

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **045667**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.12.14

(51) Int. Cl. **G01V 1/00 (2006.01)**
G01V 9/00 (2006.01)

(21) Номер заявки
202291188

(22) Дата подачи заявки
2022.04.04

(54) **СПОСОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ ВНУТРЕННИХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН В АТМОСФЕРЕ, ГЕНЕРИРУЕМЫХ В СЕЙСМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ЗОНАХ, КАК ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ**

(31) **201900569**

(56) **RU-C1-2336543**
RU-C1-2490675
US-A1-2016370478
CN-A-109003422

(32) **2021.11.08**

(33) **EA**

(43) **2023.05.31**

(66) **201900569; 2021.11.08**

(96) **KG/202200002 (KG) 2022.04.04**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ
СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(KG)**

(72) Изобретатель:
**Нифадьев Владимир Иванович, Чен
Борис Борисович (KG), Адушкин
Виталий Васильевич, Попель Сергей
Викторович (RU), Когай Георгий
Андреевич (KG)**

(57) Изобретение относится к геофизике, а именно к идентификации внутренних гравитационных волн в атмосфере, генерируемых в сейсмически активных зонах, по данным дистанционных методов измерения, и может найти применение при создании как международной, так и национальной систем контроля особо опасных геофизических природных явлений. Сущность изобретения: производят дистанционное зондирование распределения плотности (температуры) атмосферы по вертикали над пунктом наблюдения, при этом регистрируют вертикальное распределение вариаций температуры. Полученное распределение обрабатывается по специальной программе, выявляющей волнообразные колебания вариации температуры как индуцированной волны и характеристики самой волны. Индуцированная волна получает свое развитие как ВГВ при наличии необходимого признака - градиент температуры в интервале высот обнаружения волны не должен превышать сухоадиабатический градиент ($\gamma < \gamma_a$), и связана с ВГВ, если экспериментальное значение пороговой относительной амплитуды a_e , определяемой как амплитуда волны, необходимая для неустойчивости, подчиняется соотношению $1 > a = a_e > 0$. Достоверность идентификации физической природы процесса достигается в случае подтверждения достаточного признака - вертикальные длины волн должны быть более 10 км. Технический результат: создание способа повышения достоверности идентификации физической природы процесса посредством определения его существенных признаков и расширение ряда предвестников землетрясения.

B1

045667

045667

B1

Изобретение относится к геофизике, а именно к идентификации внутренних гравитационных волн в атмосфере, генерируемых в сейсмически активных зонах, как предвестников землетрясений, по данным дистанционных методов измерения, и может найти применение при создании как международной, так и национальной систем контроля особо опасных геофизических природных явлений.

Сущность:

Идентификация ВГВ проводится по результатам прямых дистанционных измерений распределения плотности (температуры) над пунктом наблюдения. Полученное распределение обрабатывается по специальной программе, выявляющей наличие волновых возмущений в атмосфере, с последующей идентификацией как ВГВ, распространяющихся от очага землетрясения, которая включает установление наличия необходимых и достаточных признаков ее существования.

Технический результат при решении задачи достигается за счет создания способа повышения достоверности идентификации физической природы процесса посредством определения его существенных признаков и в расширении ряда предвестников землетрясения.

К настоящему времени существуют описания дистанционных методов обнаружения ВГВ в атмосфере (например, Коршунов В.А. Определение параметров волновых возмущений средней атмосферы по данным лидарных измерений//Оптика атмосферы и океана. 28. № 11, с. 993-1002. 2015, Vladimir N. Guhenko, Alexander G. Pavelyev and Vitali E. Andreev. Determination of the intrinsic frequency and other wave parameters from a single vertical temperature or density profile measurement//Journal of Geophysical Research, Vol. 113, D08109, doi: 10.1029/2007JD008920, 2008). Так, в работе (Коршунов В.А. Определение параметров волновых возмущений средней атмосферы по данным лидарных измерений//Оптика атмосферы и океана. 28. № 11, с. 993-1002. 2015). Определение волновых возмущений (далее ВВ) в средней атмосфере и их параметров проводится по результатам восстановления температуры лидарным методом путем идентификации ВВ по относительным флуктуациям температуры, которые выделяются на фоне среднего профиля использованием сглаживающего сплайна.

При этом, как показывают экспериментальные данные, во многих случаях вертикальные профили температуры, полученные различными методами (лидар, ракеты, радиозонды, радиолокация), показывают одну доминирующую структуру волны в определенном диапазоне высоты [Fritts, D.C., and M. J. Alexander. Gravity wave dynamics and effects in the middle atmosphere. Rev. Geophys., 41(1), 1-64, 1003, doi: 10.1029/2001RG000106, 2003], то есть свидетельствуют о дискретности события.

Ближайшим аналогом по технической сути с заявляемым является способ исследования дискретных волновых структур [см. Vladimir N. Guhenko, Alexander G. Pavelyev and Vitali E. Andreev. Determination of the intrinsic frequency and other wave parameters from a single vertical temperature or density profile measurement//Journal of Geophysical Research, Vol. 113, D08109, doi: 10.1029/2007JD008920, 2008]. В способе аналоге использованы измерения высотных профилей температуры, полученные с помощью метода радиопросвечивания (радиозатменного) метода (Radio occultation (RO) measurements). В этой же работе сформулирован критерий идентификации низкочастотной волны и предложен метод определения внутренней частоты и других параметров волны по одному профилю температуры (плотности).

Недостатком ближайшего аналога, как и других известных дистанционных методов обнаружения волновых возмущений в атмосфере, является отсутствие возможности идентифицировать ВГВ по отношению к источникам, породившим эти волны в сейсмоактивных зонах.

Задачей изобретения является создание способа идентификации внутренних гравитационных волн в атмосфере, генерируемых в сейсмически активных зонах.

Основу способа составляют следующие положения.

В соответствии с современными представлениями, одним из основных свойств атмосферы Земли является присутствие на всех ее высотных уровнях ансамбля внутренних гравитационных волн (далее ВГВ), распространяющихся из тропосферы в вышележащие слои атмосферы.

Установлено, что в системе литосфера-атмосфера в сейсмически активных регионах существуют благоприятные возможности для преимущественной генерации ВГВ, которые, в рамках синергетического подхода, можно рассматривать в качестве механизма литосферно-атмосферных связей. При сейсмогравитационных колебаниях в фазе сжатия у поверхности Земли могут возникать вариации температуры вследствие выброса в атмосферу литосферных газов. Это явление наблюдалось при метеорологических измерениях в Средней Азии за несколько часов (иногда суток) перед рядом сильных землетрясений. Спутниковые наблюдения за поверхностью Земли в сейсмоопасных регионах также фиксируют локальное увеличение температуры в районе эпицентра сильных землетрясений (Липеровский В.А., Похотелов О.А., Шалимов С.Л. Ионосферные предвестники землетрясений. М., 1992) за несколько дней до главного толчка. И на стадии подготовки землетрясения в таких регионах сами волны могут генерироваться преимущественно в результате выхода литосферных газов в приземную атмосферу (см., например, Гохберг М.Б., Шалимов С.Л. Литосферно-ионосферная связь и ее моделирование//Российский журнал наук о Земле. Том 2, № 2, с. 95-108, Апрель 2000).

Именно дегазация верхних слоев мантии Земли в виде восходящего под большим давлением потока газов: водорода, гелия, метана, радона, сопровождаемая накачкой земной коры дополнительной энергией, является, в первую очередь, причиной землетрясений. А накачка любой системы дополнительной

энергией приводит к возникновению колебательного процесса, в данном случае сверхнизкочастотных (10^{-3} Гц) литосферных волн, распространяющихся от очага подготавливаемого землетрясения (см., например. Научное открытие № 365 "Явление раскочки очага землетрясения перед сейсмическим ударом", Бюллетень, Научные открытия, 2009 г., Р.А.Е.Н, М. - Санкт-Петербург, стр. 66-68).

Необходимым признаком наличия "волнообразных" вариаций температуры по результатам наблюдений как индуцированной волны является выполнение приближенного соотношения для минимальной амплитуды вариаций температуры, которые еще удовлетворяют критерию волновых проявлений при фиксированных значениях погрешностей δT , δh и величин λ_z , L (Губенко В.Н., Павслев А.Г., и др. Методика определения параметров внутренней гравитационной волны по измерению вертикального профиля температуры или плотности в атмосфере Земли. Космические исследования, 2012, том 50, № 1, с. 23-34):

$$\min |T'| = \delta T / \left[\frac{L}{\lambda_z} - (\delta h / \lambda_z)^2 \right]^{1/2}$$

где δT - статистическая погрешность (стандартное отклонение) температуры,

δh - вертикальное разрешение температурных данных,

$T'(h)$ - малые синусоидальные температурные возмущения вертикальной длины волны λ_z .

В атмосфере расширение воздуха и связанное с ним падение давления и температуры происходят обычно при восходящем движении воздуха, например, в виде восходящих токов конвекции. Благоприятные условия для развития восходящих движений воздуха, главным образом термической конвекции, наблюдаются в неустойчивой воздушной массе. Среднее значение вертикального температурного градиента в такой среде чаще всего не превосходит сухоадиабатический градиент температуры $\gamma < \gamma_a = 0.98^\circ/100$ м (Матвеев Л. Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. - Л.: Гидрометеиздат, 1984 - 751 с, Хргиан А.Х. Физика атмосферы. - Л.: Гидрометеиздат, 1969, с. 646).

Отсюда следует, что индуцированная волна должна получать свое развитие как ВГВ в неустойчивой воздушной массе при наличии следующего необходимого признака: градиент температуры в интервале высот обнаружения волны не должен превышать сухоадиабатический градиент ($\gamma < \gamma_a$). Именно конвективные неустойчивости, возникающие в нижней и средней атмосфере при процессах, происходящих в литосфере, выступают в качестве основного источника генерации ВГВ в сейсмически активных районах (см., например, Fritts, D.C., Gravity wave saturation in the middle atmosphere: A review of theory and observations Rev. Geophys. Space Phys.. 22, 275-308. 1984 и Fritts, D.C., and P. K. Rastogi. Convective and dynamical instabilities due to gravity motions in the lower and middle atmosphere: Theory and observations, Radio Sci.. 20(6), 1247-1277, 1985).

Наблюдаемые вариации температуры (или плотности) в нижней стратосфере могут быть связаны с гравитационными волнами, когда экспериментальное значение пороговой относительной амплитуды a_e , определяемая как амплитуда волны, необходимая для неустойчивости, подчиняется соотношению $1 > a_e > 0$ (см., например, Vladimir N. Gubenko, Alexander G. Pavelyev and Vitali E. Andreev. Determination of the intrinsic frequency and other wave parameters from a single vertical temperature or density profile measurement//Journal of Geophysical Research, Vol. 1 13, D08109, doi: 10.1029/2007JD008920, 2008, Marquardt, C, and S. B. Healy. Measurement noise and stratospheric gravity wave characteristics obtained from GPS occultation data, J. Meteorol. Soc. Jpn, 83(3), 417-428, 2005), то есть если значение a_e удовлетворяет этому условию, то можно предположить, что наблюдаемые колебания связаны с волной. В противном случае, когда $a_e > 1$, наблюдаемые флуктуации могут быть связаны, например, с турбулентностью" (Marquardt, C., and S. B. Healy. Measurement noise and stratospheric gravity wave characteristics obtained from GPS occultation data. J. Meteorol. Soc. Jpn.. 83(3). 417-428, 2005).

Отметим, что критерий $1 > a_e > 0$ необходим для идентификации ВГВ из наблюдений, но этого не достаточно, поскольку наблюдаемые возмущения могут возникнуть в результате других процессов, кроме гравитационных волн.

При рассмотрении активности гравитационной волны в средней атмосфере было установлено (например, Fritts, D.C., and M. J. Alexander. Gravity wave dynamics and effects in the middle atmosphere. Rev. Geophys., 41(1), 164, 1003, doi:10.1029/2001RG000106, 2003), что волны с вертикальными длинами волн более 10 км связаны с глубоким конвективным нагревом. Этот признак принят нами в качестве достаточного признака (условия) наличия ВГВ, источниками генерации которых являются сейсмически активные районы.

Таким образом, выявленные "волнообразные" вариации температуры по результатам наблюдений в атмосфере можно успешно идентифицировать как ВГВ из сейсмически активных районов, если будут удовлетворены следующие существенные признаки процесса.

1) градиент температуры в интервале высот обнаружения волны не должен превышать сухоадиабатический;

2) значения пороговой относительной амплитуды должны подчиняться соотношению $1 > a_e > 0$;

3) вертикальные длины волн должны быть более 10 км.

Заявляемый способ реализуется следующим образом.

При исследовании волновых структур в нижней и средней атмосфере могут быть использованы различные методы зондирования, например, измерения с помощью радаров, лидаров, ракет, радиозондов, и др. В своих исследованиях авторы заявки использовали данные зондирования температуры (плотности) с помощью спутников.

На первом этапе ведется поиск "волнообразных" вариаций температуры. Для этого на вертикальное распределение температуры (плотности) над пунктом наблюдения накладывается кубический сплайн, то есть проводится кубическое сглаживание распределения температуры с применением метода наименьших квадратов (фиг. 2а, 4а). Получаем сглаживающий сплайн, проходящий достаточно близко к контрольным точкам, каковыми в случае спутниковых данных температуры являются геопотенциальные высоты. Рассчитывается распределение вариаций температуры (фиг. 2б, 4б). Далее проводится проверка наличия волны по необходимому условию выполнения соотношения для минимальной амплитуды вариаций температуры. Если условие выполняется, то переходим к следующему этапу - идентификации обнаруженной волны как ВГВ, генерируемых в сейсмоактивных зонах. Необходимым условием существования ВГВ является наличие среды (ВМ), в которой наблюдаются благоприятные условия для развития восходящих движений воздуха. Для этого рассчитываем градиент температуры в интервале высот обнаружения волны. При выполнении необходимого признака $\gamma < \gamma_a$ делаем вывод о том, что волна является ВГВ.

Для проверки необходимого и достаточного признаков того, что обнаруженная волна есть ВГВ, генерируемая в сейсмоактивной зоне, проводим расчеты пороговой относительной амплитуды a_c и вертикальной длины волны λ_z .

Для определения длины волны, а также высот обнаружения волны применяем непрерывное комплексное вейвлет-преобразование к вертикальному распределению нормированных температурных вариаций (см. фиг. 3 и 5).

Если полученные величины a_c и λ_z подчиняются критериям $1 > a_c > 0$ и $\lambda_z > 10$ км, а значение $\gamma < \gamma_a$, то делаем вывод о том, что обнаруженная волна есть ВГВ, генерируемая в сейсмоактивных зонах.

Изобретение иллюстрируется следующими графическими материалами. Во всех случаях использованы спутниковые извлечения температурных профилей в 06:00 UTC над лидарной станцией Теплоключенка, расположенной в юго-восточной части высокогорного озера Иссык-Куль.

На рисунке 1 приведен пример наблюдения ВГВ за 1 день до землетрясения в Туркмении 04 февраля 1997 г. в 10:37:47 по UTC на глубине 10 км, $M=6.5$. На рисунке слева направо показаны температурный профиль, полученный по данным спутникового зондирования атмосферы, высотные профили нормированных температурных вариаций и частоты Brunt-Vaisala в квадрате N^2 .

Зеленая пунктирная линия на фиг. 1а представляет средний температурный профиль, определенный подбором кривой кубического многочлена (сплайна). Кривая частоты Brunt-Vaisala в квадрате N^2 на фиг. 1с представляет также средний ее профиль. Рассчитанные для данного случая значения признаков, характеризующих наличие волны как ВГВ, генерируемой в сейсмоактивном регионе, следующие: $\min |dT|=1.53$ К, $N^2=4.6 \times 10^{-4}$ (rad/s)², $a_c=0.15$, $\gamma_L=0.11^\circ/100$ м.

Фиг. 2 показывает результат применения непрерывного вейвлет-преобразования (НВП) для нахождения длины волны и высоты ее обнаружения за 1 день до землетрясения в Туркмении 04 февраля 1997 г. Результат - $L=h_b-h_n=43.6-29.2=14.4$ (км), $\lambda_z=13.2$ км.

Таким образом, обнаруженная волна из температурного профиля, полученного по спутниковым данным 04 февраля 1997 г., согласно необходимым и достаточным признакам существования есть ВГВ, генерируемая в сейсмоактивном регионе.

Фиг. 3 демонстрирует пример наблюдения ВГВ за 4 дня до землетрясения в Киргизии 08 ноября 1990 г. в 12:28:51 по UTC на глубине 19.1 км, $M=6.4$. Слева направо: высотный профиль температуры (фиг. 3а), нормированные температурные вариации (фиг. 3б) и частота Brunt-Vaisala в квадрате N^2 (фиг. 3с).

Значения признаков, характеризующих наличие волны как ВГВ, генерируемой в сейсмоактивном регионе, следующие: $\min |dT|=0.91$ К, $N^2=5.0 \times 10^{-4}$ (rad/s)², $a_c=0.19$, $\gamma_L=0.20^\circ/100$ м.

На фиг. 4 представлен результат применения НВП для нахождения длины волны и высоты ее обнаружения за 4 дня до землетрясения в Киргизии 08 ноября 1990 г. Результат - $L=h_b-h_n=37.6-25.8=11.8$ (км), $\lambda_z=10.5$ км.

Выявленные "волнообразные" вариации температуры как индуцированной волны из температурного профиля, полученного по спутниковым данным 08 ноября 1990 г. за 4 дня до землетрясения (фиг. 3а), согласно необходимым и достаточным признакам существования, есть ВГВ, генерируемая в сейсмоактивном регионе.

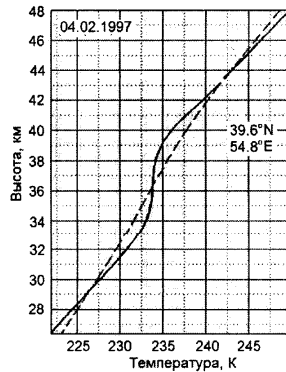
В качестве дополнительной иллюстрации на фиг. 5 и 6 приведены распределения величины пороговой относительной амплитуды a_c за 10 дней до и 5 дней после землетрясений в Узбекистане (фиг. 5) и в Киргизии (фиг. 6). На фигуре стрелками указаны время землетрясений.

На фиг. 7-10 приведены величины длин волн ВГВ, рассчитанные с помощью непрерывного вейвлет-преобразования. Фиг. 7 относится к случаю землетрясения в Узбекистане 26 мая 2013 г. в 06:08:15.9

UTC на глубине 18 км с $M=5.7$ в 19 км NNE от Булунгура с координатами 39.956°N ; 67.314°E . Фиг. 8 - к землетрясению в Киргизии 08 января 2007 г. в $17:21:49.9$ UTC с координатами 39.803°N ; 70.312°E на глубине 16 км с $M=6$. Фиг. 9 демонстрирует расчет длины волны за три дня до землетрясения в Казахстане 28 января 2013 г. в 60 км SE от Кегеня с координатами 42.605°N ; 79.708°E на глубине 15 км с $M=6.1$, а фиг. 10 - длину волны при землетрясении в Киргизии 12 января 2015 г. в $08:30:56$ UTC в 23 км SSE от п. Чаек с координатами 41.730°N ; 74.605°E .

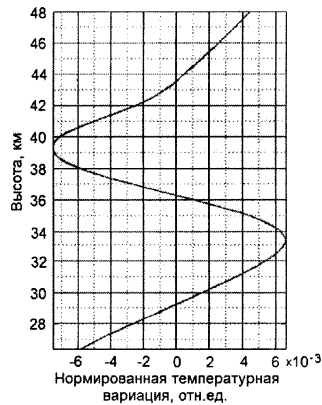
ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Способ идентификации внутренних гравитационных волн в атмосфере, генерируемых в сейсмоактивных зонах, как предвестников землетрясений, заключающийся в дистанционном зондировании температуры атмосферы над пунктом наблюдения и выявлении "волнообразных" вариаций температуры как индуцированной волны из температурного профиля, отличающийся тем, что для удовлетворения необходимого условия существования волны рассчитывают градиент температуры в интервале высот обнаружения индуцированной волны, который не должен превышать сухоадиабатический градиент ($\gamma < \gamma_a$), причем для идентификации связи наблюдаемых вариаций температуры (или плотности) с ВГВ рассчитывают экспериментальное значение пороговой относительной амплитуды a_e , как амплитуды волны, необходимой для неустойчивости, которое должно подчиняться соотношению $1 > a = a_e > 0$, при этом для проверки достаточного признака наличия ВГВ, источниками генерации которых являются сейсмически активные районы, рассчитывают вертикальную длину волны, которая должна быть более 10 км.



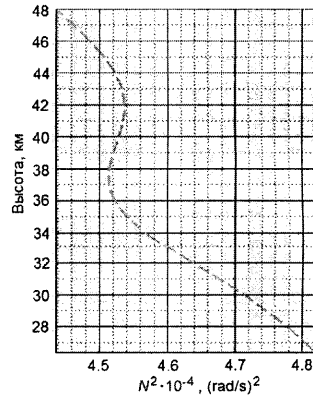
Фиг. 1а

Туркмения, 04.02.1997

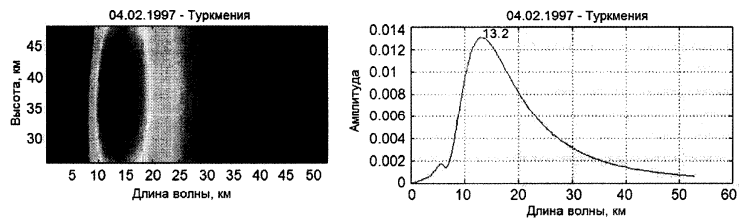


Фиг. 1б

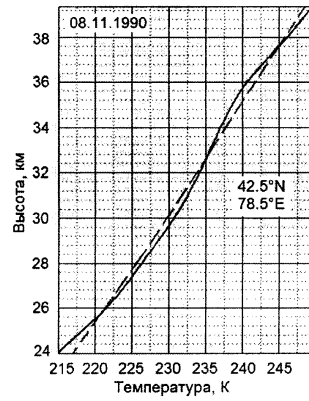
Туркмения, 04.02.1997



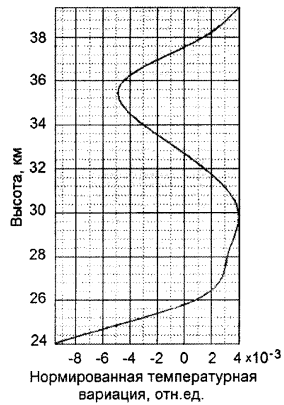
Фиг. 1с
Туркмения, 04.02.1997



Фиг. 2
Туркмения, 04.02.1997

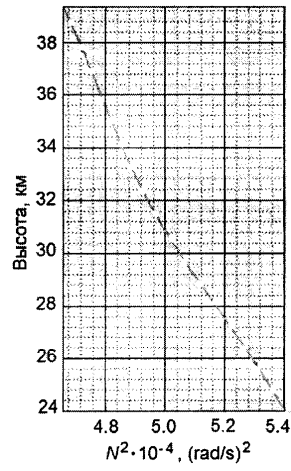


Фиг. 3а
Киргизия, 08.11.1990

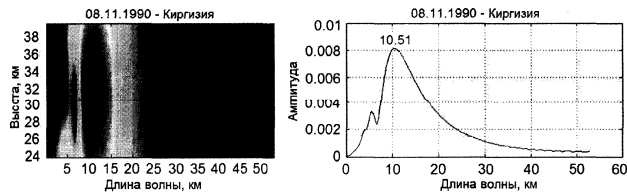


Фиг. 3б. Киргизия, 08.11.1990

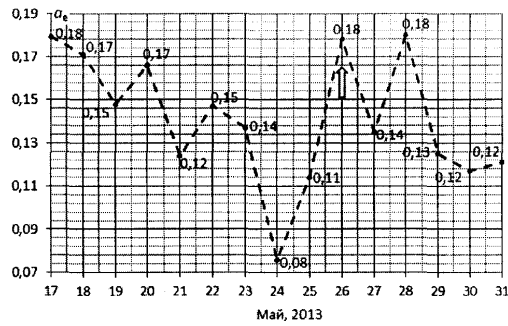
045667



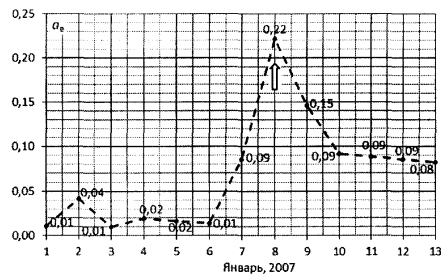
Фиг. 3с
Киргизия, 08.11.1990



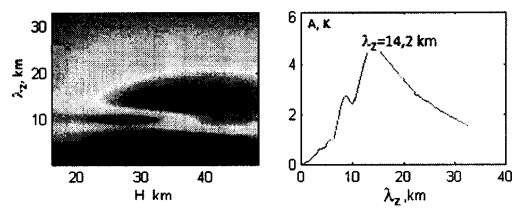
Фиг. 4
Киргизия, 08.11.1990



Фиг. 5
Узбекистан, 26 мая 2013 г. в 06:08:15.9 UTC

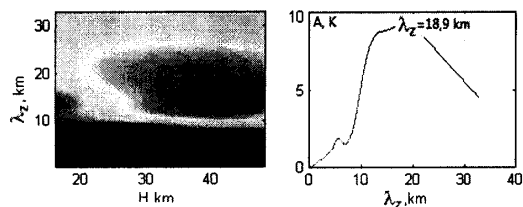


Фиг. 6
Киргизия, 08 января 2007 г. в 17:21:49.9 UTC



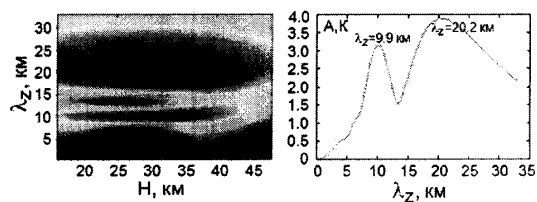
Фиг. 7

Узбекистан, Булунгур, 26 мая 2013 г.



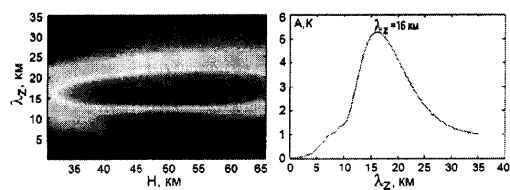
Фиг. 8

Киргизия, 08 января 2007г.



Фиг. 9

Казахстан, Кегень, 25 января 2013 г.



Фиг. 10

Киргизия, Чаек, 12 июля 2015 г.



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2