

УДК 528.854:(550.814+550.83):553.98

В. І. Лялько, А. І. Воробйов, В. І. Шульга

ДУ «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України», Київ

Можливості короткострокового прогнозу землетрусів на основі супутникового моніторингу лінійних аномалій хмарності

Надійшла до редакції 31.01.08

На основі попередніх робіт з довгострокового прогнозу землетрусів встановлено, що у наш час відбувається міграція області сейсмічної активності з Північного Кавказу у бік південних регіонів України, і в першу чергу Керченського і Кримського півостровів. Через 10—15 років у цих районах України очікується значне підвищення сейсмічної активності. Про це свідчить і підвищення частоти землетрусів, які відбуваються поблизу південних районів України (Північний Кавказ). Тому дослідження з проблеми прогнозу землетрусів є актуальним для України. У статті на основі аналізу супутникових зображень сенсора MODIS, зареєстрованих перед Анапським (відбувся 9 листопада 2002 р.) і Терсько-Сунженським (відбувся 12 жовтня 2006 р.) землетрусів обґрунтовується можливість короткострокового прогнозу землетрусів магнітудою 4-5 і більше балів (за шкалою Ріхтера) на основі супутникового моніторингу лінійних аномалій хмарності.

Південні області України, включаючи Одеську, Херсонську, Донецьку, а також Крим, перебувають у сейсмічно небезпечних регіонах Землі. Про можливість землетрусів у Кримському і Керченському півостровах свідчать катастрофічний Понтикапейський землетрус, який відбувся у 63 році нашої ери у східній частині Керченського півострова, а також Ялтинський землетрус (магнітуда близько 7 за шкалою Ріхтера), який відбувся у 1927 р. [5]. Геодинамічний стан геологічного середовища Кримсько-Чорноморського регіону залежить від сучасних тектонічних процесів, які відбуваються не тільки у межах цього району, а і на границях сусідніх з Західно-Чорноморською і Східно-Чорноморською тектонічними мікроплитами плит-інденторів, які чинять тиск на них з півдня (Аравійська плита) і з заходу (Панонська плита) та Східно-Європейською платформою. Проявами змін геодинамічного стану геологічного середовища Землі є землетруси, які відбуваються в районах зіткнення тектонічних плит (див. рис. Г на кольоровій вклейці).

Видно, що південні регіони України знаходяться поблизу областей високої сейсмічної активності. Це і регіон Малої Азії, у якій відбулись катастрофічні землетруси (одне з них відбулось у місті Ізміт 17 серпня 1999 р. з магнітудою 7.6 балів за шкалою Ріхтера), і регіон Північного Кавказу, де досить часто мають місце землетруси з магнітудами 4-5 балів (за шкалою Ріхтера) [5]. Про можливість сейсмічної небезпеки у Кримсько-Чорноморському регіоні свідчать і результати досліджень В. І. Уломова та його колег з Інституту фізики Землі РАН [5]. На основі довгострокового прогнозу ці вчені прийшли до висновку, що зараз відбувається міграція області сейсмічної активності з Північного Кавказу у бік південних регіонів України, і в першу чергу Керченського і Кримського півостровів. Через 10—15 років тут очікується значне підвищення сейсмічної активності [5]. Тому дослідження з проблеми прогнозу землетрусів є актуальними для України.

У Науковому центрі аерокосмічних досліджень Землі виконуються дослідження з оцінки

можливостей довгострокового і короткострокового методів прогнозу землетрусів. Для довгострокового прогнозу використовується метод просторово-часового аналізу даних сейсмічних каталогів. Цей метод дозволяє визначати напрямки і швидкості міграції областей підвищення сейсмічної активізації в залежності від часу. Від похибок у визначенні напрямку і швидкості міграції залежить точність прогнозу місця і часу прояву катастрофічних землетрусів. Для вирішення задачі короткострокового прогнозу використовуються супутникові методи.

Результати досліджень атмосферних, гідрогеологічних та інших процесів на земній поверхні свідчать про те, що перед землетрусами спостерігаються підвищення температури води, ґрунтів і повітря на великих площах, а також концентрації газів у приземному шарі атмосфери, різкі зміни погоди, бурі та грози, падіння атмосферного тиску, електромагнітні явища у атмосфері, лінійні аномалії хмарності [4]. Значні можливості для моніторингових спостережень цих явищ мають космічні методи. Встановлення зв'язків між процесами у літосфері і атмосфері до і після землетрусів взагалі становить важливу задачу, яка може вирішуватись з використанням космічних методів спостережень атмосфери і поверхні Землі.

З точки зору використання космічного моніторингу для прогнозу землетрусів перспективним є використання методу аналізу лінійних аномалій хмарності (ЛАХ), який запропонований у роботах [2, 3]. Цей метод використовує ефект впливу активізації сейсмічності у регіоні на утворення аномалій хмарності у атмосфері (до висоти тропосфери близько 16 км) над розломами у земній корі. За даними космічних зйомок у роботах [2, 3] показано, що лінійні аномалії хмарності над розломами спостерігались за кілька діб — кілька годин перед землетрусом.

Високе статистичне підтвердження зв'язку між лінійними аномаліями хмарності і катастрофічними землетрусами, а також те, що аномалії передують цим подіям, свідчить про можливість використання космічних методів для прогнозу землетрусів [2, 4]. Малий період обертання супутника NOAA (всього 5 год) дозволяє реалізувати завчасне попередження про очікуваний землетрус.

На основі багаторічних досліджень [2] встановлено існування тісних зв'язків між літосферою і атмосферою, які проявляються у розкритті розломних зон під час тектонічних напруг перед землетрусами і виході геофлюїдів із глибинних шарів Землі у атмосферу. Глибинні флюїди підіймаються у атмосфері на значну висоту і впливають на хмарність. Одним з ефектів цього впливу є утворення розривів у хмарності (каньйонів за термінологією Л. І. Морозової), які можуть виявлятися за космічними зображеннями.

Можливості супутникових методів з точки зору покриття зйомками значних територій Землі дозволяють проводити моніторинг лінійних аномалій хмарності і використовувати їх для прогнозу землетрусів [1—3]. Утворення над тектонічними розломами лінійних аномалій хмарності (ЛАХ) у вигляді гряд хмарності, різких лінійних границь полів хмарності та вузьких безхмарних зон розмивання (каньйонів) у областях хмарності протяжністю в сотні кілометрів становить значний інтерес для прогнозу землетрусів.

Поява лінійних аномалій хмарності за період часу з кількох діб до кількох годин дозволяє використовувати їх у якості критерію короткострокового прогнозу землетрусів. Розмивання хмар над розломами — найчастіше спостерігається над суходолом і морем до верхніх рівнів тропосфери. У більшості випадків поява ЛАХ протягом перших діб є короткостроковим передвісником землетрусів. Л. І. Морозова вважає [2], що причиною появи ЛАХ є електромагнітне випромінювання Землі, на користь якого свідчать наявність ЛАХ під час несейсмічного періоду і їхній максимум перед землетрусом, імпульсний характер збурювання атмосфери, прояви ЛАХ на відстанях від десятків до тисяч кілометрів від епіцентрів та поява їх перед землетрусом від кількох годин до кількох діб. При дослідженнях можливостей використання ЛАХ для прогнозу землетрусів у Кримсько-Чорноморському регіоні і Кавказі використовувались зображення супутника MODIS.

Полігоном для досліджень було взято регіон Північного Кавказу. 12 жовтня 2006 р. (285-й день 2006 р.) у Терсько-Сунженському районі (близько 50 км на північ від м. Грозного) відбувся землетрус з магнітудою 4.5 і глибиною

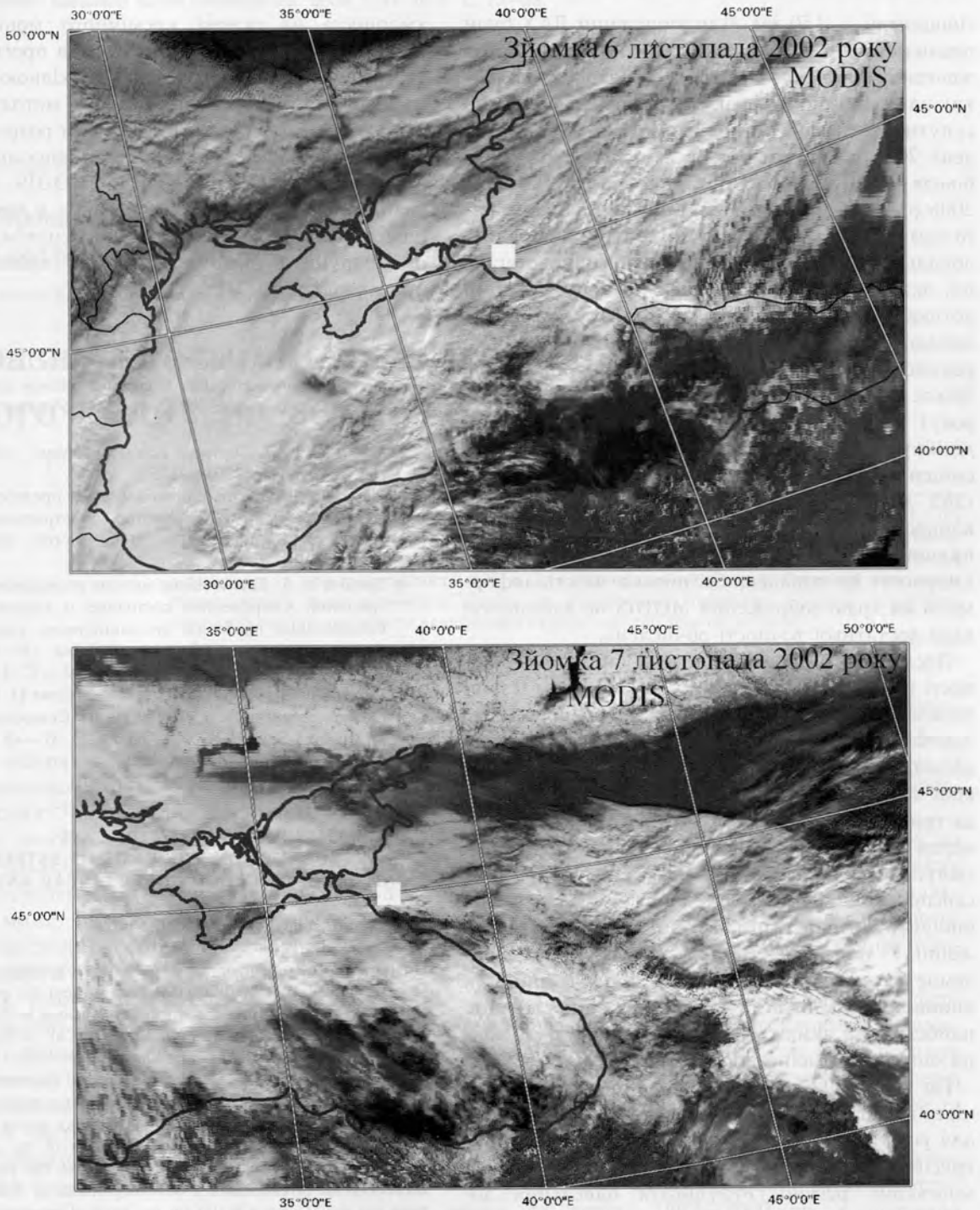


Рис. 1. Супутникові зображення сенсора MODIS, зареєстровані перед Анапським землетрусом, який відбувся 9 листопада 2002 року. Положення епіцентру показано квадратиком

Рис. 1. Супутникові зображення сенсора MODIS, зареєстровані перед Анапським землетрусом, який відбувся 9 листопада 2002 року. Положення епіцентру показано квадратиком

гіпоцентру — 150 км. Для виявлення ЛАХ були проаналізовані зображення супутника MODIS за жовтень 2006 року. На рис. Д (кольорова вклейка) наведено шість фрагментів зображень цього супутника за шість днів зйомок (з 279 по 284 день 2006 р.). Їхній аналіз свідчить про досить швидку зміну хмарності. Видно, що у 280 день 2006 р. — за п'ять днів до Терсько-Сунженського землетрусу — в районі епіцентру утворилась локальна хмара субмеридіонального простягання, яка на час зйомок у своїй південній частині дотикалась до епіцентру землетрусу. Ми вважаємо, що ця локальна хмара утворилась за рахунок прориву геофлюїдів із глибинних шарів Землі. За чотири дні до землетрусу (у 281 день року) на космічних зображеннях зареєстровано лінійну хмарність, яка спрямована на місце епіцентру землетрусу. За два дні до землетрусу (283 день року) зареєстровано вузькі лінійні каньйони (смуги відсутності хмарності). Спроба вивчення спектральних характеристик цієї хмарності не вдалась, бо низька якість інформації на краю зображення MODIS не забезпечувала достатньої точності обчислень.

Дослідження проявів лінійних аномалій хмарності проведено також перед землетрусом 9 листопада 2002 р. (313 день року) в районі міста Анапа (Росія) з магнітудою 5.7. Для виявлення аномалій хмарності були використані супутникові зображення сенсора MODIS, зареєстровані за три (310 день року) і два дні (311 день року) перед землетрусом. На рис. 1 наведено два географічно прив'язаних фрагменти зображень сенсора MODIS, на які винесено положення епіцентру Анапського землетрусу. На зображенні 7 листопада 2002 р. (за дві доби перед землетрусом) спостерігаються кілька лінійних аномалій розмивання хмарності, простягання найбільшої з яких спрямоване у місце положення епіцентру Анапського землетрусу.

На сьогоднішній день виконано значну кількість досліджень, які можуть слугувати основою для розробки методики прогнозу за ЛАХ землетрусів, які спостерігаються в Кримсько-Чорноморському регіоні. Результати наведених досліджень підтверджують результати попередників про утворення лінійних аномалій хмарності перед землетрусами. На основі цього можна зробити висновок, що метод виявлення аномалій

хмарності на основі космічного моніторингу Землі може використовуватись для прогнозу катастрофічних землетрусів. Необхідною інформацією для використання цього методу є матеріали зйомок із високим часовим розрізненням (малим періодом обертання космічних апаратів), наприклад супутників NOAA і MODIS, а також знання тектонічної будови регіону, в тому числі положення глибинних розломів і систем розривних порушень різного рангу (за глибинністю і протяжністю).

1. Лялько В. І., Воробйов А. І., Шульга В. І. Особливості використання матеріалів космічних зйомок для прогнозування землетрусів // Доп. НАН України.—2005.—№ 9.—С. 107—113.
2. Морозова Л. И. Спутниковый мониторинг. — Владивосток: Дальнаука, 2005.—136 с.
3. Морозова Л. И. Опыт использования предвестников на спутниковых снимках в анализе землетрясений. Альбом спутниковых съемок. — Владивосток: Дальнаука, 2007.—132 с.
4. Тронин А. А. Космические методы исследования землетрясений. Современное состояние и перспективы // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Сб. докл., Москва, 10—12 ноября 2003 г. — М.: Полиграф сервис, 2003.—С. 33—38.
5. Уломов В. И., Данилова Т. И., Медведева Н. С. и др. К оценке сейсмической опасности на Северном Кавказе // Физика Земли.—2007.—№ 7.—С. 31—45.

CAPABILITIES OF A SHORT FORECAST OF EARTHQUAKES ON THE BASIS OF SATELLITE MONITORING OF CLOUD COVER LINEAR ANOMALIES

V. I. Lyalko, A. I. Vorobiev, V. I. Shulga

On the basis of precursor activities on a long-range forecasting of earthquakes, it is established that at present the migration of seismic activity area from the Northern Caucasus in the direction of southern regions of Ukraine, and first of all in the direction of Kerch and Crimean peninsulas. Within 10—15 years a considerable increase of seismic activity is expected in these regions. An increase of incidence of earthquakes nearby southern regions of Ukraine (the Northern Caucasus) points to this as well. Therefore, researches on the problem of the earthquake forecast are actual for Ukraine. We confirm the possibility of short forecast of earthquakes with magnitudes of 4-5 and more balls (on the Richter's scale) on the basis of satellite monitoring of linear anomalies of cloud cover. This conclusion was made from the analysis of the satellite sensor MODIS images registered before Anapskiy (9 November 2002) and Tersko-Sungenskiy (12 October 2006) earthquakes.