

**Eugen Iwanow** (eugen\_ivanov@email.ua)

**Jurij Andrejczuk** (yuriy.andreychuk@gmail.com)

**Witalij Klujnik** (vvityok@gmail.com)

*Wydział Geografii Narodowego Uniwersytetu Lwowskiego im. Iwana Franki  
ul. Doroszenki, 41, UA – 79000 Lwów, Ukraina*

## **Geoekologiczne kartowanie i modelowanie systemów przyrodniczo-gospodarczych na byłych wyrobiskach kopalni siarki na Podkarpaciu**

### **Geocological mapping and modeling of the naturally-economic systems in Precarpathian former sulfur opencast mine**

#### **STRESZCZENIE**

W artykule przedstawiono wyniki badań stanu ekologicznego systemów przyrodniczo-gospodarczych kopalni siarki na Podkarpaciu ukraińskim. Autorzy przeprowadzili badania w latach 1997–2014. Badania geoekologiczne prowadzono na terenach górniczo-przemysłowych geosystemów obszarów “Jaworiwski zbiornik wodny”, “Podoroznenski zbiornik wodny” i “Zbiorniki wodne Opoła”. W tekście poddano reasumpcji materiał dotyczący teorii, metodyki i praktyki geoinformacyjnego kartowania i modelowania terenów górniczo-przemysłowych. Na przykładzie terenów przyległych do Jaworiwskiego zbiornika wodnego, powstałego na miejscu największej na świecie kopalni siarki o powierzchni 9,5 km<sup>2</sup> i głębokości 70 m, przedstawiono podejścia do kartowania krajobrazowego antropogenicznych, antropogeniczno-transformowanych i naturalnych systemów geograficznych. Pokazano mocne i słabe strony cyfrowego modelu terenu dla obszaru zalanego zbiornika wodnego i formującego się pasa brzegowego. Przeanalizowano warunki rozwoju egzogenicznych procesów: abrazji, erozji powierzchniowej i liniowej, uskoków, krasu, podtopienia i in. Oszacowano współczesny stopień antropogenicznej transformacji gleby i roślinności.

#### **ABSTRACT**

The Precarpathian sulfurous deposits nature-economic systems experience of ecologic conditions research where displayed. In 1997–2014 years by authors where made geocological researches within mining (post mining) geosystems of “Yavoriv waterbody”, “Podorozhne waterbody” and “Opilla waterbodies” areas. A fact material about theory, methods and practice approaches of mining territories geoinformational modeling and cartography where generalized. On example of “Yavoriv waterbody” key area created on biggest in world sulfurous carrier place by area of 9,5 km<sup>2</sup> and depth by 70 m. Approaches of anthropogenic, anthropogenic-transformed and nature geosystems landscape cartography where considered. Features of digital elevation model in waterbodies flooding and shoreline forming conditions were uncovered. Also were analyzed conditions of dangerous processes (abrasion, plane and linear erosion, landslides, karst, flooding, etc.) development. The contemporary anthropogenic transformation level of soil and vegetation cover made estimation.

**Słowa kluczowe:** wyrobisko siarki, antropogeniczna transformacja rzeźby, Podkarpacie

**Key words:** sulfurous carrier, anthropogenic relief transformation, Precarpathian region

## WSTĘP

Po zakończeniu wydobycia siarki w obrębie Przedkarpackiego Basenu Siarkowego zaczęły formować się systemy naturalno-gospodarcze, które wyróżniają się wysoką dynamicznością i złożonością składników strukturalnych. W okresie lat 1997–2014 przeprowadzono geoekologiczne badania w obrębie rekultywowanych systemów naturalno-gospodarczych, które powstały na miejscu odkrywkowych wyrobisk siarki, wysypisk, odstojników, działek podziemnego wytopu siarki itp. Na podstawie wyników badań sporządzono szczegółowe mapy krajobrazowe i ekologiczno-krajobrazowe dla trzech badanych terenów: „Jaworiwski zbiornik wodny”, „Podorożnenski zbiornik wodny” i „Zbiorniki wodne Opola”. Te specyficzne systemy wodne rozwijają się w obrębie byłych kopalni siarki. Jednocześnie w sąsiedztwie zbiorników powstają i rozwijają się naturalne i antropogeniczne systemy krajobrazowe, które ulegają ewolucji.

Opracowanie i interpretacja wyników badań geoekologicznych zostały przeprowadzone przez zespół laboratorium modelowania i kartowania geoekologicznego Narodowego Uniwersytetu Lwowskiego im. Iwana Franki. W pracy laboratorium biorą aktywny udział młodzi naukowcy i studenci Katedry Konstruktywnej Geografii i Kartografii. Wyniki badania stanu geoekologicznego rekultywowanych systemów naturalno-gospodarczych Przedkarpackiego Basenu Siarkowego są prezentowane w licznych publikacjach naukowych (Ivanov 1999, 2014; Ivanov, Kliuinyk 2008, 2009, 2010, 2014, 2014a; Kovalchuk i in. 2008; Kovalchuk i in. 2011 i inni).

## MATERIAŁY I METODY

Wyjściowymi materiałami kartograficznymi podczas prac terenowych były plany robót górniczych z naniesioną na nie mapą topograficzną w skali 1:2000 lub 1:5000. Na podstawie opracowanej metodyki kartowania geoekologicznego (ekologiczno-krajobrazowego) (Ivanov, 2001, 2002; Ivanov i in. 2006) i wyników badań geoekologicznych w zasięgi obszarów reprezentatywnych wykonano serię map krajobrazowych i krajobrazowo-ekologicznych, na których podstawowymi jednostkami są jednolite jednostki krajobrazowe i złożone uroczyska.

Wykorzystanie metod kartograficznego i geoinformacyjnego modelowania stanu ekologicznego systemów naturalno-gospodarczych ma szerokie zastosowanie w geografii. Obecnie dostępne są specjalne systemy GIS, które umożliwiają zestawienie materiałów do oceny antropopresji na środowisko naturalne. Jednocześnie badaczom często brakuje doświadczenia w wykorzystaniu tych systemów. Bazując na wynikach szerokich badań geoekologicznych w systemach naturalno-gospodarczych regionu zachodniego Ukrainy (Heoekolohichne... 2010; Kovalchuk i in. 2010; Kovalchuki in. 2004; Kowalczuk i in. 2007) podjęto próbę modelowego ujęcia zmian zachodzących na wspomnianych obszarach badań szczegółowych.

W pracach badawczych wykorzystano głównie oprogramowanie firm *ESRI*, *ERDAS* i *Easy Trace Group*. Były to programy *ArcGIS 9.3* (dla budowy tematycznych warstw wektorowych, obliczenia i modelowania), *ERDAS Imagine 2010* (dla obróbki zdjęć lotniczych i satelitarnych) i *Easy Trace Pro v8.7* (dla automatycznej wektoryzacji). Do wykonania postawionych zadań wykorzystano różne zdjęcia satelitarne *Landsat 7 ETM+*, *Spot* i *Salut* o rozdzielczości od 10 do 30 m wykonane w okresie od 2004 do 2013 roku.

Wspomniany materiał uzupełniono mapami topograficznymi i tematycznymi w skali 1:10000 – 1:50000 i zdjęciami lotniczymi badanych terenów. W celu sprawdzenia i weryfikacji wykorzystywanych map, zdjęć lotniczych i satelitarnych przeprowadzono pomiary z wykorzystaniem przyrządów geodezyjnych i GPS. Równoległe do tych prac zebrano informacje niezbędne do bazy danych, która w kolejnym etapie prac wykorzystana została do modelowania.

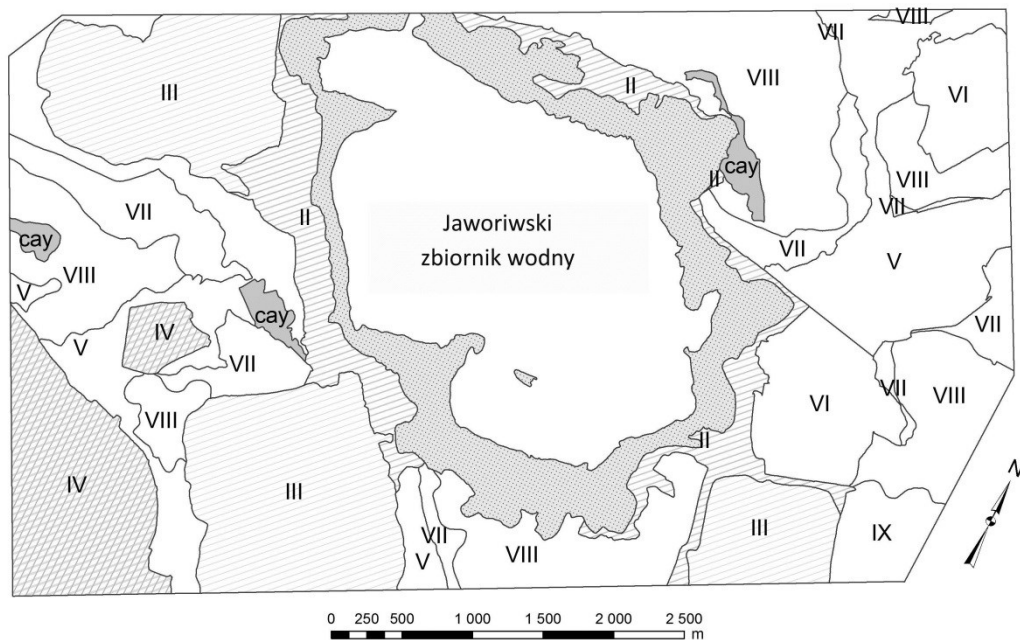
## **KARTOWANIE KRAJOBRAZOWE**

Kartowanie krajobrazowe przeprowadzono na terenie Jaworińskiego zbiornika wodnego. Teren badań jest położony niedaleko miasta Jaworów, w obwodzie lwowskim, 2,5 km na północ od drogi Krakowiec–Lwów. Obejmuje akwen zbiornika, powierzchnię dyrekcji i kompleksu technologicznego Nowojaworińskiego Państwowego Górniczo-Chemicznego Przedsiębiorstwa “Siarka”, sanatorium “Szkło” i sąsiadujących z nimi miejscowości wiejskich. Powierzchnia badanego terenu wynosi 26,3 km<sup>2</sup>. Obszar badań ma kształt zbliżony do prostokąta o wymiarach 4,0 × 7,0 km.

Wyjściowymi materiałami podczas kartowania terenowego były plany prac górniczych z naniesioną na niego podstawą topograficzną w skali 1:5000, zdjęcia satelitarne *Landsat 7 ETM+* i *Spot DOI-10* i seria szczegółowych zdjęć lotniczych (Ivanov, Kliuinyk, 2008). Podstawowymi obiektami kartowania krajobrazowego były m.in. typy krajobrazów górniczo-przemysłowych Jaziwskiej kopalni siarki (największej na świecie o powierzchni 9,5 km<sup>2</sup> i głębokości 70 m), trzech zewnętrznych hałd, hałdy wodnej, odstożników, zwałowisk odpadów i zbiorników wodnych. Podstawowe kryteria ich wyodrębnienia są zbieżne z kryteriami rozgraniczenia naturalnych systemów krajobrazowych. Ze względu na gleby i roślinność, które znajdują się w początkowym (pionierskim) stadium, takie antropogeniczne systemy geograficzne są niepełne. Rozwój procesów powoduje formowanie dookoła górniczo-przemysłowych obiektów antropogenicznie transformowanych systemów krajobrazowych. Właśnie dlatego pierwszorzędne znaczenie mają granice geologiczno-geomorfologiczne (genetyczne) pełniące decydującą rolę w kolejnym oddzieleniu i rozróżnieniu górniczo-przemysłowych systemów geograficznych na osobne części morfologiczne (przeważnie mikro- i mezofomy). Dla tych form reliefu są charakterystyczne różne mikroklimatyczne i hydrogeologiczne warunki, procesy formowania gleby i roślinności (Ivanov, Kliuinyk 2014). W procesie kartowania krajobrazowego ułożyliśmy modele na poziomie miejscowości krajobrazowych (Ryc. 1) i złożonych uroczysk.

Ze względu na to, że składowe ekosystemów pogórniczych obszaru dopiero są kształtowane i skutek tego są dynamiczne, uważamy że na etapie tworzenia środowiska należy używać wyłącznie ściśle zdefiniowanych jednostek taksonomicznych systemu hierarchicznego – takich jak płat krajobrazowy i złożone uroczysko. Znalazienie granic złożonych uroczysk odbywa się z jednoczesnym uwzględnieniem granic pasm, podziału powierzchni na osobne mezofomy reliefu oraz według innych cech krajobrazowych. Określenie wydzieleni związane jest z ujawnieniem granic rozpowszechnienia litologicznie różnorodnych skał, osadów lub substratów. Granice typów antropogenicznych są określane w procesie systematyzacji pasm złożonych uroczysk. Przede wszystkim pod uwagę brane są granice genetycznie jednolitych pasm,

które są formowane pod wpływem jedynej morfogenezy antropogenicznej (Kovalchuk i in. 2011).



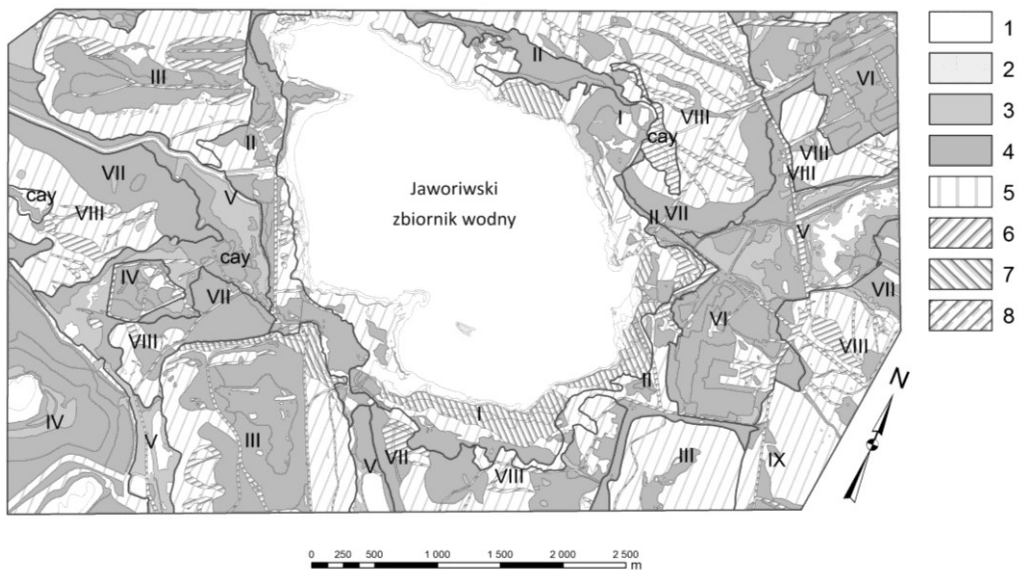
Ryc.1. Typy krajobrazowe terenu badań. Genetyczne typy krajobrazów: I-IV. Antropogeniczny: I) wyrobiskowy; II) przywyrobiskowy i przyhałdowy; III) hałdowy; IV) odstożnikowy. V. Antropogenicznie transformowany (naturalno-antropogeniczny). VI. Naturalny (antropogenicznie modyfikowany). (źródło: opracowanie własne):

Fig.1. Landscape typology of study area. (source: own works)

## BUDOWA NUMERYCZNEGO MODELU TERENU

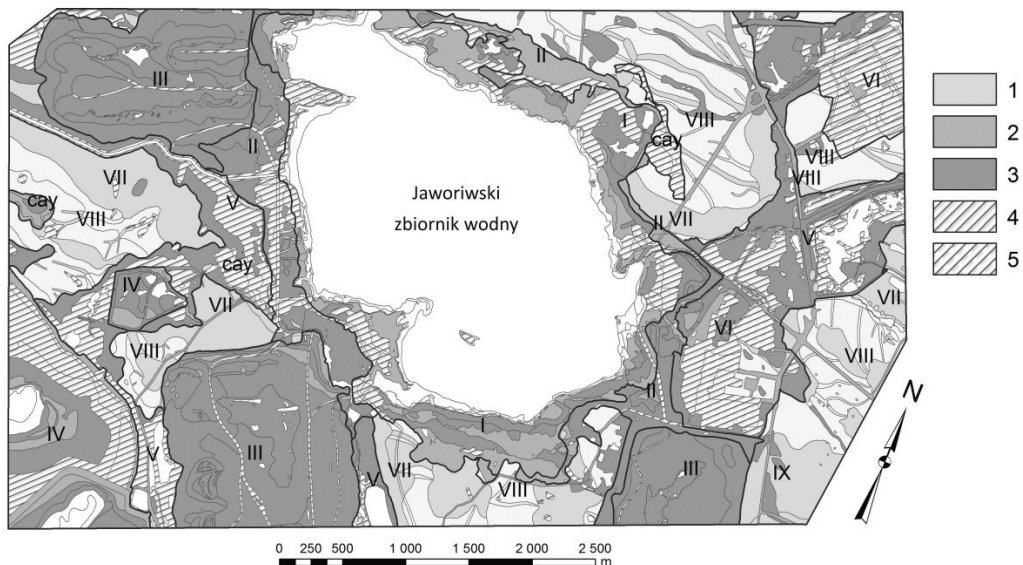
Modelowanie komputerowe zatopienia Jaziwskiej kopalni siarki, rozwoju innych procesów egzogenicznych oraz kształtowania gleby i roślinności ma pewną specyfikę. Dla stworzenia pełnego modelu reliefu uściślono poziomy powierzchni wysokościowych kopalni i hałd z zastosowaniem pomiarów GPS. Dalej z pomocą modułu analizy geoprzestrzennej *Spatial Analyst* obliczono poziomy zatopienia wyrobiska odkrywkowego (najwyższy poziom – 232 m). Przy tym określony stosunek między pochyleniem brzegów, litologią skał i obliczeniową wysokością fal na istniejącym poziomie zbiornika wodnego umożliwiły określenie strefy aktywizacji procesów abrazyjnych i konturów zmienionej linii brzegu.

Z pomocą stworzonego modelu cyfrowego reliefu obliczono wartość nachylenia stoków i ich ekspozycji. Z pomocą funkcji *Flow Direction* i *Flow Accumulation* otrzymano charakterystyki hydrologiczne: kierunek i akumulacja powierzchniowego spływu. Umożliwiają one określenie warstwy spływu w czasie ulewnego deszczu dla osobnych zbiorników wodnych i strefy aktywizacji erozji liniowej i zmywania powierzchniowego.



Ryc.2. Przejaw procesów egzogenicznych w obrębie obszaru badań: 1 – tworzenie strefy przybrzeżnej pod wpływem fal; 2 – abrazja; 3 – ciągłe zabagnienie, kras; 4 – częściowe zabagnienie, ciągłe podtopienie; 5 – częściowe podtopienie, słabe zmywanie powierzchniowe; 6 – silne zmywanie powierzchniowe, procesy erozyjne; 7 – procesy osuwiskowe i erozyjne; 8 – zanieczyszczenie środowiska. (źródło: opracowanie własne)

Fig.2. Exogenous processes exhibition in study area. (source: own works)



Ryc.3. Stopień antropogenicznej transformacji gleb obszaru badań (analiza stanu gleby): 1 – bardzo niski stopień; 2 – niski stopień; 3 – średni stopień; 4 – wysoki stopień; 5 – bardzo wysoki stopień. (źródło: opracowanie własne)

Fig.3. Soil cover anthropogenic transformation of study area (analysis of soil cover condition). (source: own works)

## **MODELOWANIE ROZWOJU PROCESÓW EGZOGENICZNYCH**

Dookoła Jaworińskiego zbiornika wodnego spostrzegamy szerokie spektrum procesów egzogenicznych o pochodzeniu naturalnym i antropogenicznym. Wśród nich są rozpowszechnione takie zjawiska egzogeniczne jak zatopienie, podtopienie i wtórne zabagnienie, procesy osuwiskowe, erozyjne i krasowe (Ryc. 2). W płatach krajobrazowych płaskich międzypasmowych den dolin, obszarów zalewowych i niskich teras rzecznych przeważają procesy zabłocenia i erozji bocznej. Płatom falistych równin fluwiogłacjalnych są właściwe powierzchniowe zmywanie i kras. Na wykopach wyrobiska i zewnętrznych stokach hałd zewnętrznych aktywizowane są procesy osuwiskowe. Największe osuwisko (o szerokości ponad 1 000 m) zostało ukształtowane na wschodniej części wyrobiska. Niewielkie osuwiska zauważalne są w wielu miejscach (Ivanov, Kliuinyk, 2010).

Spektrum procesów egzogenicznych ciągle się zmienia, intensywność przejawu jednych procesów spada, a innych na odwrót istotnie się podwyższa. Warto wyróżnić zmiany w trybie hydrologicznym powodujące rozwój podtopienia i zabagnienia. Największe przestrzenie podtopień są widoczne w dolinach rzek Szkło, Hnojenc i Jaksza, zwłaszcza w miejscowościach płaskich powierzchni obszarów zalewowych i fragmentów pierwszej terasy nadzalewowej.

## **MODELOWANIE STOPNIA ANTROPOGENICZNEJ TRANSFORMACJI GEOSYSTEMÓW**

W celu powstrzymania rozwoju procesów krasowych, abrazyjnych i erozji, zanieczyszczenia wód powierzchniowych, rozwiązania innych problemów ekologicznych i ekonomicznych regionu w roku 2000 SA "Hirchimprom" opracował alternatywę likwidacji kopalni siarki przewidującej wykorzystanie sił i procesów natury w postaci przekształcenia odkrywki w zbiornik wodny (Rozrobka... 2000). W latach 2007–2008 skończono zatapianie wyrobiska siarki. Konieczne jest także przeprowadzenie prac rekultywacyjnych (wybudowanie systemu powierzchniowego ścieku wód, częściowe poziomowanie i wzmocnienie brzegów i in.), które mają na celu stworzenie strefy rekreacyjnej dookoła nowostworzonego zbiornika wodnego (Haidin, Zozulia 2009).

Obecnie rozpoczyna się proces kształtowania systemów przyrodniczo-gospodarczych dookoła Jaworińskiego zbiornika wodnego, który przewiduje określenie funkcjonalnego przeznaczenia dla osobnych odprowadzeń. Jednak warto zwrócić uwagę na wysoką intensywność przejawu niebezpiecznych procesów egzogenicznych, które istotnie transformują środowisko. Tereny całościowo zmienione pod wpływem tych procesów mogą przekształcić się w nieprzydatne dla jakiegokolwiek ich gospodarczego wykorzystania (Ivanov, Kliuinyk 2009). W celu opracowania rekomendacji dotyczących optymalizacji stanu środowiska naturalnego zbadaliśmy współczesny stopień transformacji antropogenicznej potencjalnych systemów naturalno-gospodarczych. Na podstawie wyników przeprowadzonych badań geoekologicznych stworzono modele formowania gleby i roślinności oraz stopień ich transformacji (Ryc. 3).

Proces formowania struktury krajobrazowej kluczowego terenu "Jaworiński zbiornik wodny" nie jest ukończony. Większość górniczo-przemysłowych systemów geograficznych (w wieku od 3–5 do 15–20 lat) pojawia się nadal, transformują się, czy też zanikają obiekty wodne, komplikuje się struktura gleby i roślinności. Na osobnych

powierzchniach jest wykonywana techniczna rekultywacja z formowaniem nowych i zmienionych mikro- i mezoform reliefu, rozpoczęto zabudowę pasma brzegowego obiektami rekreacyjnymi.

## PODSUMOWANIE

Wynikiem kartowania i modelowania geoekologicznego badanych terenów wszystkich kluczowych terenów jest stworzenie cyfrowego modelu reliefu i mapy krajobrazowej w skali 1 : 5 000. Na ich podstawie stworzono serię modeli ekologiczno-krajobrazowych, które odzwierciedlają charakterystyki przejawu i rozwoju procesów egzogenicznych (osuwiskowych, erozyjnych, krasowych, podtopień i in.), powstanie i funkcjonowanie gleby i roślinności, transformacje składników otaczającego środowiska naturalnego. Stworzone mapy i modele geoekologiczne pomogły w opracowaniu rekomendacji dotyczących optymalizacji stanu systemów naturalno-gospodarczych na terenie likwidowanych kopalni siarki oraz doskonaleniu istniejących sieci monitoringu ekologicznego i schematu planowania terytorium i obiektów.

Główną zaletą modelowania geoinformacyjnego jest możliwość wizualnego przedstawienia skomplikowanych procesów i zjawisk zarówno w sposób statyczny, jak i uwzględniający dynamikę. Dodatkowym atutem jest możliwość budowania interakcyjnych modeli, które pozwalają na otrzymywanie wielowariantowych odpowiedzi i jednocześnie charakteryzują realny stan poszczególnych komponentów środowiska.

## LITERATURA

Haidin A., Zozulia I. (2009). *Novi ozera Lvivshchyny*: Druhe vydannia, pereroblene i dopovnene. Lviv: Afisza. 60.

*Heoekolohichne modeliuvannia stanu pamiatok pryrody ta istorii* (2010) / [Yu. Andreichuk, A. Bokotei, O. Vovk ta in.] / za zah. red. I. Kovalchuka, Ye. Ivanova. Lviv: 214.

Ivanov Ye. (1999). *Ekoloho-landshaftoznavchi doslidzhennia terytorii porushenykh hirnychovydobuvnoiu promyslovistiu (na prykladi Yavorivskoho DHKhP "Sirka")*. Heohrafiia i suchasnist, (1): 94–100.

Ivanov Ye. (2001). *Metodyka ekoloho-landshaftoznavchoho kartohrafuvannia hirnychovydobuvnykh terytorii*. Naukovi visnyk Chernivetskoho universytetu. Chernivtsi: Ruta, 104. Heohrafiia. 207–213.

Ivanov Ye. (2002). *Osoblyvosti landshaftnoho znimannia i kadastru v mezhakh rodovyskh korysnykh kopalyn*. Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznimannia. (62). 110–115.

Ivanov Ye. (2014). *Formuvannia postmaininhovykh landshaftnykh system Peredkarpatskoho sirkonosnoho baseinu*. Heopolitika i ekoheodinamika rehionov. 10.2. 535–543.

Ivanov Ye., Kliuinyk V. (2008). *Stvorennia heoinformatsiinoho banku danykh "Iavorivske ozero"*. Resursy pryrodnykh vod Karpatskoho rehionu (Problemy okhorony ta ratsionalnoho vykorystannia): Materialy Somoi mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii. Lviv: 212–215.

Ivanov Ye., Kliuinyk V. (2009) *Rozvytok protsesiv transformatsii ta neobkhidnist okulturennia terytorii dovkola Yavorivskoho ozera*. Resursy pryrodnykh vod Karpatskoho regionu (Problemy okhorony ta ratsionalnoho vykorystannia): Materialy Vosmoi mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii. Lviv: 215–217.

Ivanov Ye., Kliuinyk V. (2010). *Modeliuvannia rozvytku nebezpechnykh pryrodno-antropohennykh protsesiv u zonakh zatoplennia sirchanykh karieriv Peredkarpattia*. Stan i perspektyvy rozvytku konstruktyvnoi heohrafii: Materialy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii. Lviv: 212-216.

Ivanov Ye., Kliuinyk V. (2014). *Landshaftna struktura kliuchovoi dilianky "Iavorivska vodoima"*. Landshaftoznavstvo: stan, problemy, perspektyvy: Materialy mizhnarodnoi naukovo konferentsii. Lviv: 53-58.

Ivanov Ye., Kliuinyk V. (2014a). *Peredumovy formuvannia pryrodno-hospodarskykh system Peredkarpatskoho sironosnoho baseinu*. Heohrafiia ta ekolohiia: nauka i osvita: Materialy V Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii. Uman: 112-116.

Ivanov Ye., Kovalchuk I., Andreichuk Yu. (2006). *Teoretyko-metodolohichni osnovy i metodyka heoekolohichnoho kartohrafuvannia i modeliuvannia hirnycho-promyslovykh heokompleksiv*. Naukovyi visnyk Volynskoho derzhavnogo universytetu im. Lesi Ukrainky. Heohrafichni nauky.(2). 15-23.

Kovalchuk I., Andreichuk Yu., Ivanov Ye., Lobanska N. (2010). *Analiz morfometrychnykh pokaznykiv za dopomohou HIS-tekhnologii*. Inzhenerna heodeziia. (56). 65-73.

Kovalchuk I., Ivanov Ye., Andreichuk Yu. (2004) *Modeliuvannia stanu pryrodno-antropohennykh system z vykorystanniam HIS-tekhnologii*. Heodeziia, kartohrafiia i aerofotozнимannia. (65). 105-110.

Kovalchuk I., Ivanov Ye., Andreichuk Yu., Lobanska N., Kliuinyk V. (2008). *Kartohrafichne i heoinformatsiine modeliuvannia pryrodno-hospodarskykh system Zakhidnoho regionu Ukrainy*. Kartohrafiia ta vyshcha shkola. (13). 61–72.

Kovalchuk I., Ivanov Ye., Kliuinyk V. (2011). *Kartohrafuvannia heoekolohichnoho stanu pryrodno-hospodarskykh system hirnycho-promyslovykh terytorii*. Chasopys kartohrafii. (2). 129-137.

Kowalczyk I., Iwanow Je., Andrejczuk Ju. (2007). *Geoekologiczne kartowanie i modelowanie zróżnicowanych funkcjonalne systemów naturalno-gospodarczych*. Współczesne problemy metodyki kartograficznej: Prace i studia kartograficzne / Pod red. M. Sirko i P. Cebrykova. Lublin. (1). 86-90.

*Rozrobka dokumentatsii na pershocherhovi roboty po vidnovlenni samoplynnoho stoku richok z vrakhuvanniam alternatyvnoho variantu likvidatsii sirchanoho rudnyka* (2000). Zvit po NTR / Kerivnyk roboty I. I. Zozulia. Lviv: IHKhP; VAT "Hirkhimprom". 98.