

УДК 528.88:(551.4:621.039.75)(477.41+521.16)

Аналіз впливу рельєфу на поверхневий перерозподіл радіонуклідів територій, що зазнали радіаційного забруднення (на прикладі зон відчуження атомних електростанцій Чорнобиль і Фукусіма-1)

Н. В. Пазинич, В. Є. Філіпович *

ДУ "Науковий Центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України", Київ, Україна

За методикою морфодинамічного аналізу рельєфу, відпрацьованої в зоні відчуження Чорнобильської атомної станції, на основі цифрових моделей рельєфу (ЦМР) проведено дослідження у зоні радіаційного забруднення станції Фукусіма-1. Доведено, що рельєф є визначальним фактором формування радіаційного "сліду" для гірських місцевостей. В результаті досліджень на еталонних ділянках встановлена можливість визначення за даними ЦМР конкретних територій потенційно схильних до самоочищення та самозабруднення поверхневими денудаційними процесами та можливість прогнозування змін меж ареалів радіаційного "сліду".

Ключові слова: Чорнобильська АЕС, АЕС Фукусіма-1, цифрова модель рельєфу, морфодинамічний аналіз рельєфу, динаміка перерозподілу радіонуклідів, каркасні елементи рельєфу, латеральні масопереміщення

© Н. В. Пазинич, В. Є. Філіпович. 2014

Аварії атомних електростанцій відносяться до найзначніших техногенних катастроф які спіткали людство в останні десятиріччя. Після Чорнобильської катастрофи зона відчуження перетворилась на наймасштабнішу лабораторію вивчення наслідків радіаційного забруднення, де працювали фахівці різних країн та різних наукових напрямів. Одним з напрямів досліджень науковців було дослідження особливостей і закономірностей руху радіонуклідів у природних середовищах до яких відносились біосфера, атмосфера, ґрунти, поверхневі, ґрунтові та підземні води, тощо [1–3].

Згідно класичних, дочорнобильських, уявлень сполуки цезію мали міцно сорбуватися верхнім шаром ґрунту. Натомість дослідженнями у зоні відчуження Чорнобильської атомної електростанції (ЧАЕС) повторними вимірами точок концентрації цезію у верхньому 5-ти см шарі ґрунту на протязі п'яти років виявлено, що у 10% точок забруднення було жорстко закріплено і залишилось без змін, на 65% точок спостерігалось зменшення вмісту нуклідів у ґрунті, а 25% точок вимірювання характеризувалися різким підвищення активності ґрунтів, причому при відсутності надходження цезію від джерела забруднення.

Ці дослідження встановили, що поверхнєве забруднення ґрунтів є змінною величиною. Існують ділянки де в результаті дефляції та площинного змиву відбуваються процеси виносу радіонуклідів з частками ґрунту, а також має місце накопичення сполук цезію на механічних та геохімічних бар'єрах [4].

Потрапивши в ландшафтну сферу продукти радіаційного забруднення починають переміщення у відповідності до законів руху речовини у природ-

ному середовищі. Одним з напрямів досліджень, які відпрацьовувались в зоні відчуження ЧАЕС був морфодинамічний аналіз рельєфу як площини, що контролює латеральну складову речовинно-динамічного потоку. За методикою, розробленою О. М. Ласточкіним, земна поверхня розбивалася окремими лініями на грані. Лінії визначають ділянки розділу і концентрації латеральних потоків та їх напрями [5]. На основі топографічних матеріалів і матеріалів дистанційного зондування Землі (МДЗЗ), на той час, головним чином, аерофотознімків території 10-ти кілометрової зони відчуження ЧАЕС укладались картографічні моделі на яких визначалось спрямування переміщень, ділянки виносу транзиту та депонування забруднення. Особлива увага приділялась визначенню ділянок механічних бар'єрів де радіонукліди могли накопичувати із наступним переходом у інше природне середовище, наприклад — ґрунтові води. До найбільш поширених механічних бар'єрів відносяться увігнуті перегини рельєфу (тилові шви терас, підніжжя схилів, тощо). Фрагмент карти каркасних елементів рельєфу подано на рисунку 1.

На рисунку зображено ділянку південніше ЧАЕС. Каркасна структура рельєфу представлена кільовими лініями, що з'єднують точки мінімальних екстремумів Земної поверхні, в межах цих ліній відбувається концентрація латеральних потоків. В геоморфологічному плані кільові лінії відповідають руслам балок, ярів, безрусловим улоговинам лінійно витягнутим низинам, тощо. Лінії гребеневі з'єднують точки максимальних екстремумів і відповідають вододілам звідки починається винос речовини. Траси потенційних низхідних речовинних потоків визначають напрями площинного змиву. Також у відповідності до методики О. М. Ласточкі-

* e-mail: mfilin@casre.kiev.ua

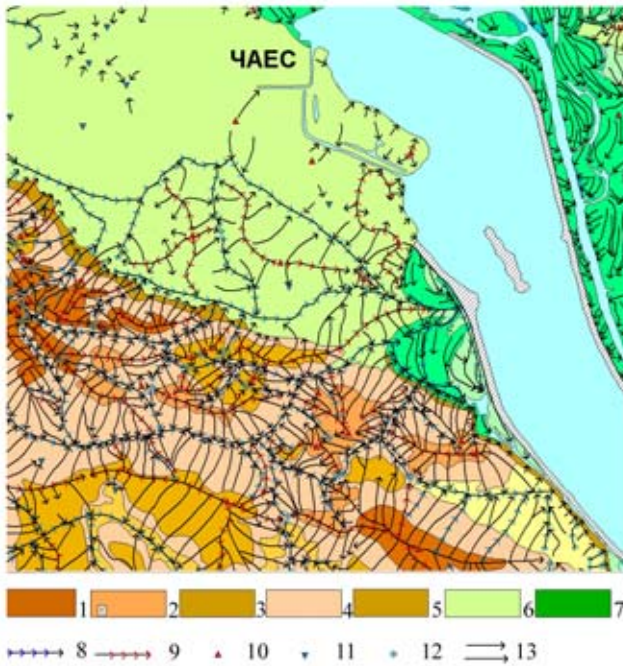


Рис. 1. Фрагмент карти каркасних елементів рельєфу і ландшафтних ярусів 10-ти км зони відчуження ЧАЕС
Ландшафтні яруси: 1 — елювіально-вододільний (високий), 2 — елювіально-вододільний (середній), 3 — елювіально-вододільний (низький), 4 — транселювіальний (схилувий), 5 — транселювіальний-слабогідроморфний, 6 — елювіально-гідроморфний, 7 — гідроморфний
Каркасні елементи ландшафту: 8 — кільові лінії, 9 — гребеневі лінії; характерні точки: 10 — витоку, 11 — стоку, 12 — проміжні, 13 — траси низхідних речовинних потоків

на мало місце виділення точок “витоку” що займали панівне положення звідки відбувається винос речовини і точок “стоку” де винесена речовина накопичується. В геоморфологічному відношенні перші точки відповідають горбам, а другі — безвідпливним западинам. Крім ліній виділено окремі яруси рельєфу; елювіальні займають найвищі гіпсометричні положення і відносяться до ділянок виносу, транселювіальні яруси є зонами транзиту речовини, а гідроморфні субгоризонтальні заплавно-терасові рівні є зонами з обмеженою латеральною міграцією, або її повною відсутністю. На особливу увагу заслуговують підніжжя схилів ярусів рельєфу, або перегини рельєфу, що є механічними бар’єрами де відбувається злам латеральних потоків, втрата швидкості і накопичення матеріалів транспортування.

Друге попередження про величезну потенціальну загрозу, яку несуть у собі атомні електростанції, сталося 11 березня 2011 року в Японії. Первинною причиною аварії на АЕС Фукусіма-1, на відміну від ЧАЕС, стали природні фактори. В результаті викидів в атмосферу радіонуклідів та наступного забруднення земної поверхні була визначена зона відчуження. Для регіонального дослідження особливостей випадіння радіаційної часток на Земну поверхню були використані цифрові моделі рельєфу (ЦМР) з метою виявлення ролі впливу рельєфу на процес осідання радіонуклідів. Для роботи були викорис-

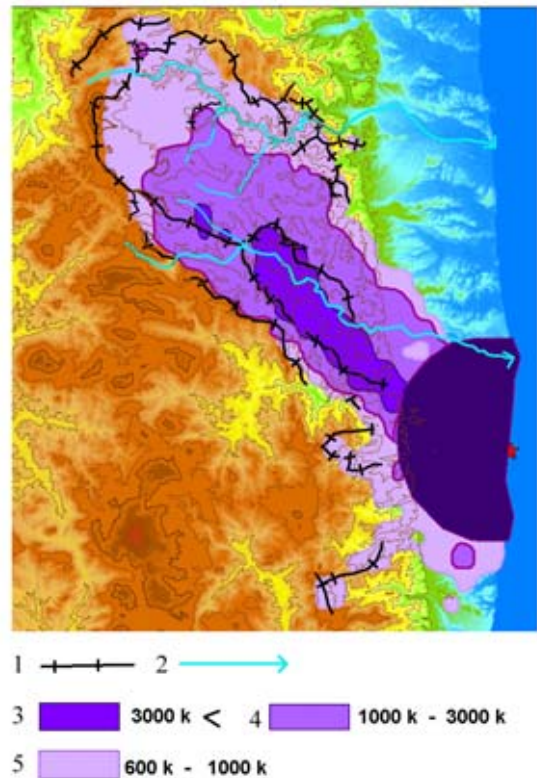


Рис. 2. Розповсюдження ареалу радіаційного забруднення відносно вододільних гірських хребтів в районі АЕС “Фукусіма”
1 — вододіли, 2 — гідромережа, 3–5 — ареали радіаційного фону Cs-137 (Bq/m^2)

тані наступні дані: готові ЦМР, одержані за матеріалами радіолокаційної космічної зйомки SRTM [6], і дані про радіаційне забруднення, отримані з відкритих джерел уряду Японії [7–8]. Результати дослідження представлені на рисунку 2.

Атомна електростанція Фукусіма-1 розташована на Тихоокеанському узбережжі, де абсолютні відмітки поверхні становлять в середньому 10 м. Повітряними масами, продукти радіаційних викидів, були переміщені у північно-західному напрямку у бік гірських масивів і сформували локалізований “слід” радіаційного забруднення. Межі “сліду” контролюються гірськими хребтами, висота яких сягає 800 м. Гірські хребти відіграли роль механічного бар’єру, який зумовив зменшення швидкості повітряних мас і осідання речовин, що містилися у повітряному потоці. Подані дані з рисунку 2 свідчать, що на територіях зі значними відносними перевищуваннями, рельєф має визначальну роль у формуванні ареалів радіаційного забруднення. Подальша доля міграції радіонуклідів після осідання на поверхню має відбуватись за законами руху речовини у ландшафтному середовищі.

Зіставлення природних умов зон відчуження АЕС Фукусіма-1 і Чорнобиль свідчить про те, що екзогенні процеси і пов’язані з ними латеральні переміщення мають бути значно інтенсивнішим в районі Фукусіма-1 ніж у Чорнобилі. Середньорічна кількість опадів, причому іноді дуже рясних,

у префектурі Фукусіма становить 1 000–1 200 мм/рік, а в районі Чорнобиля не перевищує 750 мм/рік. Відносні перевищення поверхні у зоні відчуження Фукусіми сягає 800 м, а в Чорнобилі не більше 50–55 м. Саме такі природні дані зумовлюють інтенсивність денудаційних процесів у зоні відчуження АЕС Фукусіма-1 і відповідно підвищену швидкість перерозподілу радіонуклідів по Земній поверхні у порівнянні з Чорнобильською зоною.

Наступним кроком на основі ЦМР була побудова каркасної структури рельєфу зони відчуження з виділенням характерних ліній і точок, що визначають локалізацію і спрямування латеральних речовинних потоків на вивчені яких базується морфодинамічний аналіз. Метою детального дослідження рельєфу в межах ділянок досліджень було проведення аналізу і прогнозування перерозподілу речовини, в тому числі і радіонуклідів латеральними потоками локалізація яких і інтенсивність контролюється рельєфом (рис. 3).

На рисунку 3 зображено обрані ділянки детальних досліджень у зоні відчуження АЕС Фукусіма-1. Перша знаходиться у зоні де проживання жителям заборонено, а друга у зоні примусової евакуації населення. Основою дослідження цих ділянок було створення картографічних моделей на основі ЦМР. Для цього були сформовані контури – аналоги горизонталей, задані з кроком 10 та 20 м. Проведений в межах цих двох еталонних ділянок морфологічний аналіз рельєфу полягав у розчленуванні рельєфу на окремі грані шляхом трасування ліній через точки мінімальних і максимальних екстремумів Земної поверхні – кильові і гребеневі. Аналіз пластики рельєфу дозволив виділити увігнуті перегини рельєфу, що являються механічними бар'єрами, в межах яких латеральні потоки втрачають швидкість і речовина, що ними переміщується затримується і накопичується. На особливу увагу заслуговують характерні точки зносу у яких накопичується переміщений з вищих ділянок матеріал. Природною особливістю ландшафтів є схильність до самоочищення. Відносна інтенсивність латеральної міграції у межах, ярусів рельєфу дає можливість оцінити перспективи змін первинного забруднення радіонуклідами в результаті латеральної міграції.

Метою аналізу другої ділянки детальних досліджень було прогнозування змін меж ареалів забруднення в результаті латерального переміщення і наступного “розповзання” поверхневого забруднення. Межі зони евакуації були проведені по вододільних лініях які затримали розповсюдження атморадіаційної міграції. Проте подальші ерозійно-денудаційні процеси мають спрямувати забрудненні поверхневі маси ґрунту, літочастинок корінних порід та мортмас до понижених ділянок рельєфу, що спричинить

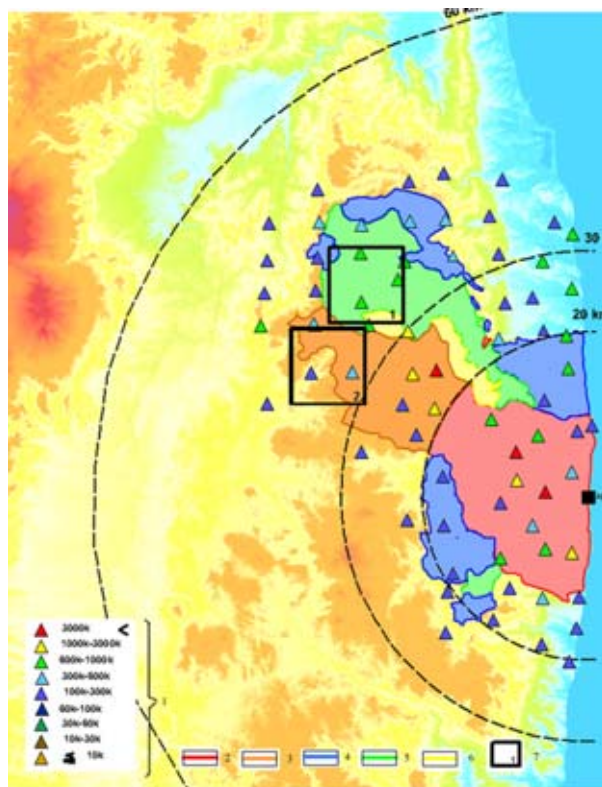


Рис. 3. Місцезоположення детальних ділянок досліджень в районі АЕС “Фукусіма”

1 – радіаційні дози цезію 137 на ґрунті на 1 вересня 2012 року, концентрація цезію-137 (Bq/m^2); статус територій 2 – заборонена зона, 3 – території примусової евакуації населення, 4 – території, на які евакуаційні замовлення готові бути зняті, 5 – області, у яких мешканцям не дозволено жити, 6 – площі де очікується, що мешканці матимуть труднощі з поверненням протягом тривалого часу, 7 – ділянки досліджень

“розповзання” радіаційного забруднення. Таким чином з часом територія, що зараз вважається цілком безпечною може отримати інший еколого-небезпечний статус.

Висновки

Поряд з іншими природними факторами рельєф відповідає за розповсюдження та подальше переміщення радіонуклідів у природному середовищі. МДДЗ, зокрема ЦМР дають можливість у повному обсязі досліджувати морфодинамічні властивості рельєфу. Каркасна структура рельєфу визначає особливості і закономірності латеральних масо-переміщень. Ландшафтне районування на основі аналізу пластики рельєфу уможливило виділення ділянок, схильних до природного самоочищення та вторинного самозабруднення. Детальний аналіз морфодинамічних особливостей рельєфу має використовуватись для прогнозування змін меж ареалів радіаційного забруднення, що відбуваються внаслідок діяльності природних процесів. Подальші дослідження варто спрямувати на кількісне моделювання прогнозування можливих змін радіаційного забруднення зон відчуження за допомогою морфодинамічного аналізу територій на основі обробки часових серій радіаційних вимірювань.

Література

1. Лялько В. И. Комплексование многозональных космических снимков различного пространственного разрешения для повышения эффективности исследований лесных массивов (на примере зоны отчуждения ЧАЭС и районов Сибири) / В. И. Лялько, А. И. Сахацький, А. Я. Ходоровский, И. Я. Буянова, А. Т. Азимов // *Космічна наука і технологія*. — 2002. — Т. 8. — № 2/3. — С. 239–246.
2. Орлов О. О. Біогеохімія Цезію 137 у лісоболотних екосистемах Українського полісся / О. О. Орлов, В. В. Долін. — К.: Наук. Думка, 2010. — 198 с.
3. Шестопалов В. М. Ідентифікація автореабілітаційних процесів у водотоках зони відчуження та можливе спрямування реабілітаційної діяльності / В. М. Шестопалов, О. Л. Шевченко, О. М. Козицький [та ін.] // *Бюл. екол. стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення*, 2000. — № 16. — С. 18–23.
4. Гудзенко В. В. Цезий, как техногенный индикатор инфильтрационного процесса / В. В. Гудзенко, Н. Г. Лютая // *Доклады 3-го Всесоюзного научно-технического совещания по итогам ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС*. — Чернобыль-92. Сборник тезисов. — Зеленый мыс, 1992. — Т. I, Часть II. — С. 482–489.
5. Ласточкин А. Н. Морфодинамическая концепция общей геоморфологии / А. Н. Ласточкин. — Л.: Недра, 1991. *le Radar Topography Mission (SRTM) data*. — Режим доступу: <http://srtm.csi.cgiar.org/>
7. *Distribution Map of Radiation Dose – Soil concentration map*. Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology of Japan. — Режим доступу: <http://ramap.jmc.or.jp/map/eng/>
8. *Monitoring information of environmental radioactivity level*. Nuclear Regulation Authority. — Режим доступу: <http://radioactivity.nsr.go.jp/en/>

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РЕЛЬЕФА НА ПОВЕРХНОСТНОЕ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ ТЕРРИТОРИЙ, ПОДВЕРГШИХСЯ РАДИАЦИОННОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ (НА ПРИМЕРЕ ЗОН ОТЧУЖДЕНИЯ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ЧЕРНОБЫЛЬ И ФУКУСИМА-1)

Н. В. Пазинич, В. Е. Филиппович.

Согласно методике морфодинамического анализа рельефа, отработанной в зоне отчуждения Чернобыльской атомной станции, базируясь на цифровых моделях рельефа (ЦМР), проведены исследования в зоне радиационного загрязнения станции Фукусима-1. Определено, что рельеф является определяющим фактором при формировании радиационного “следа” для гористых местностей. В результате исследований на эталонных участках установлено возможность определения по данным ЦМР конкретных территорий потенциально предрасположенных к самоочищению и самозагрязнению поверхностными денудационными процессами, а также возможность прогнозирования изменения границ ареалов радиационного “следа”.

Ключевые слова: Чернобыльская АЭС, АЭС Фукусима-1, цифровая модель рельефа, морфодинамический анализ рельефа, динамика перераспределения радионуклидов, каркасные элементы рельефа, латеральный массоперенос.

ANALYSIS OF THE IMPACT OF THE RELIEF ON THE SURFACE REDISTRIBUTION OF RADIONUCLIDES TERRITORIES AFFECTED BY RADIOACTIVITE CONTAMINATION (FOR EXAMPLE OF EXCLUSION OF NUCLEAR POWER PLANTS CHERNOBYL AND FUKUSHIMA-1)

N. V. Pazynych, V. E. Filipovich.

According to the procedure of morphodynamic terrain analysis based on digital elevation model (DEM), tested within the exclusion zone of Chernobyl nuclear power plant, the area of radioactive contamination of Fukushima-1 was researched. It was determined that the terrain elevation is a main driver of radioactive “trace” formation within highlands. The possibility to determine the areas potentially prone to self-cleaning and surface contamination under denudation by DEM was demonstrated in reference sites. Also the opportunity to predict changes in the boundaries of radiation “trace” area was prospected.

Keywords: Chernobyl NPP, Fukushima-1 NPP, digital elevation model, morphodynamic analysis of terrain, dynamic movement of radionuclides, topography frame elements, lateral mass transfer