

4. Ковда В. А. Основы учения о почвах. Общая теория почвообразовательного процесса / В. А. Ковда. – М. : Наука, 1973. – Кн. 1. – 432 с.
5. Носко Б. С. Гумусовое состояние почв Украины и пути его регулирования / Б. С. Носко, А. А. Бацула, Г. Я. Чесняк // Почвоведение. – 1992. – № 10. – С. 33–39.
6. Орлов Д. С. Биохимические принципы и правила гумосообразования / Д. С. Орлов // Почвоведение. – 1988. – № 7. – С. 83–91.
7. Підвальна Г. С. Гумусовий стан автоморфних ґрунтів Пасмового Побужжя : монографія / Г. С. Підвальна, С. П. Позняк. – Львів : Вид. цент ЛНУ ім. І. Франка, 2004. – 192 с.
8. Пономарева В. В. Определения группового и фракционного состава гумуса по схеме И. В. Тюрина в модификации В. В. Пономаревой и Т. А. Плотниковой / В. В. Пономарева, Т. А. Плотникова // Агробиохимические исследования почв. – М. : Наука, 1975. – С. 47–55.
9. Пономарева В. В. О сущности и географических закономерностях подзолообразования / В. В. Пономарева // Почвоведение. – 1956. – № 3. – С. 31–47.
10. Хлесткова Е. А. Использование некоторых показателей гумусного состояния почв в целях диагностики / Е. А. Хлесткова // Почвоведение. – 1991. – № 6. – С. 38–46.

Стаття надійшла до редколегії
11.10.2013 р.

УДК 551.4:911.3

І. П. Ковальчук – доктор географічних наук, професор, завідувач кафедри геодезії та картографії Національного університету біоресурсів і природокористування України;
О. О. Трофімова – аспірант Національного університету біоресурсів і природокористування України

Прогнозування селів як засіб оптимізації управління сільською безпекою гірських регіонів

*Роботу виконано на кафедрі геодезії та картографії
НУБіП України*

У статті окреслено актуальність проблеми прогнозування ризиків прояву сільових явищ у гірських регіонах. Схарактеризовано найважливіші показники, які доцільно використовувати при прогнозуванні сільових ризиків. Проаналізовано основні методи прогнозування селів. Автори звертають увагу на важливість використання інформації про ризики прояву селів при плануванні і реалізації комплексу протисільових заходів. У статті відображено головні напрями управління сільовими ризиками в різні періоди сільової активності. Обґрунтовано необхідність створення автоматизованих інформаційно-вимірювальних систем, прогнозно-моделюючих комплексів, розрахунково-аналітичних модулів та математичних моделей для прогнозування й управління сільською безпекою.

Ключові слова: сільова безпека, сільовий ризик, прогнозування, оптимізація, моніторинг, прогнозні моделі.

Ковальчук І. П., Трофімова О. О. Прогнозирование селей как инструмент оптимизации управления селевой опасностью горных регионов. В статье подчеркнута актуальность проблемы прогнозирования рисков проявления селевых явлений в горных регионах. Охарактеризованы основные показатели, которые целесообразно использовать при прогнозировании селевых рисков. Проанализированы главные методы прогнозирования селей. Авторы обращают внимание на важность использования информации о рисках проявления селей при планировании и реализации комплекса противоселевых мероприятий. В публикации отображены основные направления управления селыми рисками в разные периоды селевой активности. Обоснована необходимость создания автоматизированных информационно-вычислительных систем, прогнозно-моделирующих комплексов, расчетно-аналитических модулей и математических моделей для прогнозирования и управления селевой опасностью.

Ключевые слова: селевая опасность, селевой риск, прогнозирование, оптимизация, мониторинг, прогнозныe модели.

Kovalchuk I. P., Trofimova O. A. Forecasting Mudflows as a Way to Optimize the Management of Mudflow Hazard in Mountain Regions. In this article the relevance of the problem of the forecasting the risk manifestations of mudflow phenomena in mountain regions determined. The main indicators that should be used in the forecasting of mudflows risk are characterized. The basic methods of forecasting of mudflows are analyzed. The authors pay attention on the importance of using information about risks of manifestation the mudflows in the planning and implementation of a complex measures against the mudflow. In article the main directions of mudflows risk management in different periods of mudflow activity are displayed. The necessity of creating the automated information-measuring systems, the forecasting and modeling systems, the calculation and analytical modules and the mathematical models to predict and management of mudflows danger are well-founded.

Key words: hazard of mudflows, mudflow risk, forecasting, optimization, monitoring, the forecasting models.

Постановка наукової проблеми та її значення. Окремим напрямом досліджень сільових процесів є їх прогнозування для оптимізації управління сільовою безпекою. На наш час розроблено моделі ймовірнісного оцінювання виникнення селів на основі розрахункових параметрів, що характеризують речовинний склад потенційних сільових відкладів, кліматичні показники та басейнові параметри [12]. На жаль, жодну з наявних методик прогнозу сільової безпеки не можна вважати універсальною, однаково прийнятною для регіонів із різними геолого-геоморфологічними та кліматичними умовами. З огляду на це, актуальним залишається завдання пошуку адекватних методів та засобів прогнозування селів, що враховують специфіку геологічної та геоморфологічної будови регіону, режим новітніх і сучасних тектонічних рухів, умови формування та механізми розвитку селів.

Аналіз досліджень цієї проблеми. Великий внесок у розробку методик дослідження селів, пошуку закономірностей прояву сільових процесів і їх прогнозування зробили українські дослідники А. М. Оліферов, М. М. Айзенберг, М. С. Каганер, Б. М. Иванов, А. А. Клюкін, А. С. Тищенко, Б. Л. Величко, В. В. Яблонський, Г. І. Рудько, Р. О. Сливка [11; 14; 24] та ін. Питання дослідження сільових ризиків та можливість їх прогнозування привернуло також увагу зарубіжних учених, серед яких відзначимо Ю. Б. Виноградова, С. М. Флейшмана, В. Ф. Перова, О. Л. Шнипаркова, Є. О. Таланова, Г. І. Херхеулдзе, А. І. Шеко (Росія), F. Weil, K. Hu, Y. Zhang, S. Jia (Китай), Daniele De Wrachien (Італія), Martinez Cora (США) та ряд інших.

Необхідність прогнозування сільових явищ постійно зростає у зв'язку з активізацією прояву селів на території Українських Карпат і Кримських гір. Це засвідчують чисельні публікації із цієї тематики, серед яких варто відзначити такі роботи: «Прогнозування екзогенних геологічних процесів» (Е. Д. Кузьменко) [7; 8], «Довгостроковий часовий прогноз сільової активності на території гірсько-карпатського гідрогеологічного району» (Т. Б. Чепурна) [21], «Ймовірнісне прогнозування сільових явищ у Карпатах: технологічні рішення» (М. М. Сусідко) [17], «Комплексна басейнова система прогнозування паводків у Закарпатті: методична та технологічна база її складових» (О. І. Лук'янець) [9], «Просторовий аналіз та прогнозування поширення селевих осередків у Карпатському регіоні» (Т. Б. Мисак) [10], «Розробка засобів комп'ютерного моделювання селевої безпеки в межах Карпатського регіону» (В. В. Шевчук) [22], «Методологічні особливості використання аналітичних та моделюючих засобів ГІС для прогнозування і оцінки наслідків надзвичайних ситуацій на території України» (О. О. Іщук) [5], «Селевой риск: теоретические основы и практическая значимость» (Є. О. Таланов) [18], «Селевой риск на Черноморском побережье Кавказа» (О. Л. Шнипарков) [23], «Численное моделирование движения селей и его приложение для зонирования селевого риска» (Ф. Уэй) [19], «Метод фонового прогнозирования селевой опасности на Центральном Кавказе и результаты его апробирования» (А. Х. Аджиєв) [1].

Мета статті – з'ясування ролі прогнозування селів як однієї з найважливіших ланок науково-інформаційного забезпечення оптимізації управління сільовою безпекою, аналіз основних прогнозних характеристик селю, виділення типів прогнозів селів залежно від їх генезису, масштабів охоплення території, завчасності прогнозу.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. Сутність сільової безпеки полягає в можливості виникнення сільових процесів у певному місці у певний момент часу та проявляється у вигляді безпосередньої ударної дії на людей і на різноманітні перешкоди, що виникають на шляху руху сільового потоку. Як правило, це призводить до значної кількості травм і людських жертв, завалювання відкладами сільових потоків угідь та руйнування будинків і споруд, доріг, мостів, інженерних комунікацій, систем життєзабезпечення, ушкодження

лісових насаджень та значних збитків сільському господарству [12]. Її можна визначити через оцінку руйнівної сили селів і раптовості їх прояву. Величина сільового ризику залежить від сільової небезпеки території та можливих збитків господарству і природі.

Звідси випливає, що сільовий ризик можна описати такою загальною формулою: *ризик* = *ймовірність явища* · *можливі наслідки* [3] або (1):

$$Rm = Pm \cdot Cm, \quad (1)$$

де *Rm* – ризик виникнення селю; *Pm* – ймовірність селю; *Cm* – можливі наслідки селю.

Наслідки впливу селів на об'єкти оцінюють, враховуючи показники сільової небезпеки та сільової активності, за допомогою комплексного критерію, який має назву наведеної сільової активності P_b [4] і є часткою від ділення сумарного об'єму сільових виносів за певний тривалий відтинок часу $\sum_t W$ на число років T , які входять у цей інтервал (2):

$$P_b = \sum_t W / T, \quad (2)$$

Усі сільонебезпечні басейни за наведеною сільовою активністю (в розрахунку на 100 років) поділяються на чотири категорії:

- виключно сільонебезпечні (виключна активність) – 10^4 – 10^5 м³/рік;
- досить сильно сільонебезпечні (значна активність) – 10^3 – 10^4 м³/рік;
- середньо сільонебезпечні (середня активність) – 10^2 – 10^3 м³/рік;
- слабо сільонебезпечні (слабка активність) – 10 – 10^2 м³/рік.

Управління сільовою небезпекою є комплексним і трудомістким завданням [27], яке включає в себе моніторинг сільонебезпечних територій і сільових процесів, прогнозування часу і місця виникнення селів, масштабів їх прояву, обґрунтування та реалізацію заходів із попередження і ліквідації наслідків сільової діяльності.

Ефективність управління сільовими ризиками полягає в організації діяльності людини і суспільства таким чином, щоб запобігти граничному рівню впливу селів, перевищення якого може призвести до катастрофічних наслідків. Це питання є особливо актуальним для гірських територій, сільова небезпека яких у наш час зростає у зв'язку з активною забудовою, інтенсифікацією використання лісових та мінерально-сировинних ресурсів гір і рекреаційним їх освоєнням.

Зважаючи на те, що сільові явища характеризуються дискретністю виникнення і короткочасністю проходження, управління ризиками доцільно здійснювати [27] і в передсільові (обстеження стану, прогностичні оцінки, протисільові заходи), і в постсільові періоди (періоди між сільовими явищами), коли немає загрози їх виникнення та проходження (реалізація комплексу протисільових заходів, ліквідація наслідків селів тощо).

Управління сільовими ризиками різноманітне за напрямками, змістом управлінських рішень і часом їх реалізації.

У міжсільовий період головними напрямками управління сільовими ризиками є: оцінка сільового ризику; експертно-аналітичні роботи; консалтингові роботи; моніторинг сільоформуючих факторів; аналіз моніторингової інформації з метою оцінювання ризику виникнення селів у режимі реального часу; вибір об'єктів та здійснення проектування і будівництва захисних споруд на їх території; реалізація превентивних заходів на сільових об'єктах; реалізація заходів щодо адаптації реципієнтів до небезпеки впливу селів (у тому числі страхування); реалізація заходів щодо створення систем оповіщення та екстреного реагування; контролінг.

У період проходження селю управлінські заходи полягають у: прийнятті та реалізації рішень про екстрене оповіщення реципієнтів про виникнення та проходження сільового потоку; спостереженні за характеристиками і розповсюдженням сільового потоку за допомогою існуючих пунктів системи моніторингу; організації додаткових пунктів спостереження вздовж шляху проходження сільового потоку; екстреній евакуації населення із зони впливу сільового потоку; екстрених заходах із захисту об'єктів від впливу активного сільового потоку; екстрених заходах із запобігання виникнення вторинних надзвичайних ситуацій (пожеж, хімічного, радіоактивного, бактеріологічного забруднення тощо).

У постсільовий період здійснюються: ліквідація наслідків проходження селів; якісна та грошова оцінка завданого збитку; відшкодування збитків; аналіз причин виникнення та характеристика пара-

метрів розповсюдження, об'ємів винесеного матеріалу минулого селю; аналіз роботи захисних споруд; коректування схем протисельового захисту.

Розробка і реалізація ряду напрямів у системі управління сільовим ризиком потребує залучення різнопрофільних організацій, а також додаткового фінансування. Істотна роль у вирішенні проблеми фінансування може бути відведена *страхуванню сільових ризиків*, яке підвищує ефективність управління сільовим ризиком шляхом відшкодування збитків від селів і наявності страхових резервів, спрямованих на фінансування превентивних заходів щодо зниження сільового ризику.

Управління сільовими ризиками включає в себе також *заходи з адаптації реципієнтів до негативних впливів селів, передислокації господарських і житлових об'єктів із зон впливу селів, формування індивідуальних систем сільової безпеки*, які передбачають утворення служб оповіщення, служб внутрішньої безпеки об'єктів, страхування фізичними та юридичними особами життя і майна від сільових явищ, підвищення інформованості населення про сільовий ризик і способи його зниження, розробку схем екстреної евакуації, будівництво невеликих протисельових захисних споруд, створення запасів інструментів і техніки, необхідних для екстреного проведення локальних аварійно-рятувальних і ліквідаційних робіт в ареалах виникнення та впливу сільових процесів тощо.

Мінімізація негативних наслідків селів значною мірою залежить від своєчасного виявлення небезпеки, оцінювання та прогнозування величини сільового ризику. Для вирішення завдань, пов'язаних із прогнозуванням сільових явищ, необхідним є проведення оперативного контролю (моніторингу) за їх розвитком, передусім, у районах інтенсивної господарської діяльності. Як відомо [2], наявність достовірної інформації стосовно місця прояву, умов розвитку та чинників активізації селів сприяє підвищенню рівня інформативної здатності служби гідрологічного оповіщення і суттєво впливає на якість управлінських рішень, які приймаються та реалізуються на різних рівнях державної влади.

Отже, для завчасної реалізації управлінських рішень щодо сільових ризиків необхідною є прогнозна інформація про небезпеку виникнення сільових явищ із різними термінами завчасності та існування відповідної служби, яка б займалася управлінськими питаннями мінімізації сільових ризиків.

Науково-дослідною діяльністю у сфері оцінювання сільової небезпеки та прогнозування розвитку селів займається Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут (УкрНДГМІ) Він розробляє прогностичні системи (підсистеми, методики), які передаються в підрозділи Державної метеорологічної служби для випробування та впровадження в оперативну діяльність [25]. Упровадження і використання прогностичних систем сприяє підвищенню рівня діяльності служби гідрологічного оповіщення, що є виключно важливою проблемою, зокрема для Карпатського регіону, зважаючи на постійну загрозу від паводків та селів.

Управління гідрометеорології (у складі Державної служби України з надзвичайних ситуацій), згідно з покладеними на нього завданнями, надає прогнозну інформацію щодо виникнення надзвичайних ситуацій природного характеру та здійснює організацію заходів із моніторингу повеней, паводків, селів, інших небезпечних геоморфологічних процесів. Результатом роботи Міністерства надзвичайних ситуацій стало розроблення Концепції Загальнодержавної цільової соціальної програми захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру на 2012–2016 роки, яка схвалена Кабінетом Міністрів України у 2011 р. [26]. Ця Концепція передбачає: формування цілісної системи інженерного захисту територій, населених пунктів і сільськогосподарських угідь від шкідливої дії вод; розроблення схем комплексного протисельового захисту територій, зокрема в басейнах річок Тиси, Дністра, Прута і Сірету; створення автоматизованих інформаційно-вимірювальних систем для прогнозування й управління водним стоком; створення системи моніторингу та прогнозування надзвичайних ситуацій на основі постійно діючих центральних і регіональних координаційних органів; проведення реконструкції систем централізованого оповіщення населення про загрозу або про виникнення надзвичайної ситуації.

На жаль, виконання Програми в повному обсязі є неможливим у зв'язку з моральною застарілістю та фізичною зношеністю переважної більшості засобів вимірювальної техніки, що використовуються гідрометеорологічними підрозділами. Ефективне управління сільовими ризиками є неможливим в умовах обмеженого (або відсутнього) фінансування запобіжних робіт та заходів. Задля ефективного управління сільовими ризиками та загальної мінімізації сільової небезпеки необхідним є підвищення рівня координації дій органів управління, ефективності використання державних коштів та забезпечення матеріально-технічними ресурсами сил цивільного захисту.

Визначальна роль в управлінні сільовими ризиками, безперечно, належить прогнозуванню сільових явищ. Прогнозування селів – це передбачення часу і місць виникнення та проходження селів або періоду зростання сільової активності [13]. Розробка прогнозів селів ускладнена багатофакторністю сільових явищ і тісною залежністю від провідних чинників (наприклад, злив), прогноз яких, у свою чергу, не завжди є досконалим. Тому більшість нинішніх методів прогнозування селів перебуває на стадії експериментальної перевірки та впровадження. Прогнозування сільових процесів потребує проведення багаторічних спостережень не лише за сільонебезпечними гірськими басейнами, але й за регіонами, які є потенційно сприятливими для розвитку селів.

Із позицій системного підходу сільовий процес є багатокомпонентною відкритою системою, у якій прояв сільового потоку слід розглядати як результат взаємодії елементів усієї системи. Ця система включає велику кількість компонентів і впливаючих на них чинників.

Для оцінювання сільового ризику та створення відповідних прогнозів потрібно враховувати два ряди показників [12], що характеризують *ступінь сільової небезпеки* та *рівень освоєння території* (табл. 1).

Таблиця 1

Показники, які потрібно використовувати під час оцінювання сільового ризику

| Сільовий ризик | |
|---|--|
| Ступінь сільової небезпеки | Рівень освоєння території |
| 1) фактори сільоутворення: а) природні (гідрометеорологічні, геологічні, геоморфологічні тощо); б) антропогенні; в) техногенні | 1) густота населення |
| 2) частота проходження (періодичність) селів | 2) фондонасичення території |
| 3) висота розміщення сільових вогнищ | 3) густота залізниць та автомобільних шляхів у сільових районах |
| 4) об'єм сільового виносу | 4) густота мережі міст |
| 5) сільова активність басейну | 5) густота сільських поселень |
| 6) кількість сільових вогнищ | 6) рівень сільськогосподарського освоєння території |
| 7) показники власне селю: • щільність потоку; • ширина потоку; • глибина потоку; • середні та максимальні розміри уламків наносів селю; • швидкість селю; • максимальні та середні витрати селю; • мінімальний (критичний) повздовжній ухил тощо | 7) рівень розораності території |
| | 8) рівень гірничо-промислового впливу |
| | 9) рівень лісистості території |
| | 10) наявність водогосподарських об'єктів (водосховищ, ставків, дамб, інших інженерних споруд на річках та в сільових басейнах) тощо |
| | 11) наявність промислових підприємств, діяльність яких сприяє виникненню селів |
| | 12) інтегральний індекс господарського освоєння басейнової системи та інтенсивності впливу діяльності людини на природне середовище тощо |

Визначення перерахованих характеристик є досить складним завданням. Значно підвищити ймовірність прогнозу селів можна шляхом використання сучасних автоматизованих методів досліджень, даних дистанційного зондування Землі, геоінформаційних технологій, математичного і картографічного моделювання, статистичного аналізу, які передбачають створення автоматизованих інформаційно-вимірювальних систем (типу АІВС – «ТІСА»), прогнозно-моделюючих комплексів (на зразок ПМК «СЕЛІ», ПМК «ПРУТ-1»), розрахунково-аналітичних модулів та математичних моделей («MUDFLOWS», «RAMMS», «FLOW3D», «SLOJ-3D») тощо.

Залежно від *завчасності, територіального охоплення та генезису*, виділяють [12] декілька типів прогнозів селю.

Так, зокрема, прогноз селів залежно від терміну передбачення поділяється на короткотерміновий (від декількох годин до декількох діб), середньотерміновий (від одного до декількох місяців) та довготерміновий (від одного до декількох років). Необхідними умовами для короткотермінових прогнозів є наявність гідрометричних спостережень та однотипність річок за джерелами живлення водою

і наносами. Середньотермінові прогнози сільової діяльності потребують попереднього аналізу загальних гідрологічних процесів, кількісного оцінювання селів та встановлення комплексних зв'язків термінів початку і тривалості проходження селів значної потужності. Довготерміновий прогноз будується з урахуванням циклів сонячної активності. Оцінювання змін сільового режиму та співвідношення генетичних типів селів на будь-який відтинок наступних десятиріч подається на основі оцінок кліматичних змін [13].

Залежно від територіального охоплення виділяють [12] регіональний (фоновий), локальний та об'єктовий прогнози селів. Регіональний рівень прогнозування (частина гірської області або великого річкового басейну) відповідає масштабам 1:200 000–1:50 000. Результати (прогноз) передають територіальним підприємствам для врахування під час планування заходів із діагностики, а також планування досліджень селів локального рівня.

Локальний рівень досліджень (у межах одного сільового басейну) відповідає масштабам 1:5000–1:200. Ці дослідження виконуються для порівняно невеликих ділянок та зазвичай окремих генетичних типів селів.

Прогнозування на об'єктовому рівні реалізують для передбачення поведінки конкретного селю з розрахунком можливого рівня небезпеки для прилеглих народногосподарських комплексів [8], населення, угідь тощо.

Для різних генетичних типів селів розробляють окремі методи прогнозів. При цьому використовують такі прогностичні ознаки, як момент виникнення, час проходження селю, статистичні дані про сільовий режим, гідрометеорологічну інформацію, а також встановлені закономірності розвитку сільового процесу.

Прогностичні ознаки проходження селів – ознаки, які дають змогу зробити припущення про можливість проходження селів у найближчі дні або протягом поточного сільонебезпечного періоду [13]. Прогностичні ознаки проходження селів використовують при розробці прогнозу селів; на думку деяких учених [12], для різних генетичних типів селів вони є різними.

Характерними прогностичними ознаками проходження селів є: для *дощових селів* – довготривалі дощі, які супроводжуються перезволоженням чохла пухких відкладів на водозборі та паводками; значні накопичення продуктів вивітрювання в осередках зародження селю та в сільовому руслі; для *льодовикових селів* – стійка сонячна погода з високими температурами повітря, порушення режиму стоку льодовикових річок; для *снігових селів* – глибока відлига, різке потепління в період сніготанення з переходом середньодобової температури повітря через 0° та випадання дощів у період сніготанення тощо.

Для стратегічного планування заходів, спрямованих на зменшення сільового ризику, необхідні довгострокові прогнози ступеня сільової активності; для поточного й оперативного управління – короткострокові і дуже короткострокові прогнози сільових явищ.

Ймовірнісне прогнозування може бути здійснене і в часі, і в просторі. Ймовірність у часі виражається як можливість виникнення сільових явищ за певної ситуації, яка може утворитися на території річкового басейну в наступні 12–24 години, призвести до збереження, підсилення чи зменшення інтенсивності стокоутворення під час дощів або сніготанення. Ймовірність у просторі визначається тією обставиною, що прогноз подається з визначенням окремих часткових площ, де можливий сільопрояр певної категорії (без зазначення конкретних осередків) [17].

Наявна низка методик короткострокового прогнозування селів зливогого і гляціального генезису, а також рекомендації з оцінювання небезпеки сільових явищ зливогого і змішання генезису [15–17]. Однак вони не забезпечують отримання прогностичної інформації з необхідними для прийняття ефективних управлінських рішень ймовірністю і деталізацією. Окрім цього, для ряду сільоактивних районів Карпат подібні методики взагалі відсутні. Тому роботи зі створення методів прогнозування сільових ризиків повинні активно продовжуватися.

В основі методів прогнозування сільової небезпеки з різною завчасністю лежить комплексне врахування прогностичних характеристик сільоформуєчих чинників і закономірностей розвитку процесів формування сільових потоків [17]. Тому для надійного прогнозування сільових явищ потрібні розробки прогнозів ходу температури повітря та опадів.

Наприклад, наявність небезпеки сходу селю (V) можна визначити з наступного рівняння [20]:

$$V = -11,29 + 0,081y + 0,27t_{min} + 0,051r + 0,111T_{max} + 0,0003S_y, \quad (3)$$

де u та r – добовий шар опадів і відносна вологість повітря; t_{min} і T_{max} – мінімальна температура поверхні ґрунту і максимальна температура повітря; S_y – сума опадів за попередні 20 діб. При $V \geq 0$ існує ризик сходу селю.

Попередньо визначивши висоту розміщення сільового басейну над рівнем моря, а також наступні морфометричні його характеристики: площу водозбору (S), середній ухил русла річки (α) та довжину русла (L), спрогнозувати сільову активність певного басейну можна за формулою:

$$P = (a+bS+c\alpha+dL)10^3. \quad (4)$$

Кореляційні коефіцієнти (a , b , c і d) дорівнюють, відповідно: для високогірних басейнів ($H = 3500-2500$ м) із гляціальним генезисом селів: $-119,165$; $-1,339$; $0,257$; $23,739$; для високогірних басейнів ($H = 3500-2500$ м) із гляціально-дошовим генезисом селів: -19 ; $0,185$; $0,054$; $0,585$; для сільових басейнів із дошовим генезисом селів ($H = 3500-2500$ м): -4 ; $1,3$; $0,006$; $-0,6$; для сільових басейнів зі сніго-дошовим генезисом селів ($H = 2500-1000$ м): $-14,1$; $-0,7$; $0,0287$; $4,2$ [6].

Для довготермінового прогнозування сільових ризиків повинні виконуватися насамперед прогнози зміни температурного фону, а також режиму, кількості і зон випадання опадів у зв'язку з глобальним потеплінням.

Для середньотермінового прогнозування сільової діяльності необхідним є аналіз загальних рис гідрологічних процесів, кількісна оцінка інтенсивності та об'єму опадів і встановлення комплексних зв'язків між зміною температури повітря та початком проходження селів весною.

Для короткотермінового прогнозування сільових явищ необхідні прогнози кількості й інтенсивності опадів, а також динаміки температури повітря в періоди випадання опадів. Одночасно повинні вестися роботи з виявлення регіональних і локальних особливостей та механізмів розвитку процесів формування селів, критичних умов їх виникнення. Методи прогнозування сільових явищ, умов та процесів сільоутворення розробляються на основі математичної статистики і теорії ймовірності, математичного моделювання.

На сучасному етапі розвитку сільознавства технології створення прогнозних моделей суттєво відрізняються від простих підрахунків щільності проявів селів на певній території їхнього розвитку. Найбільш обґрунтованим і водночас технологічним є прогнозування, в основі якого лежить виявлення впливових факторів різної природи та встановлення математичних закономірностей їх зв'язку з активізацією селів.

Практичною реалізацією розробки математично формалізованого алгоритму прогнозу розвитку селів є створення автоматизованих постійно діючих моделей, що реалізуються на основі оперативної обробки результатів поточних натурних спостережень та забезпечують прийняття управлінських рішень щодо захисту територій у разі можливої активізації селів, а також застосування заходів щодо забезпечення нормального функціонування об'єктів, які розташовані в зоні впливу сільових процесів.

На сучасному етапі розроблений *алгоритм кількісної оцінки впливу сільових потоків на інженерні споруди в умовах Карпатського регіону* [22], який дає змогу проводити моделювання впливу сільових потоків, сформованих у межах Карпатського регіону, на техногенні об'єкти різного призначення з урахуванням параметрів і самих потоків, і геолого-геоморфологічних та гідрометеорологічних даних.

Істотне підвищення рівня інформативної здатності служби гідрологічного оповіщення можливе лише шляхом створення автоматизованих інформаційно-прогностичних систем, які б охоплювали всі технологічні процеси – від спостережень до забезпечення споживачів інформаційною та прогнозною продукцією [5]. Зі створенням басейнових прогностичних систем, які ґрунтуються на математичному моделюванні селів, з'являється можливість деталізувати прогнозну продукцію через її просторове подання, у тому числі і для водозборів, не вивчених у гідрологічному відношенні. Крім того, запровадження басейнового підходу сприятиме комплексному дослідженню умов і механізмів формування селів з урахуванням розмаїття ландшафтних, геоморфологічних та гідрологічних особливостей річкових водозборів.

Як уважають учені [8], для регіонів, що характеризуються високим ступенем сільової небезпеки, використання аналітичних та моделюючих засобів геоінформаційних систем при створенні прогнозних-моделюючих комплексів (ПКМ) запобігання, мінімізації та ліквідації наслідків селів є особливо актуальним. Зокрема, завдяки вивченню й опрацюванню низки методичних і технологічних питань

щодо прогнозування селів для території Українських Карпат було створено ПМК «Селі» [5], який забезпечує визначення зон вірогідної активізації сільової активності.

Інтенсивність сільопрояву обчислюється за даними про опади і подається у вигляді трьох категорій: 1) можливий значний прояв сільової активності; 2) можливий прояв сільової активності середньої інтенсивності; 3) можлива активізація чи виникнення окремих селів.

До складу комплексу включено модуль визначення зон вірогідної активізації сільової активності SEL_TS, розроблений фахівцями УкрНДГМІ. Результати детальних досліджень селів дають змогу розробляти довго- та короткотермінові прогнози сільової активності і сприяють мінімізації загальної небезпеки селів та створюваних ними соціоекономічних й екологічних ризиків.

Висновки та перспективи подальших досліджень

1. Прогнозування сільових процесів, суть якого полягає в завчасному передбаченні формування сільового потоку в потенційно сільоактивному регіоні, є досить потужним інформаційно-аналітичним засобом оптимізації управління сільовою безпекою. Можливість отримання якісної та вчасної вихідної інформації для прогнозування селів значною мірою залежить від рівня розвитку мережі спостережень за станом природного середовища та інтенсивності розвитку в ньому природних й антропогенних процесів.

2. Сьогодні розробка методів прогнозування селів та оцінки сільової небезпеки ґрунтується на загальних теоретичних і методологічних положеннях інженерно-геологічних прогнозів, які потребують інтегрованого аналізу якісних і кількісних даних стосовно геолого-геоморфологічної будови території, фізико-географічних умов формування селів і чинників їх виникнення (природних та антропогенних).

3. Усебічний аналіз, комплексна оцінка та інтерпретація різномірної інформації є основою прогнозування поширення небезпечних сільових явищ, а застосування ГІС-технологій з їхніми потужними обчислювальними ресурсами й інформаційною методологією підвищує ефективність і точність прогнозних оцінок та створює базу для реалізації протисільових управлінських рішень.

Необхідним та доцільним на наш час залишається проведення детальних спеціалізованих досліджень із вивчення безпеки сільових процесів на конкретних полігонах, які повинні включати комплексний аналіз природних та антропогенних чинників їх формування. Дослідження такого змісту значно підвищують об'єктивність і загальної оцінки сільової безпеки, і прогнозу виникнення сільових процесів у межах певних територій.

У наш час напрацьована потужна база знань про механізми виникнення селів, розроблено чимало методик їх оперативного й короткострокового прогнозування [1; 5; 9; 15]. Однак активізація сільових процесів у Карпатському регіоні та негативні наслідки їхнього прояву останнім часом свідчать про необхідність удосконалення методик довгострокового прогнозування сільової безпеки. Це пояснюється насамперед недостатчею інформації для виявлення ритмів у часових рядах селів.

Сьогодні кількість даних про сходження селів постійно збільшується, тому часові ряди річної сільової активності стають інформативнішими. Окрім того, розроблена методика [21], яка базується на сучасних методах інтерполяції та апроксимації, і дає змогу розрахувати інтегральний показник імовірності сходження селів з урахуванням комплексного впливу чинників сільової активізації та на основі цього будувати прогноз, який виступає кінцевою метою досліджень. Ця робота є складовою частиною системи просторово-часового прогнозування селів, яка повинна знайти широке застосування в подальших дослідженнях сільових процесів та реалізації завдань управління сільовою безпекою.

Джерела та література

1. Аджиев А. Х. Метод фонового прогнозирования селевой опасности на Центральном Кавказе и результаты его апробирования / А. Х. Аджиев, Н. В. Кондратьева, О. А. Кумукова, И. Б. Сейнова, Е. М. Богаченко // Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита : тр. Междунар. конф. / отв. ред. С. С. Черноморец. – Пятигорск : Ин-т «Севкавгипроводхоз», 2008. – С. 263–266.
2. Активізація небезпечних екзогенних геологічних процесів на території України за даними моніторингу ЕГП. – К. : Держ. служба геології та надр України ; Держ. наук.-виробн. п-во «Державний інформаційний геологічний фонд України», 2013. – 24 іл. – 98 с.
3. Андреев Ю. Б. Проблемы оценки и картографирования природного риска (на примере лавин и селей) / Ю. Б. Андреев, А. Н. Божинский // Вестник МГУ. Сер. 5 : Географическая, 1996. – № 3. – С. 55–60.
4. Баринов А. В. Опасные природные процессы : учебник / А. В. Баринов, В. А. Седнев, А. Б. Шевчук. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2009. – 334 с.

5. Ішук О. О. Методологічні особливості використання аналітичних та моделюючих засобів ГІС для прогнозування і оцінки наслідків надзвичайних ситуацій на території України / О. О. Ішук // Уч. зап. Таврич. ун-та. Географія. – 2002. – Т. 15 (54), № 1. – С. 94–101.
6. Кондратьева Н. В. Расчет селевой активности различных бассейнов статистическими методами / Н. В. Кондратьева, А. А. Гекиев, Н. А. Лизмова // Обозрение прикладной и промышленной математики. – 2008. – Т. 15, № 6. – С. 1094–1095.
7. Кузьменко Е. Д. Прогнозування екзогенних геологічних процесів / Е. Д. Кузьменко [та ін.] // Геоінформатика. – 2011. – № 4. – С. 58–77.
8. Кузьменко Е. Д. Прогнозування екзогенних геологічних процесів. Ч. 1. Теоретичні передумови прогнозування екзогенних геологічних процесів. Закономірності активізації зсувів / Е. Д. Кузьменко, О. М. Журавель, Т. Б. Чепурна [та ін.] // Геоінформатика. – 2011. – № 3. – С. 61–74.
9. Лук'янець О. І. Комплексна басейнова система прогнозування паводків у Закарпатті: методична та технологічна база її складових / О. І. Лук'янець, М. М. Сусідко // Наук. пр. УкрНДГМІ. – 2004. – Вип. 253. – С. 234–249.
10. Мисак Т. Б. Просторовий аналіз та прогнозування поширення селевих осередків у Карпатському регіоні / Т. Б. Мисак // Зб. наук. пр. УкрДГРІ. – 2011. – № 1. – С. 211–222.
11. Олиферов А. Н. Геоинформационная система «Сели Украины и меры борьбы с ними» / А. Н. Олиферов, А. В. Давыдов // Инженерная география. Инженерно-геоморфологические аспекты : тез. докл. межгосударств. конф. – Вологда : [б. и.], 1992. – С. 78–79.
12. Перов В. Ф. Селеведение : учеб. пособие / В. Ф. Перов. – М. : Географ. ф-т МГУ, 2012. – 272 с.
13. Перов В. Ф. Селевые явления : терминолог. слов. / В. Ф. Перов. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1996. – 288 с.
14. Рудько Г. И. Оползни и другие геодинамические процессы горноскладчатых областей Украины (Крым, Карпаты) : монография / Г. И. Рудько, И. Ф. Ерыш. – Киев : Задруга, 2006. – 624 с.
15. Соседко М. Н. Применение математической модели формирования дождевого стока с распределенными параметрами при краткосрочном прогнозировании паводков в горных районах / М. Н. Соседко, О. И. Лукьянец // Тр. УкрНИГМИ, 1993. – Вып. 245. – С. 29–39.
16. Сусідко М. М. Математичне моделювання процесів формування стоку як основа прогностичних систем / М. М. Сусідко // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2000. – Т. 1. – С. 32–40.
17. Сусідко М. М. Ймовірнісне прогнозування сільових явищ у Карпатах: технологічні рішення / М. М. Сусідко, О. І. Лук'янець // Наук. пр. УкрНДГМІ. – 2006. – Вип. 255. – С. 252–256.
18. Таланов Е. А. Селевой риск: теоретические основы и практическая значимость / Е. А. Таланов // Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита : тр. Междунар. конф. / отв. ред. С. С. Черноморец. – Пятигорск : Ин-т «Севкавгипроводхоз», 2008. – С. 74–77.
19. Уэй Ф. Численное моделирование движения селей и его приложение для зонирования селевого риска / Ф. Уэй, К. Ху, Ю. Жанг, С. Жиа // Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита : тр. Междунар. конф. / отв. ред. С. С. Черноморец. – Пятигорск : Ин-т «Севкавгипроводхоз», 2008. – С. 23–26.
20. Херхеулидзе Г. И. О возможном влиянии длительной засухи на параметры селевого стока / Г. И. Херхеулидзе // Изменения природной среды на рубеже тысячелетий : тр. Междунар. электрон. конф. – Тбилиси ; Москва, 2006. – С. 53–58.
21. Чепурна Т. Б. Довгостроковий часовий прогноз сільової активності на території гірськокарпатського гідрогеологічного району / Т. Б. Чепурна, Е. Д. Кузьменко // Геодинаміка. – 2011. – № 1 (10). – С. 38–46.
22. Шевчук В. В. Розробка засобів комп'ютерного моделювання сільової небезпеки в межах Карпатського регіону / В. В. Шевчук, О. М. Іванік, М. В. Лавренюк // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики : зб. наук. пр. – К., 2009. – С. 307–318.
23. Шныпарков А. Л. Селевой риск на Черноморском побережье Кавказа / А. Л. Шныпарков, П. К. Колтерманн, Ю. Г. Селиверстов [и др.] // Вест. Моск. ун-та. Сер. 5. География. – 2013. – № 3. – С. 42–48.
24. Яблонский В. В. Связь масштаба селей Карпат с природными и антропогенными факторами селеформирования / В. В. Яблонский // Тр. УкрНИГМИ, 1991. – Вып. 240. – С. 97–122.
25. Державна служба України з надзвичайних ситуацій [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.mns.gov.ua/>
26. Про схвалення Концепції Загальнодержавної цільової соціальної програми захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру на 2012–2016 роки: розпорядження Кабінету Міністрів України від 27 квітня 2011 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/368-2011-%D1%80>
27. Улучшение гидрометеорологического обслуживания (информация о погоде, климате и гидрологии) и снижение уязвимости к стихийным бедствиям в Центральной Азии и на Кавказе, ГУ «Казселезащита» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.meteo.uz/rus/seminar/day1/Day1_s2_f6_rus.pdf

Стаття надійшла до редколегії
03.10.2013 р.