

УДК 551.4

Г. Р. Байрак, І. С. Муха

Львівський національний університет імені Івана Франка

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕРОЗІЙНО-АКУМУЛЯТИВНИХ ПРОЦЕСІВ РІК УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ НА ОСНОВІ ГІС ТА АВТОРСЬКОГО ПРОГРАМНОГО МОДУЛЯ

В статті розглядаються можливості досліджень ерозійно-аккумулятивних процесів рік Українських Карпат методами комп'ютерного моделювання. В основі моделювання закладений той факт, що на поздовжньому профілі днищ долин відображаються особливості ерозійно-аккумулятивної діяльності потоків. Модель явища ерозії-аккумуляції потоку реалізована нами на алгоритмічній мові C++ в середовищі MS VisualStudio 2012 Express з використанням відкритої графічної бібліотеки OpenGL. Вхідними даними для програми є кількість пологих схилів та їх геометрія, середня швидкість потоку на горизонтальній ділянці та значення критичної швидкості. За даними SRTM у програмі ArcGIS були побудовані поздовжні профілі головних долин рік Українських Карпат, а в авторському програмному модулі відображені ділянки ерозійно-аккумулятивних процесів вздовж долин. Виконане дослідження на основі комп'ютерних моделей підтвердило ті явища, що найбільш активною є ерозійна діяльність тимчасових потоків і малих рік з крутим поздовжнім падінням долин. У долинах середніх і великих рік із ввігнутих профілем відбувається акумуляція матеріалу, принесеного з вищележачих ділянок, який рівномірно відкладається по довжині профілю. У долинах із ввігнуто-випуклим профілем на верхніх ділянках йде ерозія, далі незначна акумуляція, потім перенесення наносів і завершується процес значним відкладанням матеріалу у низів'ях водотоку.

Ключові слова: комп'ютерна модель, поздовжні профілі долин рік, ерозійно-аккумулятивні процеси.

Г. Р. Байрак, И. С. Муха

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭРОЗИОННО-АККУМУЛЯТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ РЕК УКРАИНСКИХ КАРПАТ НА ОСНОВЕ ГИС И АВТОРСКОГО ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ

В статье рассматриваются возможности исследований эрозийно-аккумулятивных процессов рек Украинских Карпат методами компьютерного моделирования. В основе моделирования заложен тот факт, что на продольном профиле днищ долин отображаются особенности эрозийно-аккумулятивной деятельности потоков. Модель эрозии-аккумуляции потока реализована нами на алгоритмическом языке C++ в среде MS VisualStudio 2012 Express с использованием открытой графической библиотеки OpenGL. Входными данными для программы являлись количество пологих склонов и их геометрия, средняя скорость потока на горизонтальном участке и значения критической скорости. По данным SRTM в программе ArcGIS были построены продольные профили главных долин рек Украинских Карпат, а в авторском программном модуле отображенные участки эрозийно-аккумулятивных процессов вдоль долин. Выполненное исследование на основе компьютерных моделей подтвердило те явления, что наиболее активной является эрозийная деятельность временных потоков и малых рек с крутым продольным падением долин. В долинах средних и больших рек с вогнутым профилем происходит аккумуляция материала, принесенного из вышележачих участков, который равномерно распределяется по длине профиля. В долинах с вогнуто-выпуклым профилем на верхних участках идет эрозия, дальше незначительная аккумуляция, потом перенесение наносов и завершается процесс значительным откладыванием материала в низовьях водотока.

Ключевые слова: компьютерная модель, продольные профили долин рек, эрозийно-аккумулятивные процессы.

G. R. Bayrak, I. S. Mukha

RESEARCH OF EROSION-ACCUMULATIVE PROCESSES OF THE RIVERS OF THE UKRAINIAN CARPATHIANS BASED ON GIS TECHNOLOGIES AND THE AUTHOR'S PROGRAM MODULE

The article presents a computer modelling methodology in research of erosion-accumulative processes of the Ukrainian Carpathian rivers. The research demonstrates that erosion-accumulative activity of streams is reflected in the longitudinal profile of the valley grounds. The model of stream erosion-accumulation is performed by means of algorithmic language C++ in the environment of MS Visual Studio 2012 Express with the use of open graphic library OpenGL. The program requires the following input data: the quantity of gentle slopes and their geometry, center rate of flow on a horizontal field, and values of critical speed. According to SRTM, longitude profiles of the main valleys of the rivers of the Ukrainian Carpathians were presented in ArcGIS, and in the author's program module that displayed the fields of erosion-accumulative processes along the valleys. This research based on computer models confirmed that the erosive operation of temporary streams and small rivers with an abrupt longitudinal slope of the valleys is the most active. The valleys of the center and big rivers with bent profile accumulate the particles that are brought from upper fields and then evenly distributed along the profile. The valleys with a concave-convex profile are influenced by erosion in the upper parts, then after some accumulation, the particles are brought and deposited in lowlands of a waterway.

Keywords: computer model, longitudinal profiles of the valleys of the rivers, erosion-accumulative processes

Вступ. Сучасні дослідження ерозійно-аккумулятивної діяльності рік все частіше пов'язують з ГІС. Актуальність цих методів для вивчення руслових процесів очевидна. Вони дозволяють закартографувати, відобразити і змодельовати характер проходження процесів, динаміку горизонтальних деформацій русел, ділянок розмивів та акумуляції, площ територій паводкових підтоплень. Цими методами здійснюють обробку великої статистичної інформації з моніторингу рівнів та якості вод, розв'язують задачі щодо прогнозу підтоплень, активності руслових процесів і захисту територій від впливу катастрофічних паводків. Особливої популярності набувають ці методи у зв'язку з можливістю спостережень руслових процесів у реальному часі.

Застосування методів ГІС є значущим для аналізу ерозійно-аккумулятивних процесів у долинах рік Українських Карпат як найбільш активних сучасних екзогенних чинників динаміки регіону. Одним із аспектів програмних комп'ютерних досліджень є можливість моделювання активності ерозії та акумуляції на різних ділянках руслового потоку.

Вихідні передумови. В останнє десятиліття значно зросла кількість досліджень руслових процесів з використанням комп'ютерних методів. Так, починаючи з 2000 р., на основі спеціально розробленого програмного забезпечення почали створювати бази даних руслових систем України для моніторингу якості вод і передбачення паводкових розливів вод [4, 5]. Розвиваються також дослідження діяльності руслових потоків та прогнозів їхньої активності у програмному середовищі ArcGIS, а в останні роки – на базі GIS SAGA і QGIS. Поширеним стало створення цифрових моделей рельєфу (ЦМР) і морфометричний аналіз долин рік на їхній основі.

Щоразу збільшується кількість досліджень з моделювання руслових процесів у ГІС з використанням математичного апарату і візуалізації результатів в інтерфейсі програми. Максимум таких досліджень припадає на ГІС-моделювання районів підтоплень під час паводку вод чи при техногенних навантаженнях [1, 7, 8]. Цікавими в цьому плані є авторська розробка програмного забезпечення С. Кострікова з прогнозу витрат води під час повеней [6], а також комп'ютерні моделі характеру проходження струменевого стоку на різних водозборах О. Світличного

[9]. В результаті багаторічних польових і камеральних досліджень встановлені фактори розвитку ерозії, гідравлічні характеристики потоків, механізми ерозійно-аккумулятивного процесу, закономірності розвитку ерозії та руслових процесів.

Проте власне переходи від ерозійної діяльності потоку до аккумулятивної і, навпаки, змін від акумуляції матеріалу до транспортування та ерозії, вивчені ще недостатньо. Тому завданням даної роботи було проаналізувати і вибрати найбільш суттєві фактори розвитку ерозійно-аккумулятивних процесів, відобразити їхній характер на поздовжніх профілях долин рік за допомогою комп'ютерних засобів.

Мета роботи: у програмному середовищі ArcGIS на основі цифрової моделі рельєфу, побудованої методом TIN в модулі 3d Analyst, відобразити та проаналізувати поздовжні профілі долин рік Українських Карпат; з використанням розробленого авторського модуля, який враховує крутість схилів, швидкість течії і крупність зерен на дні потоку, виявити ділянки активності ерозійно-аккумулятивних процесів вздовж поздовжніх профілів рік від витoku до гирла.

Виклад основного матеріалу. Ерозійний процес починається там, де крутість поверхні більша 1° . Під час інтенсивних дощів чи сніготанення відбувається зливовий стік зі схилів водозборів. Струмені води, стікаючи з поверхні, мають невелику швидкість. Далі вони потрапляють у русла початкових ерозійних форм і їхня швидкість значно зростає. Стікаюча вода набуває кінетичної енергії і у формі турбулентного потоку рухається вниз по схилу. Під час руху збільшується водність (витрата води) і глибина русла. Енергія потоку піднімає з дна частинки ґрунту чи породи, за рахунок чого збільшується його мутність. Наявність твердих частинок у воді зумовлює те, що жива сила потоку витрачається на їх перенесення. Зменшення кількості речовин спричинює перенаправлення енергії потоку на ерозію (розмив) русла. В монографії М. Баришнікова наведено критерій початку ерозійного процесу [2]. Згідно з ним, для потреб практики, суттєвими є два значення швидкостей. Перше, яке називають замулюючим або незсувним, відповідає умові, коли частинки ґрунту з наносів на дні підготовлені до зриву, однак зрив ще не відбувається. При такій швидкості найбільше пульсаційне значення підйомної сили не перевищує ваги

зерна у воді. Друге значення, яке називають розмиваючою або зривною швидкістю, характеризує межу швидкості, вище якої починається інтенсивний розмив русла. При такій швидкості середній рівень пульсаційних підйомних сил дорівнює вазі зерна у воді. Для незсувної середньої швидкості та неоднорідних ґрунтів В. Н. Гончаров [3] отримав формулу

$$v_n = \lg \frac{8,8h}{k_5} \sqrt{\frac{2g(\rho_1 - \rho)k}{3,5\alpha\rho}},$$

а для зриваючої швидкості

$$v_c = \lg \frac{8,8h}{k_5} \sqrt{\frac{2g(\rho_1 - \rho)k}{1,75\alpha\rho}}.$$

Припустимо, що по горизонтальній ділянці вода рухається зі швидкістю v_* і утворює шар товщиною h_* . Потік води (витрата води, віднесена до одиниці довжини) обчислюється за формулою $Q = v_* h_*$. На похилій поверхні товщину шару h визначають за формулою (рис. 1):

$$h = h_* \cos \alpha$$

Вважають, що потік води Q є величина стала, а отже $Q = v h$, де v – середня швидкість води на похилій поверхні. Звідси отримуємо

$$v = v_* / \cos \alpha$$

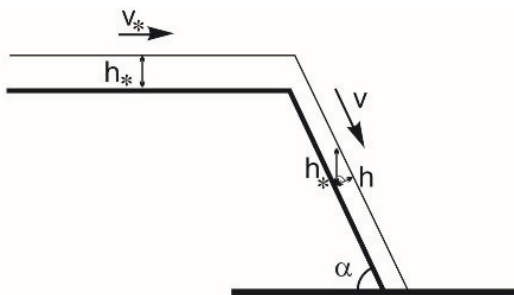


Рис. 1. Швидкість рідини на похилій площині.

Згідно з працею [2], в турбулентному потоці, що рухається з середньою швидкістю v , відрив частинок починається, коли ця швидкість досягає значення v_c . Величина ерозії є пропорційна $v^2 - v_c^2$. Коли на іншій поверхні 2 швидкість v_2 зменшується, то при поверненні до v_c ерозія припиняється, однак відірвані частинки рухаються у воді доти, поки швидкість течії не спаде до величини $v_n = v_c / \sqrt{2}$. Після цього починається акумуляція, величина якої пропорційна $v_c^2 / 2 - v_2^2$. Описана модель є дуже наближеною, однак в цілому охоплює якісну картину ерозії – акумуляції.

Механізм ерозійної та акумулятивної діяльності потоку неоднаковий на різних сегментах

його поздовжнього профілю. На інтенсивність ерозії у руслі впливають швидкість течії, шар стоку, крутість схилів, характер підстелюючих порід. У залежності від чергування пологих і крутих сегментів схилу та відповідно, пухких і міцних порід, що прорізає потік, від витоків до гирла він виробляє характерний поздовжній профіль. На одних ділянках, де незначна крутість схилів, профіль дна потоку має пологий ввігнутий характер. На цих ділянках відповідно зменшується швидкість води, знижується ерозійна і зростає акумулятивна діяльність потоку. На інших ділянках, де збільшується крутість схилів, профіль дна потоку має різкий ввігнутий або випуклий характер. Тут зростає його швидкість й ерозійна діяльність значно переважає акумулятивну. Власне на поздовжньому профілі дна потоків відображаються особливості його ерозійно-акумулятивної діяльності від витоків до гирла.

Описана модель явища ерозії-акумуляції потоку реалізована нами на алгоритмічній мові C++ в середовищі MS Visual Studio 2012 Express з використанням відкритої графічної бібліотеки OpenGL. Вхідними даними для програми є кількість пологих схилів та їх геометрія, середня швидкість потоку на горизонтальній ділянці v_* та значення критичної швидкості v_c . Результати досліджень відображаються у вигляді темніших чи світліших смужок на лінії поздовжнього профілю дна ерозійних форм та малих рік в інтерактивному режимі на екрані монітора. Темнішими смужками на лінії профілю позначені розмиви, світлішими – акумулятивні зони, відсутність смужок забарвлення – транзитні зони переважаючого перенесення матеріалу. Ми проаналізували поздовжні профілі долин рік різних порядків Українських Карпат, а також деяких тимчасових водотоків. За основу була прийнята цифрова модель рельєфу за даними SRTM (наближено її масштаб відповідає 1:75 000). Шляхом оцифрування тальвегів долин у програмі ArcGIS, були візуалізовані поздовжні профілі дниць долин таких рік, як Опір, Сукіль, Мізунка, Свіча, Лімниця, Бистриця-Надвірнянська, Прут на північно-східному макросхилі Карпат, а також р. Латориця, Боржава, Ріка, Тербля, Тересва, Тиса на південно-західному макросхилі (рис. 2). Для уточнення деяких ділянок профілю, які мали нетипову конфігурацію кривої (випуклі чи сильно урвисті ділянки) здійснювали перевірку значень абсолютних

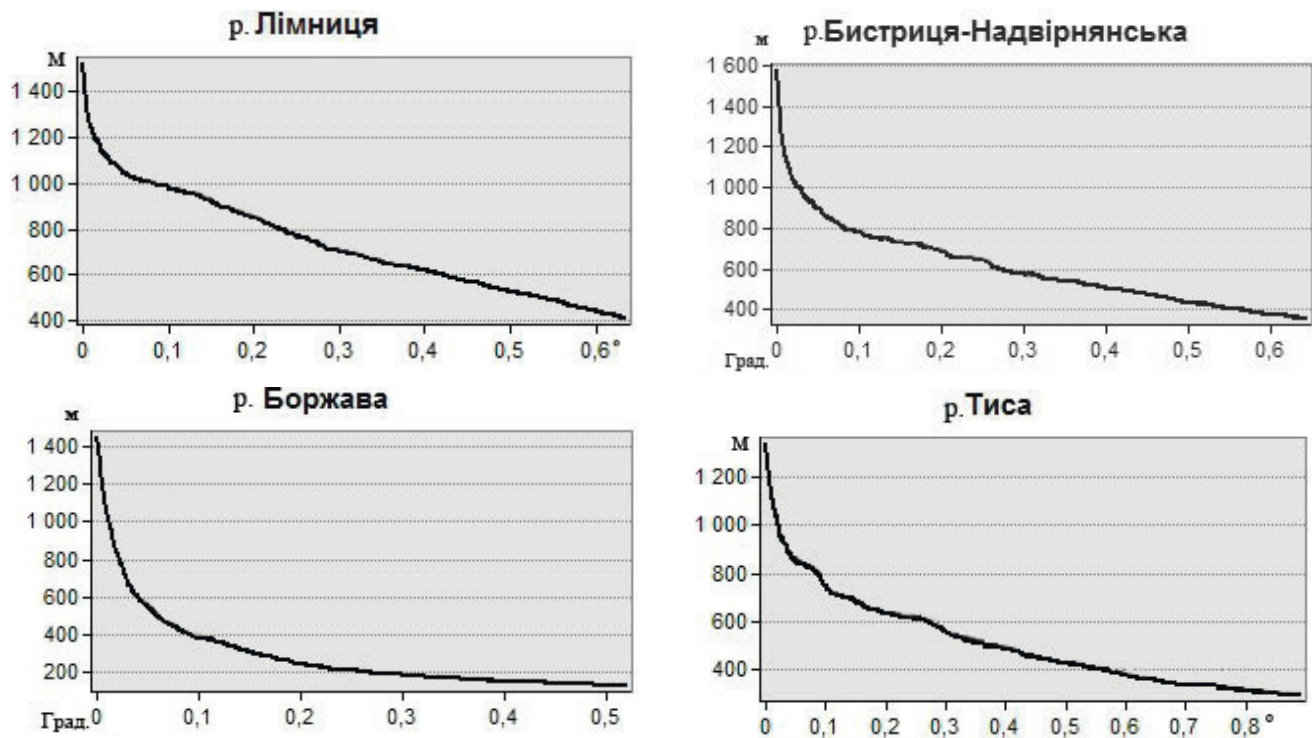


Рис. 2. Поздовжні профілі окремих долин рік Українських Карпат, виконані в програмі ArcGIS.

висот днів долин на космоснімках великої роздільної здатності (5 м/пікс) з Веб-вузла «Планета Земля» (рис. 3).



Рис. 3. Фрагмент долини р. Латориці при огинанні нею Полонинського хребта (космоснімок).

Складені профілі відображають особливості ерозійно-аккумулятивної діяльності карпатських рік від початкових руслових заглиблень до місць їхнього впадіння у ріку вищого порядку. Можна простежити таку закономірність, що профілі в цілому мають ввігнутий характер. На верхніх ділянках профілю кут α близький до прямого. В цих частинах долин переважають тимчасові водотоки, характерні значні перевищення рельєфу, крутість поверхні і швидкість стікання води. Верхні сегменти закінчуються різким вгином, що відповідає місцям злиття тимчасових водотоків і водотоків першого-другого порядку.

Далі лінії графіків мають плавний характер. У багатьох річок він слабо ввігнутий і відповідає середній течії річок. На нижніх ділянках профілю лінія дуже плавна, а в деяких ріках (Бистриця-Надвірнянська, Прут, Боржава, Тересва, Тиса) близька до горизонтальної, що говорить про досягнення ними деякого базису ерозії.

Випуклі у нижній частині ділянки профілю характерні для небагатьох рік, як, наприклад, для р. Латориці в місці перетину нею Полонинського хребта, а також для малих рік і тимчасових водотоків, які перетинають окремі хребти чи їхні відроги. Випуклий профіль мають малі долини, що прорізають шари міцних порід.

За допомогою розробленого програмного забезпечення проведено серію числових експериментів з різними видами профілів рік. Були отримані якісні картини характеру проходження ерозійних й аккумулятивних процесів на різних сегментах профілів (рис. 4). Враховані параметри крутості схилів і швидкості стікання по них води. На верхніх стрімких ділянках графіків переважають головно явища ерозії. Товщина шару (1) показує інтенсивність ерозійного процесу. Вона тим більша, чим більша крутість схилів, оскільки швидкість та енергія потоку направлена на розмив як міцних, так і податливих порід. На найбільш ввігнутих частинах профілів поширене транспор-

тування твердого матеріалу. Далі від середньої частини до низів'їв для ввігнутих ділянок профілів переважає акумуляція наносів на всьому проміжку, а на випуклих відбувається тимчасова акумуляція матеріалу, потім перенесення і значна акумуляція у низів'ях.

Використовуючи авторський програмний модуль, можна змінювати крутість схилів, швидкість руху води і таким чином отримувати відображення проявів ерозійно-аккумулятивної діяльності на поздовжньому профілі ріки, а також в окремих пунктах, які відповідають координатам точки на місцевості.

Висновки. Виконане дослідження на основі комп'ютерних моделей особливостей ерозійних та аккумулятивних процесів водотоків Українських Карпат підтвердило ті явища, що найбільш активною є ерозійна діяльність тимчасових потоків і малих рік з крутим

поздовжнім падінням долин. На цих елементах річкової мережі домінує виніс матеріалу на всьому проміжку поздовжнього профілю. У долинах середніх і великих рік із ввігнутим профілем відбувається акумуляція матеріалу з вищележачих ділянок рівномірно по всій довжині профілю. У долинах із ввігнуто-випуклим профілем на верхніх ділянках йде ерозія, далі незначна акумуляція, потім перенесення наносів і завершується процес значним відкладанням матеріалу у низів'ях водотоку.

Розроблена модель частково пояснює різну ерозійно-аккумулятивну активність гірських рік і може бути використана для прогнозування їхнього розвитку та створення ефективних заходів на тих ріках, де інтенсивність ерозії та акумуляції вища.

Рецензент: кандидат географічних наук, доцент І. С. Круглов

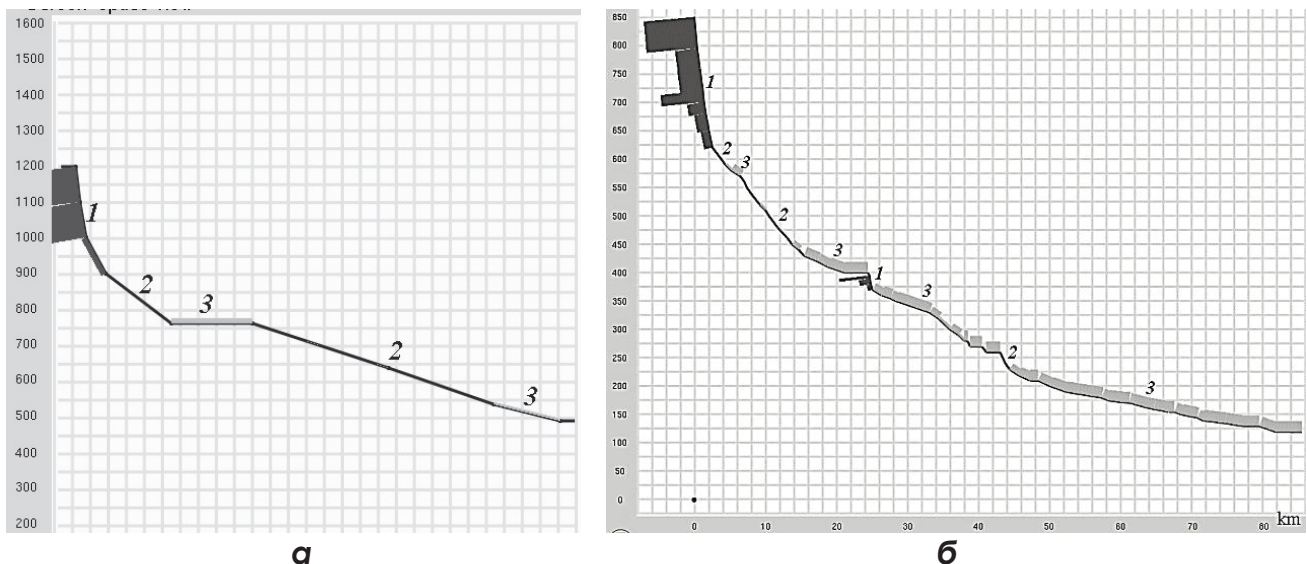


Рис. 4. Найбільш характерні поздовжні профілі долин рік Українських Карпат та прояви ерозійно-аккумулятивної діяльності на них за результатами реалізації комп'ютерного моделювання: а – р. Мізунки, б – р. Латориці.
Умовні позначення: процеси 1 – ерозії, 2 – транспортування, 3 – акумуляції наносів.

Література:

1. Байрак Г. Р. Застосування ГІС для візуалізації паводконебезпечних районів із врахуванням морфології та літології річкових долин (на прикладі долин рік Прибескидського Передкарпаття)/Г. Р. Байрак//Геодезія, картографія і аерофотознімання. Міжвідомч. наук.-техн.збірн. – 2013. – Вип. 78. – С. 43–48.
2. Барышников Н. Б. Руслые процессы. Учебник/Н. Б. Барышников – СПб.: изд. РГГМУ, 2008. – 439 с.
3. Гончаров В. Н. Динамика русловых потоков/В. Н. Гончаров – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 368 с.
4. Іщук О. О. Прогнозування й оцінка наслідків екстремальних повеневих ситуацій засобами просторового аналізу ГІС/О. О. Іщук, Є. С. Середінін//Вісник геодезії та картографії. – 2000. – № 2. – С. 37–42.
5. Комп'ютеризовані регіональні системи державного моніторингу поверхневих вод: моделі, алгоритми, програми. Монографія/Під ред. В. Б. Мокіна. – Вінниця: «УНІВЕРС Вінниця», 2005. – 310 с.
6. Костріков С. В. Розподілене гідрологічне моделювання водозбірних басейнів через ГІС-засоби/С. В. Костріков//Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія» – 2012. – № 1004, Вип. 7. – С. 22–30.

7. Моделювання ризику прояву техногенних повеней і масштабів підтоплення території у районах видобування кам'яного вугілля/[I. P. Kovalchuk, JE. Ivanov, N. Lobanska, O. Terschuk]//Human impact on the fluvial processes of Eurasian rivers. Collected Works. – Bydgoszcz, 2012. – С. 180–189.

8. Подальший розвиток і гармонізація Верхньо-Тисайських українських і угорських програм розвитку протипаводкового захисту та створення інтегрованої системи прогнозування паводків із застосуванням моделей на основі ГІС [Електронний ресурс]//Угорсько-український проект протипаводкового захисту. – 2011–2013. – Режим доступу: <http://modeling.buvrtysa.gov.ua/>

9. Светличный А. А. Склоновый эрозионный процесс и принципы математического моделирования, расчета и прогноза водной эрозии почв/А. А. Светличный//Фіз. геогр. та геоморфологія. – К.: ВГЛ «Обрії», 2012. – Вип. 2 (66). – С. 116–122.

УДК 912.502 (477.54)

Л. Б. Поліщук, В. С. Попов, Ю. К. Бурдун, О. О. Карасьов, А. І. Янченко

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

ІНТЕРАКТИВНА КАРТА: ОХОРОНА ПРИРОДИ ХАРКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

В статті представлено результати створення інтерактивної карти охорони природи Харківської області на базі веб-ГІС GeoMixer. Запропоновано її тематичний зміст за компонентами природи на основі аналізу існуючих картографічних творів та звітних матеріалів про проведені природоохоронні заходи у межах регіону. Розкрито переваги розробленої карти для навчання та подальшого планування природоохоронних заходів і раціонального природокористування.

Ключові слова: інтерактивна карта, охорона природи, компоненти природи.

Л. Б. Полищук, В. С. Попов, Ю. К. Бурдун, А. О. Карасев, А. И. Янченко

ИНТЕРАКТИВНАЯ КАРТА: ОХРАНА ПРИРОДЫ ХАРЬКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

В статье представлены результаты создания интерактивной карты охраны природы Харьковской области на базе веб-ГИС GeoMixer. Предложено ее тематическое содержание по компонентам природы на основе анализа существующих картографических произведений и отчетных материалов о проведенных природоохранных мероприятиях в пределах региона. Раскрыты преимущества разработанной карты для обучения и дальнейшего планирования природоохранных мероприятий и рационального природопользования.

Ключевые слова: интерактивная карта, охрана природы, компоненты природы.

L. Polishchuk, V. Popov, I. Burdun, O. Karasov, A. Yanchenko

INTERACTIVE MAP: NATURE PROTECTION OF THE KHARKIV REGION

The article presents results of creating an interactive map of nature protection of the Kharkiv region based on Web GIS GeoMixer. A thematic content for each component of the nature was suggested. The content is based on the analysis of existing cartographic products and reporting materials of environmental measures that have been organized in the region. The advantages of the developed map for learning and further environmental planning and management were revealed.

Keywords: interactive map, nature protection, components of nature.

Вступ. Для відображення природоохоронних заходів будь-якої території як загальнодержавного, так і регіонального рівня необхідно використання відповідних карт. Ця потреба виникає як у вчителів, викладачів, школярів та студентів (для унаочнення навчальних матеріалів про природоохоронну діяльність), так і у спеціалістів відомчих природоохоронних структур (для подальшого планування природоохоронних заходів у межах певних територій). На сьогодні у відкритому доступі значна кількість опублікованих та звітних матеріалів про природоохорон-

ні заходи у межах регіону, чого не можна сказати про наявність карт охорони природи. Прикладом є карта «Охорона природи» Харківської області [3], використання якої у навчальному процесі значно посилює інформативність навчального матеріалу з цієї тематики та сприяє реалізації принципу наочності у навчанні [4].

Державний стандарт базової і повної загальної середньої освіти передбачає формування в учнів інформаційно-комунікативної компетентності, що полягає у здатності використовувати відповідні технології та засоби