосферу, приводящих к изменению ионизации пограничного слоя атмосферы и далее к изменению общего тока между ионосферой и Землей.

Литература

- 1. Предварительный патент Республики Казахстан.. Способ дистанционного обнаружения подземного ядерного взрыва / В.Е. Зеленков, В.М. Краснов, Н.М. Салихов. № 1743, 1995.
- Салихов, Н.М. Отклик ионосферы на акустические источники естественного и искусственного происхождения: автореф. дисс. канд.физ.-мат.наук / Салихов Назыф Мунипович. – Томск, 1985. – 18 с.
- 3. Смагулов, С.Г. Знаки судьбы. Воспоминания испытателя ядерных зарядов / С.Г. Смагулов. Саров: РФЯЦ–ВНИИЭФ, 2012. 212 с.
- 4. Ядерные испытания в Арктике : Радиоэкологическая обстановка в районах проведения подземных ядерных испытаний.. / Гл. ред. В.Н. Михайлов. 2004. Т. 2. Гл. 2.5. http://atomas.ru/isp/artika/
- 5. Семипалатинский полигон: обеспечение общей и радиационной безопасности ядерных испытаний / Гл. редактор В.А. Логачев. М.: ИГЕМ РАН, 1997. 344 с.
- Пулинец, С.А. Физические основы генерации краткосрочных предвестников землетрясений. Комплексная модель геофизических процессов в систме литосфера-атмосфера-ионосфера, инициируемых ионизацией / С.А. Пулинец, Д.П. Узунов, А.В. Карелин, Д.В. Давиденко // Геомагнетизм и аэрономия. – 2015. – Т. 55, № 4. – С. 1–19.
- 7. Альпевович, Л.С. Акустическая волна взрыва / Л.С. Альпевович, Э.Л. Афраймович, В.О. Вугмейстер, И.Б. Гохберг [и др.] // Физика Земли. – 1985. – № 11. – С. 32–42.
- Краснов, В.М. Радиолокационный контроль подъема ионизированного облака, возникающего при выбросе продуктов взрыва в атмосферу / В.М. Краснов, Н.Ф. Николаевский, А.В Ситников, К.А. Ситников // Вестник НЯЦ РК. –2001. – Вып. 2. – С. 122–128.
- 9. Ядерные испытания СССР / под ред. В.Н. Михайлова. М.: ИздАТ. –1997. 304 с.
- 10. Уткин, В.И. Радон как индикатор геодинамических процессов / В.И. Уткин, А.К. Юрков // Геология и геофизика. 2010. Т. 51, № 2. С. 277–286. http://www.izdatgeo.ru
- 11. Гохберг, М. Б. Литосферно-ионосферная связь и ее моделирование / М. Б. Гохберг, С.Л. Шалимов // Российский журнал наук о Земле. М.: Институт физики Земли РАН. 2000. Т. 2, № 2.
- Namgaladze, A.A. Manifestations of the earthquake preparations in the ionosphere total electron content variations / A.A. Namgaladze, O.V. Zolotov, M.I. Karpov, Y.V. Romanovskaya // Natural Science. – 2012. – V. 4, № 11. – P. 848–855.
- 13. Сорокин, В.М. Плазменные и электромагнитные эффекты в ионосфере, связанные с динамикой заряженных аэрозолей в нижней атмосфере / В.М. Сорокин // Хим.физика. 2007. Т. 26. № 4. С. 45–80.
- 14. Салихов, Н.М. Аппаратно- программный комплекс для регистрации доплеровского сдвига частоты ионосферных радиосигналов над очагами землетрясений / Н.М. Салихов, В.М. Сомсиков // Известия НАН РК, серия физикоматематическая. – 2014. – 4(296). – С. 115–121.

- Салихов, Н.М. Новый метод регистрации динамики вспышек ионизации в ионосфере аппаратно-программным комплексом доплеровских измерений на наклонной радиотрассе / Н.М. Салихов // Известия НАН РК, серия физикоматематическая. – 2016. – №4(308). – С. 27–33.
- 16. Salikhov, N.M. An increase of the soft gamma-radiation background by precipitations / N.M. Salikhov [et al] // Proceedings of the 32nd International Cosmic Ray Conference, China, Beijing, July. 2011. V. 1.– P. 369–372.
- 17. Dobrovolsky, I.P. Estimation of the size of earthquake preparation zones / I.P. Dobrovolsky, S.I. Zubkov, V.I. Myachkin // Pure Appl. Geophys. 1979. V. 117, № 5. P. 1025-1044.
- Donn, W.L. Ground-coupled air waves from the great Alaskan earthquake / W.L. Donn, E.S. Posmentier // J. Geoph. Res. 1964. – 9. – P. 5357–5361.
- 19. Cook, R.K. Infrasound radiated during the Montana earthquake of 1959 August 18 / R.K. Cook // Geophys. J. R., 1971. astr. Soc. 26. P.191–198.
- 20. Takanashi, Y. In situ measured infrasound at Sapporo associated with an earthquake occurring offshore in southwest Hokkaido on July 12, 1993 / Y. Takanashi, Y. Koyama, T. Isei //J. Acoust. Soc. Jpn. 1994. V. 15. P. 409–411.
- 21. Fu, C.C. Radon and gamma rays anomalies observed in northern Taiwan: a possible connection with the seismicity near the subduction zone / C.C. Fu // American Geophysical Union, Fall Meeting. 2015, abstract # NH21A-1813.

ЖЕРАСТЫ ЯДРОЛЫҚ ЖАРЫЛЫСТАР МЕН ЖЕРСІЛКІНУЛЕР ҮЛГІСІНДЕ АУЫТҚУЛАР ЛИТОСФЕРАДАН ИОНОСФЕРАҒА ДЕЙІН ТАРАЛУЫН ЭКСПЕРИМЕНТАЛДЫ ЗЕРТТЕУ

Салихов Н.М., Пак Г.Д.

Ғарыштық зерттеулер мен технологиялары ұлттық орталғының Ионосфера институты, Алматы, Қазақстан

Семей сынау полигонындағы жерасты ядролық жарылыстар мен Алматы қ. жанындағы екі жерсілкінулер (Mb=3,5 және Mb=3,6) болуында ауытқулар литосферадан ионосфераға дейін таралу үлгісінде литосфералықатмосфералық-ионосфералық байланыстары зерттелген. Таулы жерде орнатылған зерттеу жабдықтар кешенімен жерсілкінуге дейін жеті күн бұрын бірмезгілде гамма-кванттар ағымы қарқындылығының, температураның, акустикалық импульстардың және ионосферлік сигналы жиіліктің допплерлік жылжудың (ЖДЖ) вариацияларында аномаль мәндері тіркелген. Семей сынау полигонындағы жерасты ядролық жарылыстар болуында ионосферлік сигналдың ЖДЖ вариациялары жазбаларының ретроспективалық талдауы ЖДЖ жазбаларында жарылыстан кейін 15–18 минуттан соң және акустикалық толқынға ионосфераның әсер етуінен кейін ауытқуларды анықтады. ЖЯЖ-дан радиоактивті өнімдері атмосфераға енуінде және жерсілкіну алдында гамма-кванттар ағымы артуында тіркелген аномаль мәндері, сірә, атмосфераға ауытқулар жіберілудің жалпы механизмдеріне жатады, атап айтқанда, ионосфера мен Жер арасында ортақ тогы өзгерілуіне келтірістін, атмосфераның шекаралық қабатының ионизациясы өзгерілу.

EXPERIMENTAL STUDY OF DISTRIBUTION OF PERTURBATIONS FROM THE LITHOSPHERE TO IONOSPHERE AT THE EXAMPLE OF UNDERGROUND NUCLEAR EXPLOSIONS AND EARTHQUAKES

N.M. Salikhov, G.D. Pak

Institute of Ionosphere of National Centre for Space Research and Technology, Almaty, Kazakhstan

Lithosphere-atmospheric-ionospheric relations have been investigated at the example of the perturbations propagation from the lithosphere to ionosphere during underground nuclear explosions at the Semipalatinsk test site and two earthquakes (Mb = 3.5 and Mb = 3.6) near Almaty. Simultaneously, seven days prior to the earthquake the abnormal effects in variations of intensity of a gamma-ray flux, temperatures, acoustic impulses and the Doppler frequency shift of ionospheric signal are registered by a complex of the measuring equipment installed in the mountain area. A retrospective analysis of the recordings of the Doppler frequency shift of ionospheric signal variations during the UNEs at the Semipalatinsk test site detected disturbances in the DFS records 15–18 minutes after the explosion and the response of ionosphere to the acoustic wave. The anomalous effects recorded in ionosphere when UNE radioactive products penetrated the atmosphere and when gamma-ray flux increased prior to earthquake, apparently have a common mechanism for disturbances perturbation to ionosphere, namely, the ionization change of the atmospheric boundary layer leading to the total current change between the ionosphere and the Earth.