



<https://doi.org/10.36023/ujrs.2022.9.3.217>

УДК 528.8:550.34(504.06)

## Перспективи розробки методів короткострокового прогнозу сильних землетрусів на основі супутникового моніторингу аномалій хмарності

А. І. Воробйов\*, В. І. Лялько

ДУ “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України”, вул. Олеся Гончара, 55-Б, Київ, 01054, Україна

Прогнозування землетрусів різної інтенсивності і надалі залишається актуальним завданням, яке ще не розв’язане. Використання різноманітних методів прогнозування землетрусів дає змогу більш об’єктивно і надійно їх аналізувати і попереджати. Досить успішно можна використовувати методи короткострокового прогнозу сильних землетрусів на основі супутникового моніторингу аномалій хмарності. За результатами проведених досліджень з використанням супутникових методів встановлено, що перед сильними землетрусами над зонами глибинних розломів Землі спостерігаються лінійні аномалії хмарності, які можуть бути використані для короткострокового прогнозу землетрусів. У результаті аналізу лінійних аномалій хмарності зроблено висновок про можливість регіонального короткострокового прогнозу сильних і катастрофічних землетрусів з оцінкою можливої магнітуди і приблизного положення майбутнього землетрусу. Достовірність прогнозу залежить від тектонічної будови регіону і умов у атмосфері. Важливою є можливість прогнозування магнітуди майбутнього землетрусу за довжиною аномалії хмарності, що має дуже важливе значення для прогнозу рівня сейсмічної небезпеки у найближчі дні.

**Ключові слова:** вогнище землетрусу, лінійні аномалії хмарності, космічні знімки, сенсор MODIS, супутник NOAA

© А. І. Воробйов, В. І. Лялько. 2022

### Вступ

Для забезпечення сталого розвитку суспільства важливою є розробка ефективних методів прогнозу сильних і катастрофічних землетрусів (ЗТР), тому що втрати людства від них іноді були дуже значними (Соболев Г. А., 1993). Землетруси пов’язані з активізацією тектонічних процесів у сейсмічно активних регіонах Землі. Перед сильними і катастрофічними землетрусами спостерігаються прояви тектонічних процесів у вигляді відносних рухів, тертя і стискання у сусідніх блоках земної кори і деформацій, які проявляються на різних глибинах, зокрема і на поверхні Землі і в атмосфері в області над вогнищем землетрусу. Прояви цих фізичних процесів можна виявляти за допомогою різних методів і зокрема супутникового знімання.

Проведеними дослідженнями (Морозова Л. И., 2005) встановлено, що перед сильними ЗТР над зонами глибинних розломів Землі спостерігаються лінійні аномалії хмарності (ЛАХ), які можуть бути використані для короткострокового прогнозу землетрусів. Найбільш ефективним методом вивчення аномалій хмарності є використання супутникових методів.

Для більш детального вивчення ЛАХ перед катастрофічними ЗТР у цій роботі використовувались матеріали знімань сенсором MODIS, який встановлено

на супутниках NASA AQUA і TERRA, що покривають зніманням одну й ту саму ділянку Землі два рази на добу. Супутникові зображення, зареєстровані сенсором MODIS, зчитувались із сайтів USGS (Геологічної служби США) – NASA.

У цій роботі наведені результати вивчення ЛАХ, які спостерігались перед сильними і катастрофічними землетрусами і були виявлені за матеріалами супутникових знімань сенсора MODIS (USGS, USA) у сейсмоактивних регіонах – Апенінський півострів, Мала Азія (Туреччина), Японія. Аналізувались супутникові знімки, які реєструвались щодня протягом декількох тижнів (до одного місяця) перед відомими катастрофічними ЗТР, параметри яких зчитувались із сейсмологічного каталогу NEIC USGS National Earthquake Information Center (США).

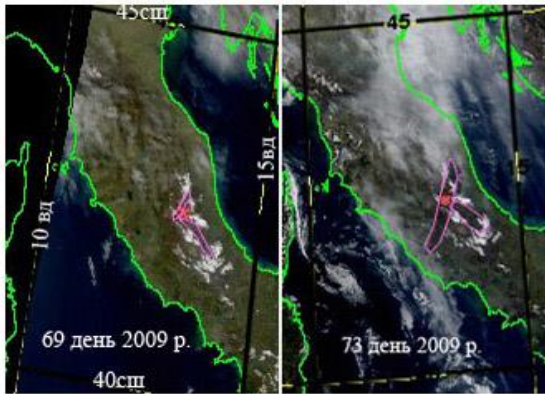
При дешифруванні супутникових знімків використовувалась інформація про геологічну, тектонічну будову, зокрема положення глибинних розломів у регіонах, які досліджувались.

У результаті аналізу ЛАХ зроблено висновок про можливість регіонального короткострокового прогнозу сильних і катастрофічних землетрусів з оцінкою можливої магнітуди і приблизного положення майбутнього ЗТР. Достовірність прогнозу залежить від тектонічної будови регіону та умов у атмосфері. Важливим є можливість прогнозу магнітуди майбутнього землетрусу за довжиною аномалії хмарності.

\*E-mail: vorobiovanatolii46@gmail.com

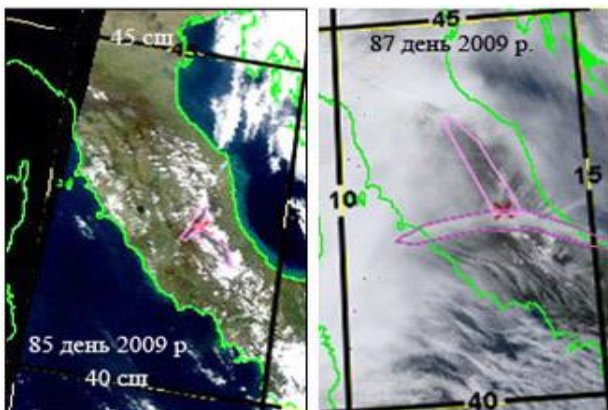
**Аналіз аномалій хмарності перед катастрофічним землетрусом 6 квітня 2009 року в Італії, Л'Аква (Aquila)**

Катастрофічний землетрус, що відбувся в районі міста Л'Аква 6 квітня 2009 року, мав магнітуду 6.3 бала (глибина гіпоцентра – 8 км). Координати епіцентру цього ЗТР були такі: 42°.33' північної широти і 13°.33' східної довготи. На Рис. 1 наведено два фрагменти космічних знімків (КЗ) сенсора MODIS, зареєстрованих відповідно у 69-й (10 березня) і 73-й (14 березня) дні 2009 року, тобто за 27 і 23 доби перед катастрофічним ЗТР. На обох зображеннях хрестом показано положення епіцентру цього ЗТР.



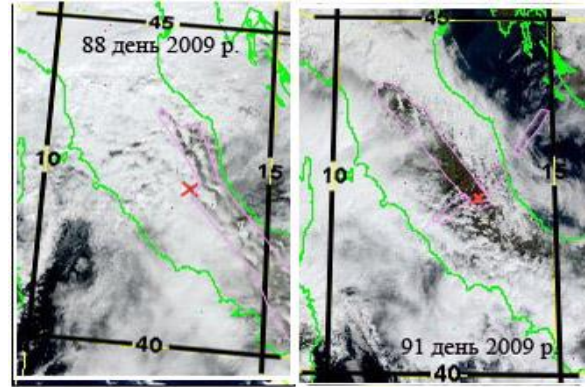
**Рис. 1.** Аномалії хмарності, зареєстровані сенсором MODIS у 69-й і 73-й дні (за 27 і 23 доби перед катастрофічним ЗТР 6 квітня 2009 року у місті Л'Аква (Aquila) в Італії (зеленим кольором позначено берегову лінію)

З Рис. 1 видно, що в районі епіцентру майбутнього ЗТР за 27 і 23 доби спостерігались ЛАХ у вигляді каньйонів (зникнення хмарності) і розбита каньйонами хмарність (білого кольору). У день за 27 діб до ЗТР над місцем епіцентру майбутнього ЗТР спостерігались дві відносно вузькі ЛАХ (типу каньйонів), а також звичайна хмарність (білого кольору). У день за 23 доби до ЗТР спостерігалась зміна форми обох ЛАХ – вони збільшились за шириною і площею. На Рис. 2 наведено два фрагменти КЗ, зареєстрованих за 11 і 9 діб до цього ЗТР.



**Рис. 2.** Аномалії хмарності, зареєстровані сенсором MODIS за 11 і 9 діб до ЗТР (зеленим кольором позначено берегову лінію)

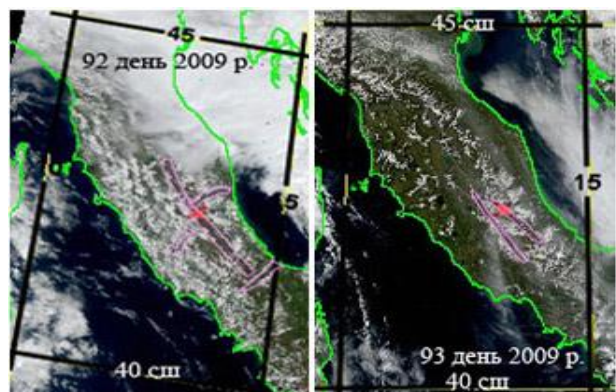
З Рис. 2 видно, що на 85-й день 2009 року (за 11 діб перед ЗТР) над епіцентром майбутнього ЗТР спостерігались дві вузькі лінійні аномалії (типу каньйон), які перетинались між собою. На 87-й день значно підвищився рівень загальної хмарності в Італії і на цьому фоні ЛАХ над епіцентром майбутнього ЗТР стали більш широкими. При цьому змінилось положення ЛАХ, яка перетинала лінію субмеридіональної ЛАХ. На Рис. 3 наведені зображення, зареєстровані за 8 і 5 діб перед ЗТР.



**Рис. 3.** Аномалії хмарності, зареєстровані за 8 і 5 діб перед ЗТР (зеленим кольором позначено берегову лінію)

У лівій частині Рис. 3 на космічному знімку, зареєстрованому на 88-й день 2009 року за 8 діб перед головним поштовхом на фоні високого рівня хмарності простежується вузька слабо виражена ЛАХ, яка проходить над епіцентром майбутнього ЗТР. Крім того, на схід від нього спостерігається криволінійна за формою і подібна до лінійної аномалія хмарності. У правій частині Рис. 3 на космічному знімку, зареєстрованому на 91-й день 2009 року (за 5 діб перед ЗТР), спостерігається субмеридіональна ЛАХ типу каньйон, а також слабо виражена ЛАХ, яка її перетинає. Важливо, що перетинання цих ЛАХ спостерігається над епіцентром майбутнього ЗТР.

На Рис. 4 наведено супутникові зображення, зареєстровані на 92-й день 2009 року (за 4 доби перед ЗТР), які вказують на дуже складне поле хмарності і перетинан ЛАХ над епіцентром майбутнього ЗТР.



**Рис. 4.** Супутникові аномалії хмарності, зареєстровані на 92-й і 93-й дні 2009 року (за 4 і 3 доби перед катастрофічним ЗТР) (зеленим кольором позначено берегову лінію)

Це свідчить про те, що в цей період часу в південній частині Апеннінського півострова відбувались активні тектонічні процеси. На 93-й день 2009 року (за 3 доби перед ЗТР) у районі епіцентру майбутнього ЗТР спостерігалась ще одна ЛАХ.

На Рис. 5, подано супутникові зображення ЛАХ, зареєстровані за одну добу перед ЗТР (95-й день 2009 року) і в день ЗТР (96-й день 2009 року). Довжина цієї аномалії хмарності дорівнювала 202 км.

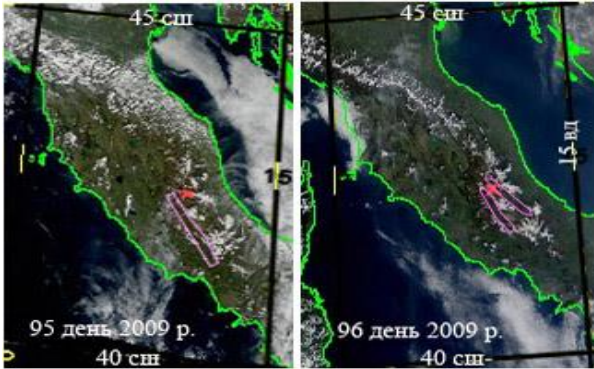


Рис. 5. Аномалії хмарності, зареєстровані за одну добу до ЗТР і в день катастрофічного ЗТР (зеленим кольором позначено берегову лінію)

З Рис. 5 видно, що характер хмарності протягом місяця змінювався, але аномалії хмарності спостерігались тривалий час (протягом не менше 27 діб) в одному й тому самому районі. Таким чином, аналіз матеріалів супутникових зніманих Апеннінського півострова свідчить про те, що перед катастрофічним землетрусом 6 квітня 2009 року в Італії у різній формі весь місяць спостерігались ЛАХ, що підтверджує можливість їх використання для прогнозу землетрусів. Аналіз аномалій хмарності перед катастрофічним землетрусом свідчить про те, що вони пов'язані з тектонічними процесами, які відбуваються в регіоні і можуть бути використані для прогнозу землетрусів.

### Аномалії хмарності перед катастрофічним землетрусом 11 березня 2011 року в Японії

11 березня 2011 року в районі берегів Японії відбувся катастрофічний землетрус магнітудою близько 8.9 бала за шкалою Ріхтера. З метою вивчення аномалій хмарності перед цим ЗТР були використані матеріали зніманих сенсором MODIS, які були зареєстровані перед цим.

У процесі побудови карт сейсмічності як підложка була використана тектонічна карта Японії і прилеглих акваторій Японського моря та Тихого океану. На Рис. 6 наведено фрагменти супутникових зображень, зареєстровані сенсором MODIS відповідно 5 і 6 березня перед катастрофічним землетрусом 11 березня 2011 року. На цих зображеннях чітко простежуються аномалії хмарності. На Рис. 6, а вперше зареєстрована картина ряду лінійних аномалій хмарності, які спрямовані на узбережжя Японії, що має важливе значення для вивчення моделі формування вогнища катастрофічного ЗТР.

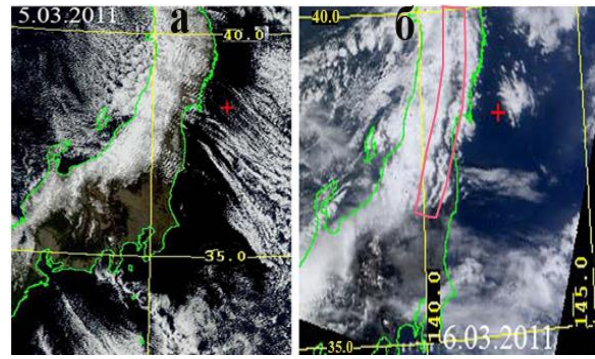


Рис. 6. Аномалії хмарності, зареєстровані сенсором MODIS 5 і 6 березня 2011 року (зеленим кольором позначено берегову лінію)

На Рис. 6, а показано супутникове зображення, зареєстроване за 6 діб, а на Рис. 6, б – за 5 діб перед землетрусом 11 березня 2011 року. На Рис. 6, а вперше за період вивчення сейсмогенних аномалій хмарності зареєстрована серія аномалій хмарності, які спрямовані під значним кутом до тектонічної плити, в яку входить і Японія.

На Рис. 6, б хрестом червоного кольору показано положення епіцентру катастрофічного землетрусу. Контуром червоного кольору показана смуга навколо аномалії хмарності, виходячи з того, що довжина одного градуса по широті становить близько 111 км, розмір аномалії хмарності у градусах становить близько 3, що відповідає 333 км. Відома формула для оцінювання довжини розриву  $L$  за магнітудою  $M$  має такий вигляд (Соболев Г. А., 1993):

$$\lg L = 0.6M - 2.5.$$

З цієї формули можна отримати формулу для прогнозу магнітуди землетрусу за довжиною розриву, яка оцінюється за довжиною аномалії хмарності:

$$M = (\lg L + 2.5) / 0.6.$$

Після підстановки значення 333 км отримаємо прогнозне значення для магнітуди майбутнього землетрусу:

$$M = (2.52 + 2.5) / 0.6 = 8.37.$$

Зважаючи на те, що магнітуда катастрофічного ЗТР 11 березня 2011 року дорівнювала 8.9 бала за шкалою Ріхтера, а обчислена величина магнітуди за довжиною аномалії хмарності дорівнює 8.37, похибка у прогнозі магнітуди ЗТР становить приблизно 6 %.

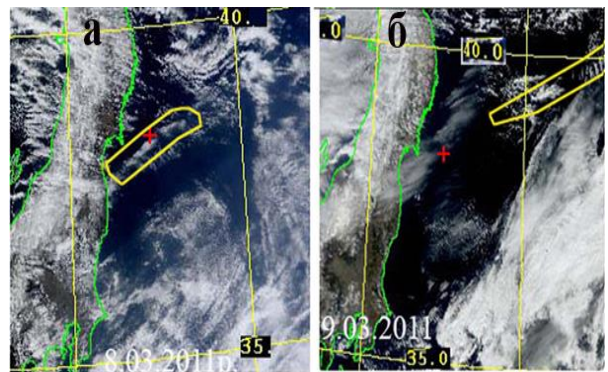


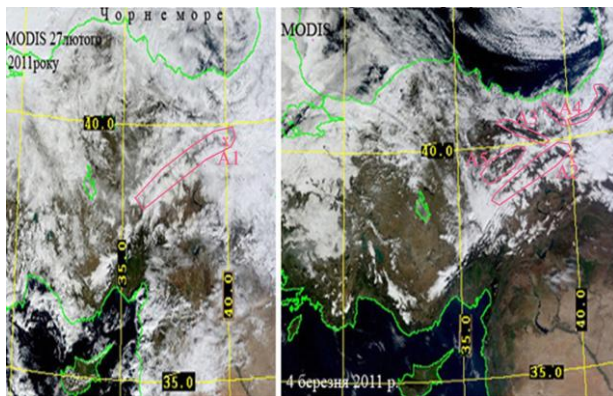
Рис. 7. Аномалії хмарності, зареєстровані сенсором MODIS 8 і 9 березня 2011 року (за 3 і 2 доби перед ЗТР) (зеленим кольором позначено берегову лінію)

З Рис. 7, а видно, що за 3 доби над місцем майбутнього землетрусу була зареєстрована лінійна аномалія хмарності іншого характеру – біла лінійна хмара, середня частина якої знаходилась над місцем епіцентру землетрусу 11 березня 2011 року.

Таким чином, довжина аномалії хмарності перед катастрофічним землетрусом дає змогу прогнозувати магнітуду, що має дуже важливе значення для прогнозу рівня сейсмічної небезпеки в найближчі дні (в зазначеному випадку за 6 діб).

### **Лінійна аномалія хмарності перед катастрофічним землетрусом 8 березня 2011 року в Туреччині**

На Рис. 8 – супутникові зображення, зареєстровані сенсором MODIS, прояви лінійних аномалій хмарності, які спостерігались перед сильним землетрусом 8 березня 2011 року в Туреччині. Хрестом червоного кольору показано положення епіцентру ЗТР.



ЛАХ, зареєстрована 27 лютого 2011 року за 11 діб перед ЗТР

ЛАХ, зареєстрована 4 березня 2011 року за 4 доби перед ЗТР

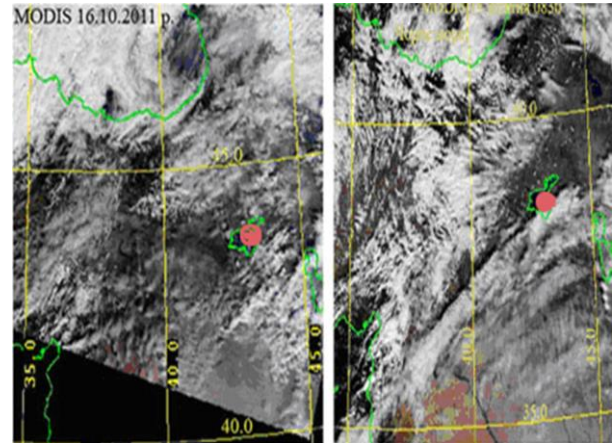
**Рис. 8.** Прояви лінійних аномалій хмарності перед сильним землетрусом 8 березня 2011 року в Туреччині (зеленим кольором позначено берегову лінію)

### **Лінійна аномалія хмарності перед катастрофічним землетрусом 23 жовтня 2011 року в районі озера Ван (Туреччина)**

Руйнівний землетрус у південно-східній турецькій провінції Ван магнітудою 7.2, відбувся 23 жовтня 2011 року о 13 год. 41 хв. за місцевим часом за 16 км на північний схід від озера Ван (Рис. 9). Координати епіцентру ЗТР становили: широта – 38.628° п. ш., довгота – 43.486° сх. д. Гіпоцентр цього землетрусу знаходився на глибині 20 км. Через 7 хвилин після основного підземного поштовху відбувся перший афтершок цього землетрусу магнітудою 4,9 за 26 км на північний захід від району озера Ван, гіпоцентр якого знаходився на глибині 20 км. Другий афтершок відбувся через 11 хвилин після основного землетрусу магнітудою 4.8 за 33 км на північний захід від озера Ван на глибині 7 км. Найпотужніший афтершок цього землетрусу магнітудою 6.0 відбувся 24 жовтня 2011 року о 20:45 (по UTC). Загальна кількість афтершоків становила близько 300. Всього 970 будинків були зруйновані, включаючи близько 80

багатоповерхових у районі міста Еркіз і дещо менше у Вані. Всього було зруйновано 2262 будови.

Нижче, на Рис. 9, наведено два фрагменти супутникових зображень ЛАХ, на яких показано положення епіцентру землетрусу, який відбувся в районі озера Ван 23 жовтня 2011 року. Перше зображення зареєстровано 16 жовтня 2011 року (за 7 діб перед ЗТР), а друге – 18 жовтня 2011 року (за 5 діб перед ЗТР).



Знімання 16 жовтня 2011 р., за 7 діб перед ЗТР

Знімання 18 жовтня 2011 р., за 5 діб перед ЗТР

**Рис. 9.** Лінійні аномалії хмарності, зареєстровані супутниковим сенсором MODIS перед катастрофічним землетрусом 23 жовтня 2011 року в південно-східній частині Туреччини (в районі озера Ван). Червоним кругом показано положення епіцентру цього ЗТР, зеленим кольором позначено берегову лінію

У лівій частині Рис. 9 наведено фрагмент знімка, зареєстрованого 16 жовтня, за 7 діб перед ЗТР, на південний схід від озера Ван. Спостерігається ряд відносно коротких аномалій, а на фрагменті знімка від 18 жовтня, за 5 діб перед землетрусом, спостерігається одна чітка лінійна аномалія значної довжини, яка закінчується близько до епіцентру майбутнього катастрофічного землетрусу. Важливо також, що до місця епіцентру ЗТР тяжіє і група ЛАХ на південному заході від цього епіцентру.

### **Різниця в часі між появою сейсмогенної хмарності і ЗТР**

Землетрус 26 грудня 2003 року в районі провінції Ван (Китай) – затримка між появою хмар і ЗТР становила 60 днів. За результатами досліджень у Малій Азії (Морозова Л. И., 2011, Морозова Л. И., 2012) ця затримка становила від 1 до 7 діб. Прояви аномалії хмарності перед ЗТР у районі озера Ван почали спостерігатись за 10 діб, але тільки за 5 діб утворилась чітка протяжна аномалія.

На думку авторів, різниця в часі між утворенням аномалій хмарності і сильним ЗТР залежить від тектонічної будови регіону. Супутниковий моніторинг хмарності за період близько місяця дає змогу більш достовірно виявити аномалії хмарності і прогнозувати за ними землетрус (Vorobiev A. I. et al, 2012, Воробійов А. І. та ін., 2016). Але при цьому важливо встановити ту аномалію, яка передує ЗТР,

а не очікувати наступну, яка буде пов'язана з катастрофічним землетрусом.

### Частота покриття зніманнями

Метеорологічні супутники Terra і Aqua (із сенсором MODIS) дають змогу отримувати до двох знімків за добу. Група космічних апаратів серії супутників NOAA може реєструвати за добу до 4 супутникових зображень хмарності. Для більш точного виявлення часу ЛАХ можна використовувати апарати супутника NOAA і сенсор MODIS.

Вимоги до просторового розрізнення супутникових зображень.

Очевидно, що чим вище просторове розрізнення (і менше розмір піксела на зображенні), тим вище буде точність визначення напрямків простягання, а значить і положення вогнища землетрусу. Однак супутники, які мають високе просторове розрізнення, покривають зніманнями малі площі, а також мають високу вартість. Тому оптимальним є використання супутників із просторовим розрізненням не більше 100–200 м. Використання матеріалів супутникових знімків середнього просторового розрізнення типу Landsat (їх розрізнення становить 30 м) ускладнюється тим, що повторні знімання території цим супутником відбуваються через 16 діб.

Причини пропусків і можливі помилки прогнозу ЗТР за аномаліями хмарності.

Завдання малих вікон по площі або за часом може призводити до пропусків у реєстрації сейсмогенних хмар. Тому для того щоб задавати достатньо великі “вікна”, можна використовувати результати ретроспективного аналізу сейсмологічних даних. Близьке розташування аномалій хмарності може призводити до помилок у прогнозі ЗТР. Можливий варіант, коли за довжиною аномалії хмарності прогнозується один сильний ЗТР, а насправді відбувається декілька близько розташованих ЗТР з меншою магнітудою.

### Висновки

Утворення аномалій хмарності перед сильними ЗТР ( $\geq 5$  балів за шкалою Ріхтера) базується на тому ефекті, що вогнище землетрусу – це розрив суцільності порід стінок глибинного розлому під дією відносного зсуву сусідніх тектонічних плит. Нові спостереження ЛАХ перед ЗТР, які відбулись останніми роками, свідчать про те, що аномалії хмарності можуть спостерігатись і перед землетрусами з магнітудами 3–4 бали за шкалою Ріхтера.

Прямі виміри зсуву вздовж “берегів” сейсмогенних розривів свідчать про те, що вогнищами ЗТР є розриви зсувного типу, а нормальна складова зсуву “берегів” дуже мала. Накопичена енергія вивільнюється в результаті непружної деформації.

Результати вивчення аномалій хмарності, які спостерігаються над глибинними розломами, свідчать про можливість використання супутникового моніторингу для короткострокового прогнозу ЗТР, який можна здійснювати не за однією аномалією хмарності, а за їх реєстрацією впродовж певного часу (від одного до трьох тижнів).

Важливим результатом аналізу ЛАХ за матеріалами супутникового моніторингу хмарності є можливість прогнозу магнітуди сильних ЗТР, яка обчислюється за довжиною ЛАХ. Важливо також, що сейсмогенна природа ЛАХ встановлюється на основі спостереження її протягом певного часу (кілька тижнів). Місце перетину кількох ЛАХ може бути використано для прогнозу місця майбутнього ЗТР.

Для більш детального аналізу ЛАХ необхідно використовувати матеріали знімків супутниками з більш високим часовим розрізненням, щоб проводити супутниковий моніторинг декілька разів на добу (наприклад, можна використовувати групу космічних апаратів супутника NOAA). З огляду на отримані результати, автори вважають доцільним продовжити дослідження в цьому напрямі.

### Література

- Соболев, Г. А. (1993). *Основы прогноза землетрясений*. Москва : Наука.
- Морозова, Л. И. (2005). *Спутниковый мониторинг*. Владивосток : Дальнаука.
- Морозова, Л. И. (2011). Облачные предвестники землетрясения в Турции 23 октября 2011 года. *Наука и технологические разработки*, Т. 90, № 4, 38–48.
- Морозова, Л. И. (2012). Проявление геодинамической активности земной коры в облачных полях 23.10.2011 г. *Геология и геофизика*, Т. 53, № 4, 541–550.
- Vorobiev, A. I., Lyalko, V. I., Podorvan, V. N., Shulga V. I. (2012). Assessment of the magnitude for the large earthquakes using the anomaly cloudiness parameters from satellite images. *Book of abstracts of the European Seismological Commission, 19–24 August*. Moscow, Russia, 196–197.
- Воробійов, А. І., Лялько, В. І., Мельниченко, Т. А., Подорван, В. М. (2016). Прояви аномалій хмарності на супутникових зображеннях перед сильними землетрусами. *Український журнал дистанційного зондування Землі*, 10, 21–25. URL: <https://ujrs.org.ua/ujrs/article/view/85>.

### References

- Sobolev, G. A. (1993). *Osnovy prognoza zemletryasenyi*. Moscow : Nauka.
- Morozova, L. I. (2005). *Sputnikovy monitoring*. Vladivostok : Dalnauka.
- Morozova, L. I. (2011). Oblachnye predvestniki zemletryaseniya v Turtsii 23 oktyabrya 2011 goda. *Nauka i tekhnologicheskie razrabotki*. V. 90, 4, 38–48.
- Morozova, L. I. (2012). Proyavlenie geodinamicheskoy aktivnosti zemnoy kory v oblachnykh polyakh 23.10.2011. *Geologiya i geofizika*, V. 53, 4, 541–550.
- Vorobiev, A. I., Lyalko, V. I., Podorvan, V. N., Shulga V. I. (2012). Assessment of the magnitude for the large earthquakes using the anomaly cloudiness parameters from satellite images. *Book of abstracts of the European Seismological Commission, 19–24 August*. Moscow, Russia, 196–197.
- Vorobiov, A. I., Lyalko, V. I., Melnychenko, T. A., Podorvan V. M. (2016) Displays of clouds anomalies on the satellite images before strong earthquakes. *Ukrainian Journal of Remote Sensing*, 10, 21–25. URL: <https://ujrs.org.ua/ujrs/article/view/85>.

PROSPECTS FOR DEVELOPING METHODS FOR SHORT-TERM FORECASTING OF STRONG EARTHQUAKES BASED ON SATELLITE MONITORING OF CLOUDINESS ANOMALIES

A. I. Vorobiev, V. I. Lyalko

*State Institution Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth of IGS of NAS of Ukraine, 55-B, O. Gonchar st., Kyiv 01054, Ukraine*

Forecasting earthquakes of various intensities will continue to be an urgent task that has yet to be resolved. The use of various forecasting methods makes it possible to conduct analysis and warnings more objectively and reliably. Methods of short-term prediction of strong earthquakes based on satellite monitoring of cloudiness anomalies can be used with some success. Based on the research results, it was established that before strong earthquakes, linear cloudiness anomalies are observed over the Earth's deep fault zones, which can be used for short-term earthquake forecasting. The most effective method of studying cloudiness anomalies is the use of satellite methods. As a result of the analysis of linear cloudiness anomalies, a conclusion was made about the possibility of a regional short-term forecast of strong and catastrophic earthquakes with an assessment of the possible magnitude and approximate position of the future earthquake. The reliability of the forecast depends on the tectonic structure of the region and atmospheric conditions. It is important to be able to forecast the magnitude of the future earthquake based on the length of the cloudiness anomaly. It was established that the length of the cloudiness anomaly before a catastrophic earthquake allows one to predict the magnitude, which is very important for forecasting the level of seismic danger in the coming days.

**Keywords:** earthquake hearth, linear cloudiness anomalies, satellite images, MODIS sensor, NOAA satellite.

*Рукопис статті отримано 09.09.2022*