

Ф.Т. Шумаков, О.Т. Азімов

ВИКОРИСТАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ І ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ДЛЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ВОДИ У ВОДОЙМАХ

За даними аерокосмічних знімків з використанням геоінформаційних технологій встановлено, що експлуатація Хотиславського кар'єру в Білорусі може призвести до збільшення стоку поверхневих вод у Чорне море й до зменшення його — у Балтійське. Це спричинить затримку водного обміну в Шацьких озерах, що зумовить посилення впливу природних і антропогенних факторів на евтрофування озер Шацького національного природного парку. Для моніторингу цього процесу розроблено й апробовано геоінформаційну технологію використання даних ETM+ з космічного апарата LANDSAT-7 для трофічної класифікації озер території парку.

Ключові слова: Шацький національний природний парк, озера, Хотиславський кар'єр, космічні зображення, LANDSAT, антропогенне евтрофування, трофічна класифікація.

Актуальність та постановка завдання. Важливим природним комплексом Східної Європи є транскордонний Поліський регіон, який охоплює території України, Білорусі, частково Польщі й Російської Федерації і включає великі лісові масиви, болота, луки, великі й малі ріки, струмки, різноманітні озерні екосистеми, а також меліоративні системи. Тут проходить головний Європейський вододіл, який розділяє басейни Чорного (водозбірний басейн р. Прип'ять) і Балтійського (водозбірний басейн р. Західний Буг) морів. Загальною ознакою наземних, водно-болотних, водних екосистем Поліського регіону, незалежно від їх типу, є те, що всі вони зазнають значного антропогенного навантаження.

У згаданому регіоні України розташований Шацький національний природний парк (ШНПП) — один з найбільших природоохоронних об'єктів. Парк містить різноманітні природні суходоли, водно-болотні угіддя, ліси, луки й 23 унікальні природні озера. Він був створений в 1983 р. на площі 32 515 га, а в 1999 р. Указом Президента України був розширений до площі 48 977 га.

На цей час для України виникла актуальна проблема збереження заповідних територій ШНПП, що пов'язано з будівництвом Хотиславського кар'єру видобутку крейди й піску в Республіці Білорусь. У 1991 р. було виконано обґрунтування проекту будівництва цього кар'єру в Білорусі безпосередньо біля державного кордону з Україною (кар'єр розташований в 0,35 км від кордону між цими країнами). Будівництво кар'єру з видобутку будівельних матеріалів розпочато у 1994 р., але через економічні й фінансові труднощі не вдалося вивести його на повну по-

тужність [15]. Проектна площа кар'єру 240 га, глибина — 45 м. На теперішній час у ньому добувають пісок будівельний (перша черга), а з 2015 р. планують видобуток крейди (друга черга розробки, яку припускають проводити до 2040 р.). Значні обсяги гірничодобувних робіт, які запроєктовані на Хотиславському родовищі, супроводжуватимуться потужним водовідливом (27,5 тис. м³/добу з розрахунку на кінцевий період розробки родовища), що, за прогнозами, спричинюватиме негативний вплив на заповідні території України. У цих прогнозах, зокрема, мова йде про те, що подальше поглиблення кар'єру (до 45 м) з метою видобутку крейди може порушити підземні водоносні системи, що живлять Шацьке та інші озера. Видобуток цієї гірської породи на більш ніж 40-метровій глибині означатиме неминуче утворення депресійної воронки, в яку відкачуватиметься вода з прилеглих районів Західного Полісся. Повномасштабна розробка родовища може призвести до осушення на території України земель площею до 40 тис. га [6]. Особливо актуальною проблемою для ШНПП є антропогенне евтрофування водних екосистем [5, 13, 14, 17, 18, 24 та ін.].

Для оцінювання впливу Хотиславського кар'єру на навколишнє середовище Полісся вагомий інтерес становлять дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), які, на жаль, поки що з цією метою *не мають широкого застосування*. В умовах необхідності забезпечення регулярного моніторингу матеріали супутникового знімання є практично безальтернативним джерелом екологічних даних. Розроблення методів обробки матеріалів ДЗЗ для моніторингової оцінки характеру антропогенного впливу Хотиславського кар'єру та

інших об'єктів господарської діяльності дасть змогу істотно підвищити точність і об'єктивність інформації про екологічний стан природних і антропогенних ландшафтів ШНПП. Для розв'язання цього питання важливим кроком є розробка геоінформаційних технологій стосовно створення спеціальних тематичних карт трофічного стану озер ШНПП за даними аерокосмічних знімачів [14, 22, 24].

Стаття присвячена висвітленню деяких отриманих нами результатів *часткового розв'язання комплексної загальної для регіону проблеми з використанням засобів ДЗЗ*. У попередніх працях [22–24] автори лише дотично торкнулися цієї проблеми, акцентувавши основну увагу на аспектах застосування геоінформаційних технологій під час роботи над нею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. ДЗЗ робить істотний внесок в економіку розвинених країн світу. Зокрема, космічну інформацію використовують у таких сферах [1–3, 7, 9, 11, 12, 16, 23, 24 та ін.]:

- дослідження в інтересах наук про Землю;
- дослідження й раціональне використання природних ресурсів;
- охорона навколишнього середовища;
- попередження й ліквідація наслідків надзвичайних ситуацій (природні катастрофи й техногенні аварії);
- метеорологія й кліматологія;
- лісове й сільське господарство;
- містобудування, транспортування, енергетика;
- створення різноманітних тематичних карт, кадастрів різних об'єктів, формування геоінформаційної продукції;
- забезпечення безпеки країни та ін.

Цей вид діяльності найсприятливіший до інновацій і потребує впровадження найостанніших досягнень фундаментальної й прикладної науки. Нижче перелічено переваги аерокосмічних методів перед іншими для екологічного моніторингу [1, 2, 7, 23 та ін.]:

- більша оглядовість, яка забезпечує проведення регіональних і глобальних досліджень екологічного стану природних і антропогенних ландшафтів;
- оперативність і періодичність одержання інформації про процеси і явища під час моніторингу тих або інших типів природних ресурсів, екологічних проблем, надзвичайних ситуацій;
- можливість роботи у будь-яких важкодоступних районах;
- одержання інформації з різним просторовим розрізненням у різних діапазонах електромагнітного спектра на тій самій території в різні пори року;
- висока вірогідність одержуваних даних, особливо в комбінації з наземними вимірами;

- широкий спектр реєстрованих параметрів природного й антропогенного середовища, які забезпечують розв'язок багатьох наукових і практичних проблем екології довкілля;
- можливість передачі інформації й ретрансляції даних, отриманих під час наземних контактних досліджень природних і антропогенних ландшафтів тощо.

Основні характеристики, що реєструють під час дистанційного зондування водойм, зведено до таких груп [7–11, 13, 14, 17–24, 26–28 та ін.]:

- 1) параметри поверхневого хвилювання й змінення гідродинамічних характеристик водного середовища;
- 2) змінення рівня водойм, що пов'язані із синоптичною мінливістю й господарською діяльністю людини;
- 3) характеристики льодових полів;
- 4) варіації полів температури в межах течій та їх локальних змін;
- 5) площі нафтових плівок і плівок поверхнево-активних речовин;
- 6) змінення фізико-хімічних характеристик водного середовища;
- 7) змінення гідрооптичних характеристик водойм через варіації концентрації зважених і розчинених у воді органічних речовин;
- 8) змінення стану фітопланктону, що приводить до зміни спектральних характеристик і сигналів флуоресценції;
- 9) трофічний стан озер, водойм і прибережних зон морів.

При цьому слід враховувати, що до основних джерел антропогенних впливів на водні об'єкти належать [5–7, 11, 14, 17, 18, 20, 21, 23, 24, 27 та ін.]:

- промислове й сільськогосподарське виробництво;
- видобуток твердих корисних копалин і вуглеводнів;
- скидання промислових, господарських і побутових стічних вод;
- надходження різних забруднювальних речовин з територій міст і сільськогосподарських угідь;
- аварії на водному й морському транспорті;
- аварійні викиди з підводних трубопроводів;
- туристична й рекреаційна діяльність;
- перенесення забруднювальних речовин через атмосферу тощо.

Виконаний нами аналітичний огляд результатів досліджень і публікацій [3, 4, 7, 8, 11, 13, 14, 17–19, 22, 24, 26–28 та ін.] стосовно тематики цієї статті дає змогу наголошувати на таких основних методологічно-принципових висновках фахівців. Супутникові методи оцінки якості води ґрунтуються на побудові статистичних залежностей між спектральною відбивною здатністю вод-

ного середовища з різною мутністю поверхневого шару води та відповідними даними, визначеними контактними методами контролю її якості (наприклад, прозорість води за диском Секкі, концентрація зважених речовин, вміст хлорофілу *a* тощо). Отже, прозорість води як вимір її якості істотно впливає на результати дистанційних спектральних оптичних спостережень водойм, зокрема озер. Так, евтрофні водойми мають зелений колір води, тому що містять воду з більшим вмістом хлорофілу *a* у фітопланктоні. В оліготрофних водоймах вміст зважених речовин незначний, тому відбиття від їх водної поверхні визначається переважно молекулярним розсіюванням води в синьому діапазоні спектра електромагнітних хвиль (ЕМХ). Колір води таких водойм темно-синій. Він свідчить про низьку концентрацію вмісту хлорофілу *a* в товщі води. Водойми, що містять велику кількість зважених речовин неорганічного походження, характеризуються максимальним відбиттям у червоному діапазоні спектра. Такі водойми на знімках у цьому діапазоні мають високе відбиття від водної поверхні.

На сучасному етапі для аналізу трофічного стану внутрішніх водойм найчастіше використовують визначення в них вмісту хлорофілу *a* [7, 8, 22, 24, 26–28 та ін.]. Спектральний хід яскравості водної поверхні показує, що для дистанційної оцінки концентрації цього типу хлорофілу найінформативнішими є такі діапазони видимого спектра ЕМХ: короткохвильовий (430–440 нм) для оліготрофних та довгохвильовий (670–690 нм) для мезотрофних і евтрофних водойм. Коефіцієнт відбиття за довжини хвилі близько 520 нм в основному не залежить від концентрації хлорофілу *a* у воді. У ближній і короткохвильовій інфрачервоних зонах спектра оптичне випромінювання проникає углиб води лише від одного до декількох десятків сантиметрів за довжини хвилі 1400 нм. У зв'язку з тим що рослинність у цьому діапазоні має максимальне відбиття, а фітопланктон в евтрофних водоймах розміщується у поверхневому шарі водного середовища, зазначена зона спектра є найперспективнішою для виявлення плям цвітіння води. Таким чином, багатозональну аерокосмічну інформацію, що оброблена із застосуванням різних математичних алгоритмів, можна використовувати для визначення близьких до поверхні води концентрацій хлорофілу *a* [7, 8].

Узагальнюючи аналіз матеріалів попередніх досліджень і відповідних публікацій, зазначимо, що методики визначення вмісту хлорофілу *a* у водоймах за даними багатозональних аерокосмічних знімків, що охоплюють спектральний діапазон 430–1400 нм, ґрунтуються на світлорозсіювальних властивостях фітопланктону й на світлопоглинальних властивостях хлорофілу *a*,

а також на характеристиках вертикального розподілу фітопланктону у водній товщі. У наш час в інтересах вивчення стану трофічного стану озерних систем широко використовують космічні знімки (КЗ), які одержують з супутників дистанційного зондування [3, 4, 7, 8, 11, 13, 14, 17–19, 22, 24, 26–28 та ін.].

Отже, враховуючи основні методологічні результати напрацювань колег [3–11, 13–15, 17–22, 24–28 та ін.], а також деяких власних досліджень за попередні роки, розглянемо на прикладі території ШНПП ефективність дистанційної моніторингової оцінки характеру ймовірного антропогенного впливу Хотиславського піщано-крейдового кар'єру на екологічний стан водно-озерної системи парку.

Матеріали і методика дослідження. Однією з важливих характеристик трофічного стану водойм є прозорість води. Вона в основному зумовлена вмістом у воді різних забарвлених розчинених і зважених речовин. Антропогенне евтрофування водойм найчастіше проявляється у масовому розвитку планктонних водоростей, що призводить до значного зниження прозорості води. Відбивна здатність води змінюється зі зміною в ній концентрації хлорофілу *a*. Збільшення його концентрації має тенденцію зменшувати відбивну здатність води у синіх довжинах спектра ЕМХ і збільшувати – в зелених [8, 22].

Останнім часом широко застосовують оцінювання трофічного стану озерних екосистем за величиною первинної продукції й пов'язаними з нею показниками трофічного стану. З цією метою найчастіше використовують дані щодо хлорофілу *a*, прозорості води за диском Секкі й вмістом загального фосфору (Р). У 1977 р. Р. Карлсон [26] розробив для цих показників індекс трофічного стану (ІТС), який застосовують у лімнологічних дослідженнях [22, 24, 27, 28 та ін.].

Шкала цього індексу (рис. 1) дає можливість визначати велику кількість індивідуальних класів озер. Кожна основна зона (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100) трофічного розподілу являє собою подвоєння концентрації поверхневої біомаси фітопланктону, яка робить класифікацію трофічного стану прийнятнішою. Значення ІТС можна обчислити, використавши значення прозорості води, визначене за диском Секкі, та за концентраціями у воді хлорофілу *a* і загального фосфору [22, 24, 26–28 та ін.].

Класифікацію озер території ШНПП за ІТС ми розробили, взявши за основу сканерні матеріали багатозонального космічного знімання з космічних апаратів (КА) LANDSAT-7 (США) від 05.05.2001, 15.07.2001 і 29.10.2005 рр. При цьому застосовували результати кореляційного й регресійного аналізу, особливості виконання якого схарактеризовано у праці [22]. Значення ІТС озер

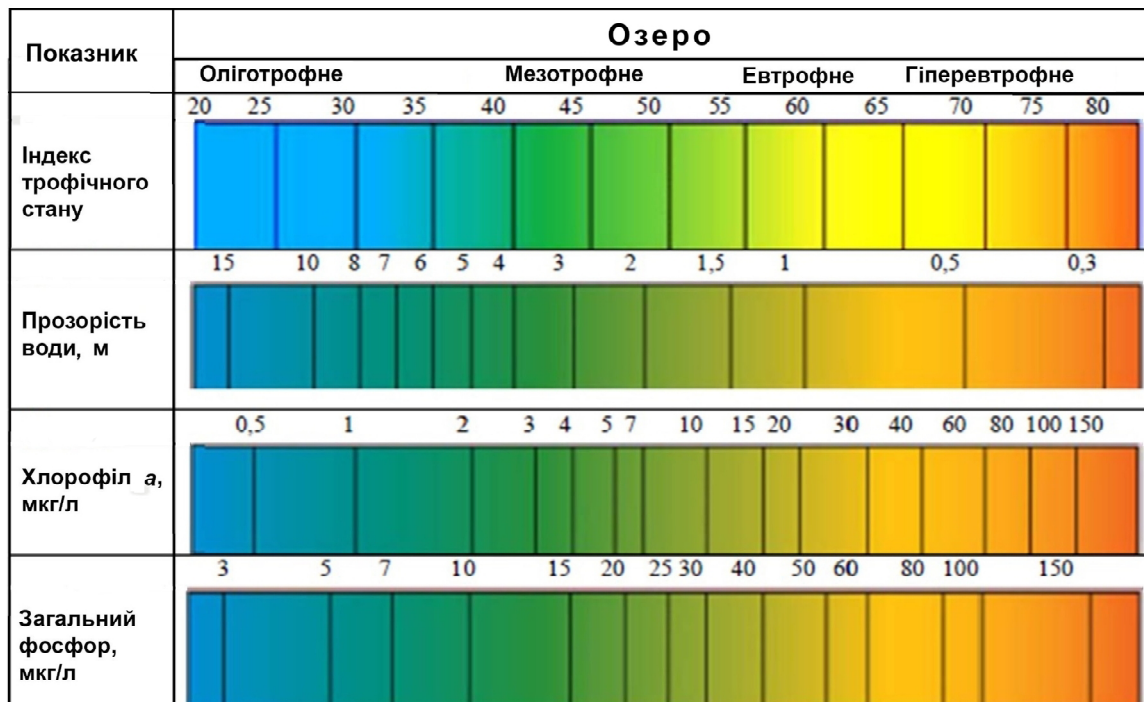


Рис. 1. Повна шкала індексу трофічного стану й показників якості води у водоймах, розроблена авторами праці [27] на підставі даних Р. Карлсона [26] й апробована нами під час дослідження озер Шацького національного природного парку

розраховували за формулою (1), емпірично визначеною й запропонованою Ф.Т. Шумаковим на підставі вказаного аналізу:

$$ITC_{\text{Хла}} = 82,02 - 31,88 \frac{TM_1}{TM_2} + 1,13 TM_4, \quad (1)$$

де $ITC_{\text{Хла}}$ – індекс трофічного стану за вмістом хлорофілу *a*; TM_1 , TM_2 , TM_4 – значення яскравості відбитого електромагнітного випромінювання, зареєстрованого відповідно у 1-му, 2-му і 4-му спектральних каналах КЗ LANDSAT-5/7 (табл. 1).

Для наочності зображення ІТС ми застосували колірне кодування трофічного стану озер ШНПП: оліготрофні – синій, мезотрофні – зелений, евтрофні – жовтий, гіперевтрофні – червоно-коричневий (рис. 1). Свого часу таке кодування було запропоновано у публікації [27].

Моніторинг зростання площі Хотиславського кар'єру здійснювали за сканерними супутниковими даними КА LANDSAT-5 (США) від 16.08.1989 р. та указаними вище матеріалами КА LANDSAT-7, а також представленими на веб-сайті компанії Spot Image даними КА SPOT-5 (Франція) за 2007 р. і за матеріалами космічних знімків, що репрезентовані на веб-сайтах компаній DG Nokia Satellite Recent і Bing maps (Virtual Earth). З цією метою використовували й аерознімальну 2009 р. “підкладку” кадастру Державного земельного агентства (ДЗА) України. Стислу порівняльну характеристику діапазонів ЕМХ, в яких виконують знімання поверхні Землі з супутників

LANDSAT і SPOT, і просторового розрізнення відповідних зональних зображень наведено в табл. 1.

Крім того, ми отримали новітні сканерні матеріали космічного знімання від 06.06.2013 р. з нещодавно запущеного на орбіту Землі супутника LANDSAT-8 (США), за якими оперативно вдалося оцінити геометричні параметри стосовно площі Хотиславського піщано-крейдового кар'єру, а отже, актуалізувати їх.

Аналіз характеру і рівень змін природних й антропогенних ландшафтів ШНПП та прилеглих до нього районів виконано за даними супутників LANDSAT-5/7. Особливості рельєфу поверхні Землі досліджували за сканерними матеріалами космічних спостережень з КА “Shuttle” (США), що виконані у С-діапазоні радіохвиль (5,7–6,1 см).

Основне програмне комп'ютерне забезпечення – спеціалізований пакет обробки сканерних даних багатоспектрального супутникового знімання ERDAS Imagine 2013 та географічна інформаційна система (ГІС) ArcGIS 10.1.

Результат проведеного дослідження. Вивчення в моніторинговому режимі зміни площі Хотиславського піщано-крейдового кар'єру на підставі комп'ютеризованих методів обробки матеріалів дистанційних аерокосмічних знімків дало змогу визначити параметри цієї площі: морфологічну конфігурацію об'єкта на площині (форму контуру), периметр контуру, власне площу, а також географічний напрямок розвитку розробки у часі (за роками). Отримано також картографічні матеріали на дистанційній “підкладці”, що інформативно відображують стан

Таблиця 1. Стисла порівняльна характеристика діапазонів електромагнітних хвиль, в яких виконано знімання поверхні Землі із супутників LANDSAT і SPOT, і просторового розрізнення відповідних зональних зображень

Зона спектра EMX	LANDSAT-5			LANDSAT-7			SPOT-5		
	Тип знімальної апаратури								
	TM			ETM+			HRG		
	Діапазон EMX, нм	Канал	ПР	Діапазон EMX, нм	Канал	ПР	Діапазон EMX, нм	Канал	ПР
Блакитна	450–520	1	30	450–515	1	30	–	–	–
Зелена	520–600	2	30	525–605	2	30	500–590	1	20
Червона	630–690	3	30	630–690	3	30	610–680	2	20
БІЧ (1)	760–900	4	30	750–900	4	30	780–890	3	20
СІЧ (1)	1550– 1740	5	30	1550– 1750	5	30	1580– 1750	4	20
СІЧ (2)	2080– 2350	7	30	2090– 2350	7	30	–	–	–
Теплова	10400– 12500	6	120	10400– 12500	6	60	–	–	–
Ран	–	–	–	520–900	8	15	480–710	5 6	2,5 5

Примітка. Інфрачервоні зони спектра EMX: БІЧ – ближня, СІЧ – середня; Ран – панхроматичний канал; ПР – просторове розрізнення на місцевості, м/піксель.

кар'єру на конкретному часовому (рік або точний день у році) зрізі.

На рис. 2 показана карта-схема першої черги кар'єру видобутку піску. З аналізу знімка видно, що більша частина кар'єру залита водою і заросла рослинністю й лише на незначній його частині видобувають пісок.

З аналізу рис. 3 випливає, що роботи з будівництва Хотиславського об'єкта відновлено. Поновлення робіт з будівництва кар'єру також добре видно на рис. 4. Тематична обробка КЗ за 2011 р. показала, що після поновлення будівництва кар'єру його площа збільшилася до 39,365 га (рис. 5).

Опрацювання новітніх цифрових даних супутникового знімання LANDSAT-8 (США) від 06.06.2013 р. дало змогу встановити, що протягом 2011–2013 рр. площа зазначеного гірничодобувного об'єкта більш ніж подвоїлася – сягає близько 90 га.

На рис. 6–8 представлені синтезовані у псевдокольорах зображення з КА LANDSAT-5/7 при-

родних і антропогенних ландшафтів ШНПП за період 1989–2005 рр. За цими знімками можна виконати класифікацію зазначених ландшафтів й оцінити характер і масштаби їх змін. З візуального аналізу зображень випливає, що за вказаний період на деяких озерах ШНПП збільшилась спектральна яскравість водної поверхні. Це свідчить про антропогенне евтрофування озер.

Для вивчення динаміки трансформації природних і антропогенних ландшафтів ШНПП також перспективно використовувати матеріали дистанційних знімань з КА SPOT-5 (рис. 9), “підкладки” кадастру ДЗА України, дані сайтів у Google, Nokia, Bing maps, Яндекс тощо, деякі фрагменти яких показано на рис. 3–5.

Розвиток геоінформаційних технологій і засобів ДЗЗ дає змогу відобразити новітню реалістичну поверхню Землі, що зумовлено можливістю побудови цифрових моделей рельєфу (ЦМР). Дистанційні методи завдяки їх неухильно зростаючому рівню детальності й доступності

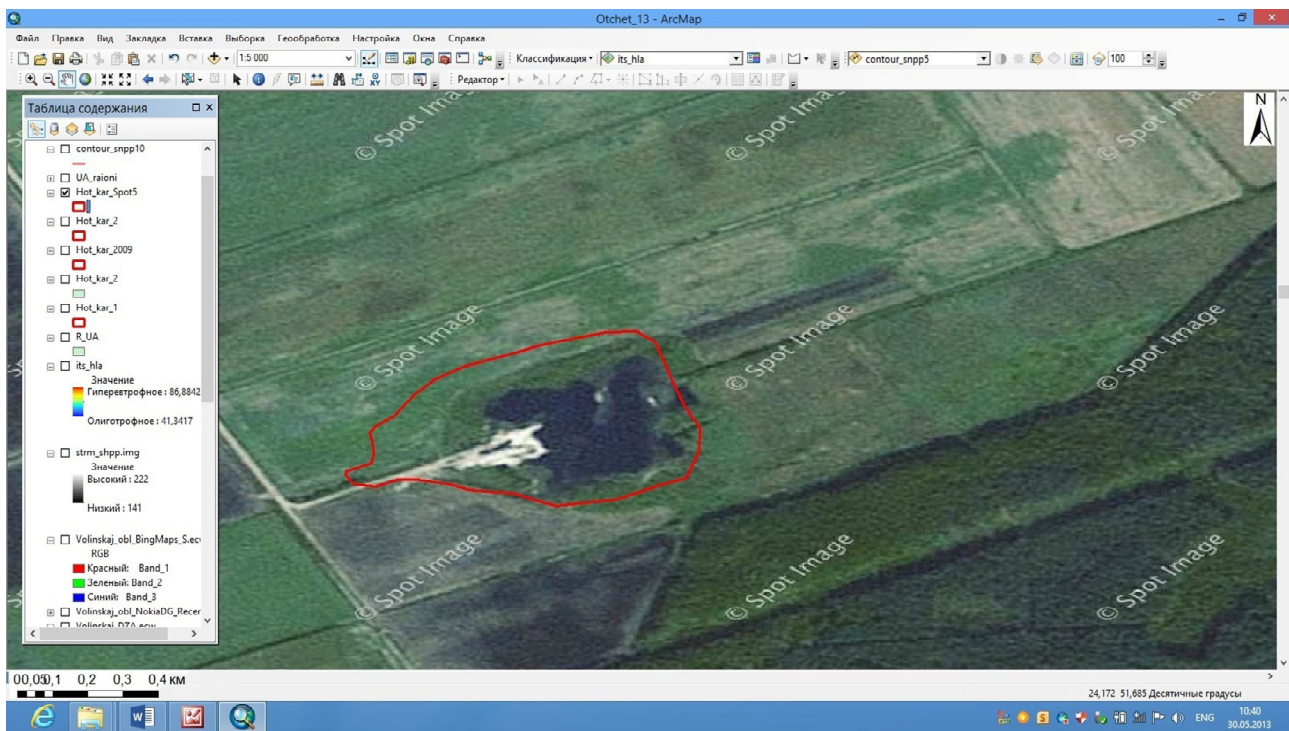


Рис. 2. Карта-схема Хотиславського кар'єру, побудована за даними SPOT-5 з використанням інструментів ArcGIS 10.1. Площа кар'єру – 19,076 га. Рік отримання матеріалів знімання – 2007 р.



Рис. 3. Карта-схема Хотиславського кар'єру, побудована за даними DG Nokia Satellite Recent за допомогою ГІС ArcGIS 10.1. Площа кар'єру – 32,280 га. Дата одержання космічного знімка – 20.09.2009 р.

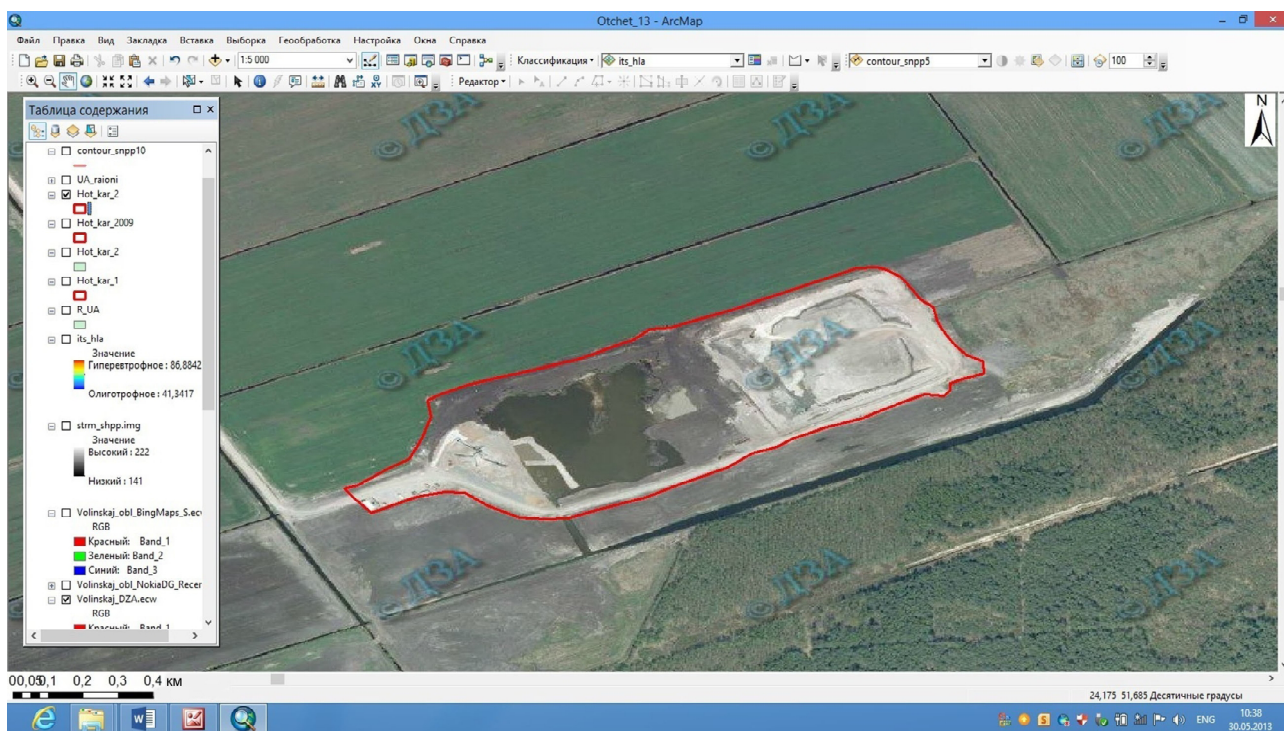


Рис. 4. Карта-схема Хотиславського кар'єру, побудована за даними аерознімальної "підкладки" кадастру Державного земельного агентства України із застосуванням програмного забезпечення ArcGIS 10.1. Площа кар'єру – 33,847 га. Рік отримання знімка – 2009 р.

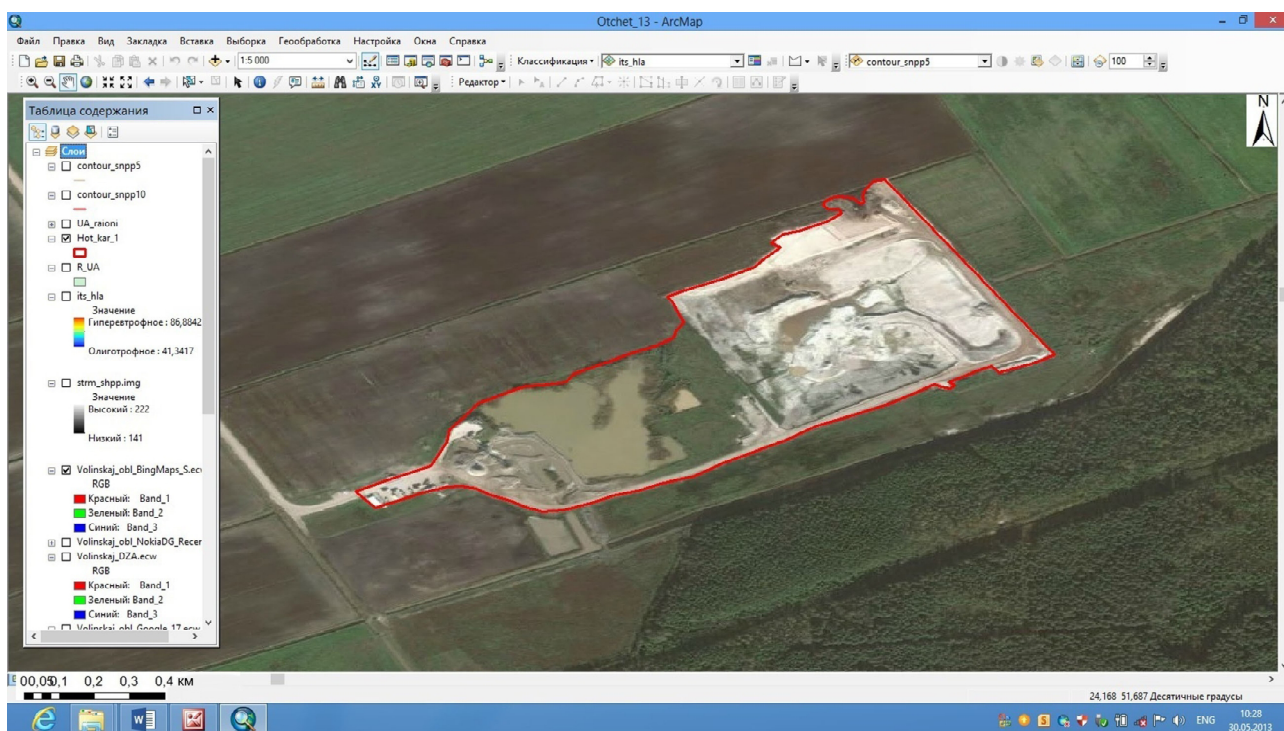


Рис. 5. Карта-схема Хотиславського кар'єру, побудована за даними Bing maps (Virtual Earth) за допомогою можливостей ГІС ArcGIS 10.1. Площа кар'єру – 39,365 га. Рік виконання знімання – 2011 р.

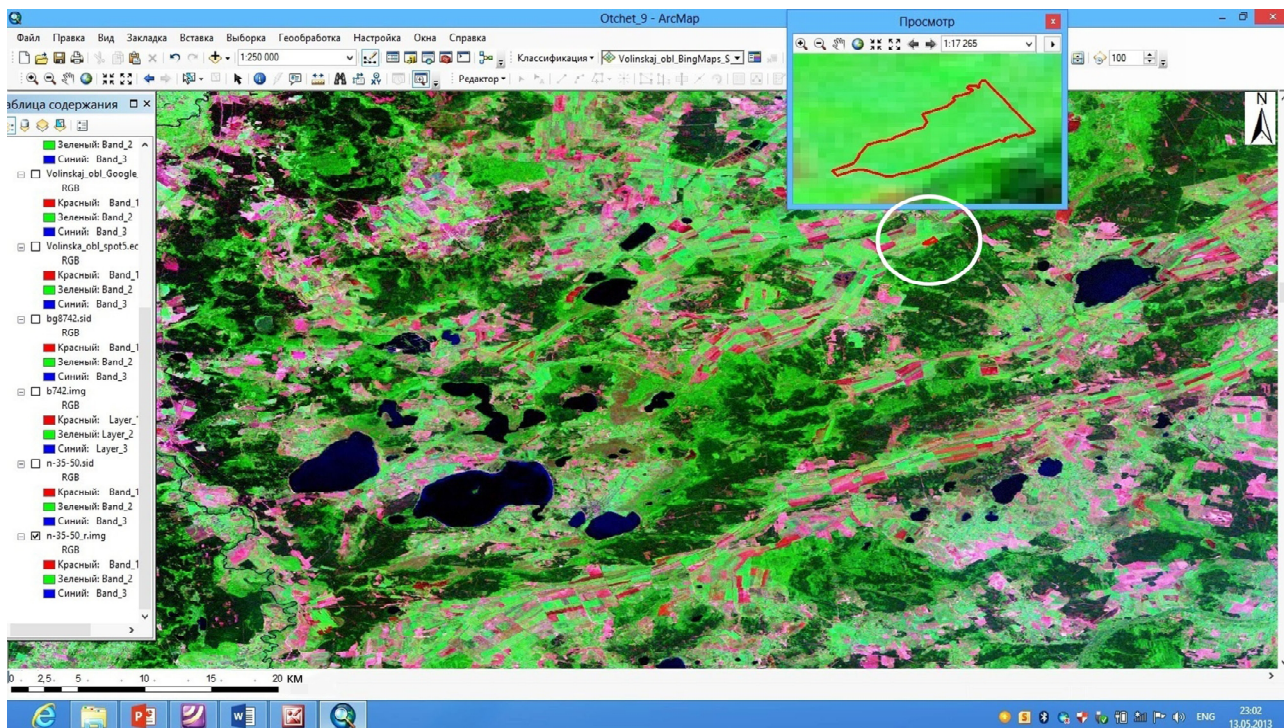


Рис. 6. Карта-схема розташування Хотиславського кар'єру (червоний багатокутник у центрі кола) на космічному зображенні ТМ з КА LANDSAT-5 території Шацького НПП (векторна карта, що накладена на збільшеному фрагменті, – полігон 2011 р., див. рис. 5). Синтез каналів – 742. Дата отримання знімка – 16.08.1989 р. (видно, що кар'єр на цей час відсутній)

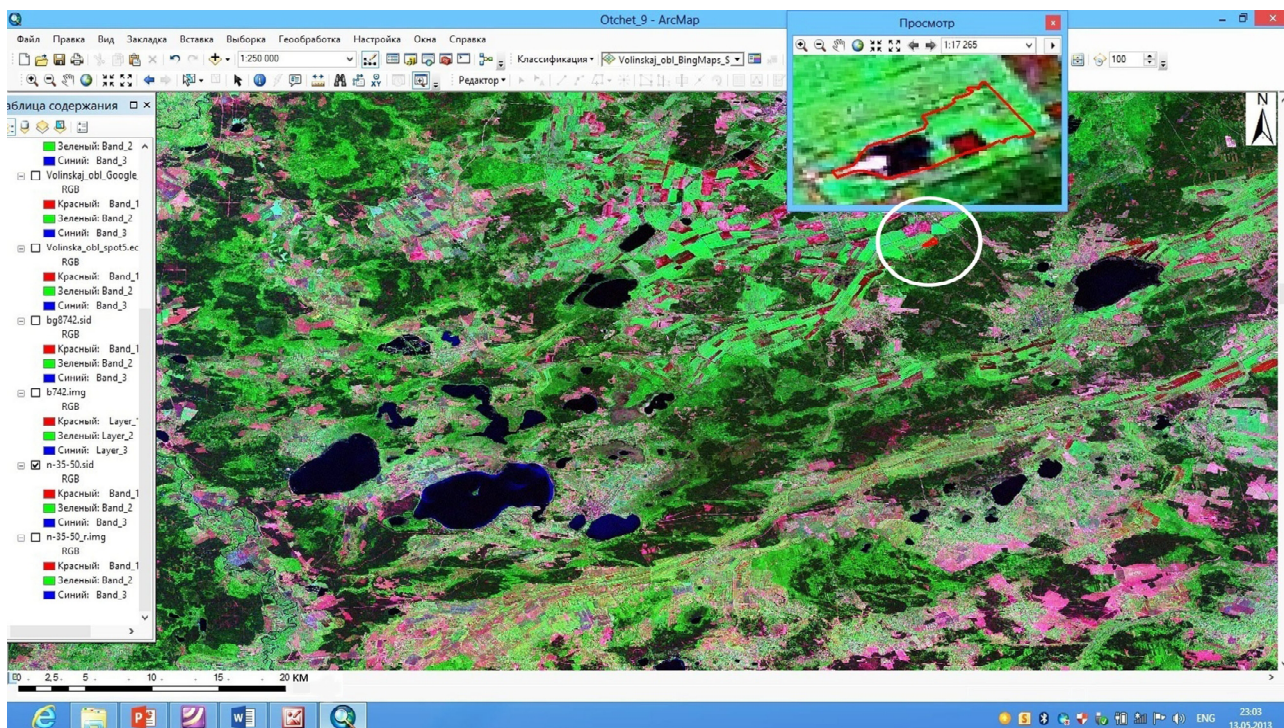


Рис. 7. Карта-схема розміщення Хотиславського кар'єру (червоний багатокутник у центрі кола; векторна карта – полігон 2011 р.) на космічному зображенні ETM+ КА LANDSAT-7 території Шацького НПП. Синтез каналів – 8742. Дата знімання – 15.07.2001 р.

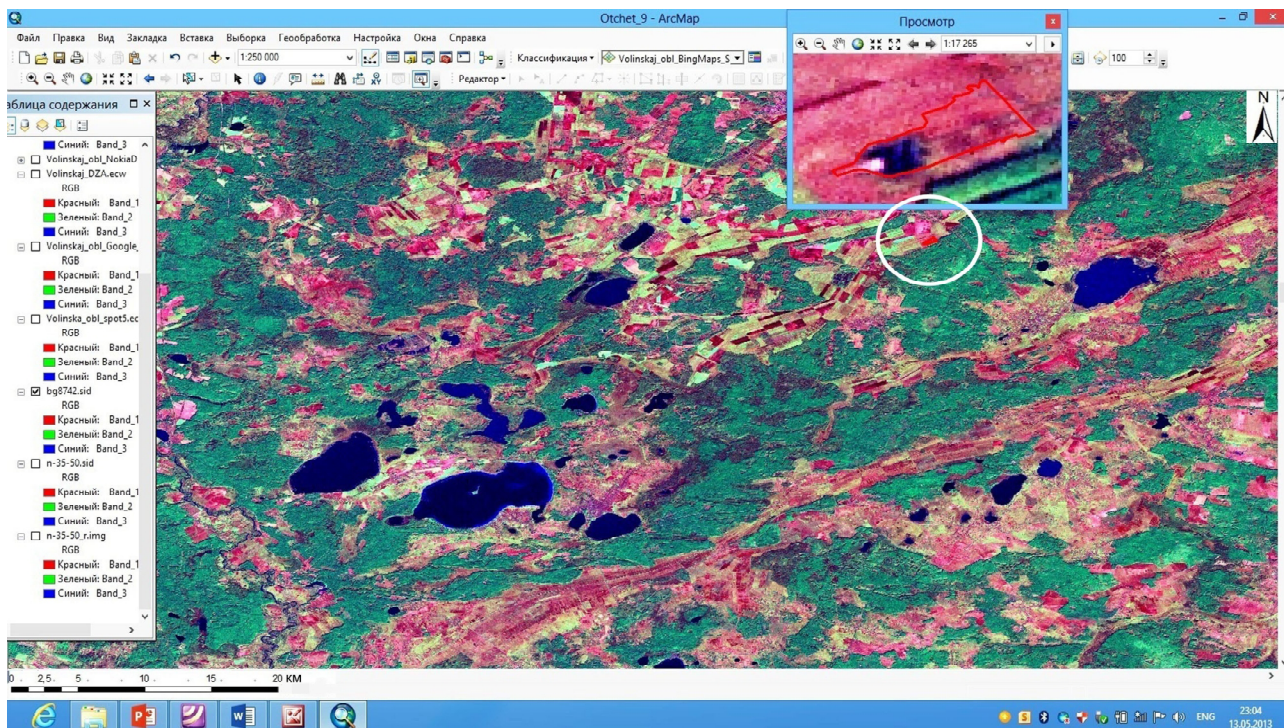


Рис. 8. Карта-схема місцезоташування Хотиславського кар'єру (червоний багатокутник у центрі кола; векторна карта – полігон 2011 р.) на космічному зображенні ЕТМ+ з КА LANDSAT-7 території Шацького НПП. Синтез каналів – 8742. Дата отримання космічного знімка – 29.10.2005 р.

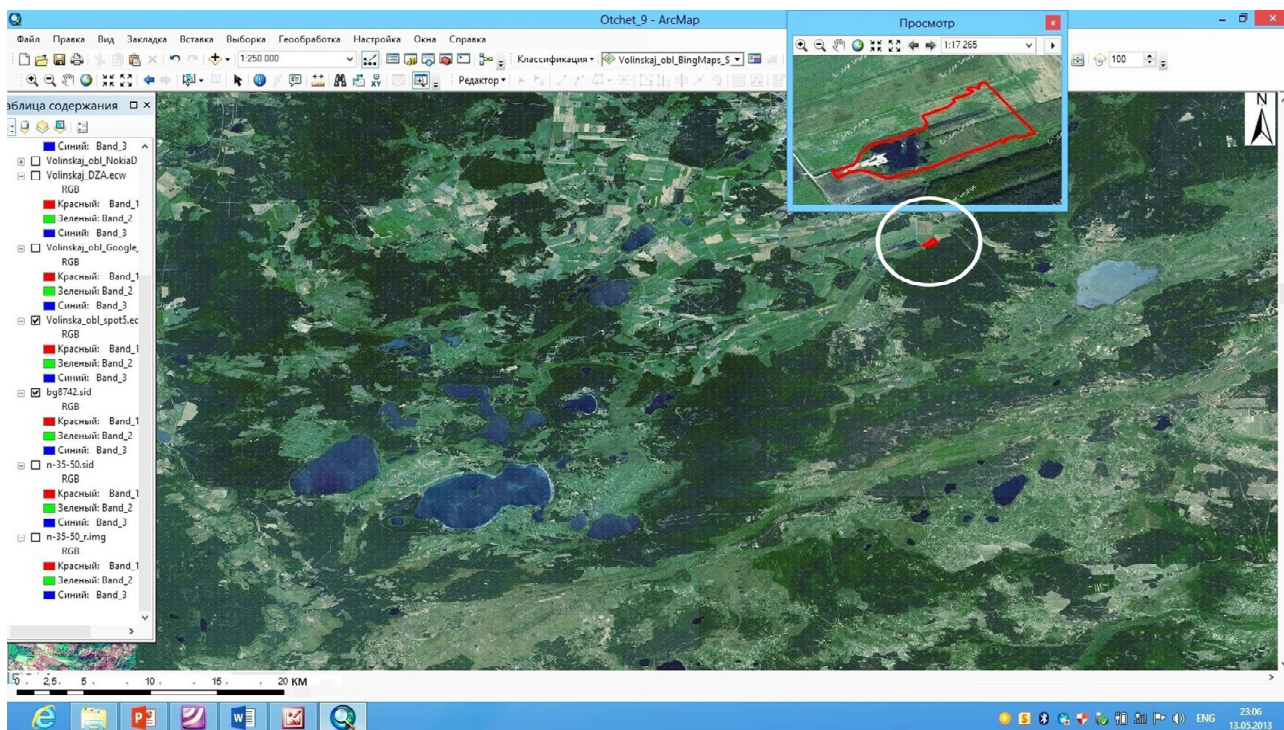


Рис. 9. Карта-схема розміщення Хотиславського кар'єру (червоний багатокутник у центрі кола; векторна карта – полігон 2011 р.) на зображенні КА SPOT-5 території Шацького НПП. Рік виконання знімання – 2007 р.

здобувають усе більшу цінність під час геоморфологічних досліджень. Одним із найчастіше використовуваних джерел інформації для побудови ЦМР є база даних США щодо рельєфу нашої планети — “Shuttle Radar Topographic Mission” (SRTM). Ці дані є загальнодоступними, мають задовільну точність і придатні для середньомасштабних досліджень. Матеріалами SRTM покрито понад 80 % суходолу з просторовим розрізненням 90 м/піксель, що близько до детальності середньомасштабних топографічних карт. Згідно з оцінкою точності, матриця SRTM приблизно відповідає матриці, яка отримана з топокарти масштабу 1 : 100 000.

Отже, майже будь-який фрагмент суходолу (будь-який басейн) стає однаково доступним для морфологічного аналізу із застосуванням відповідних автоматизованих алгоритмів перетворення висотного поля рельєфу з побудовою похідних поверхонь. Таким чином, ЦМР різного масштабу являють собою результати цифрового космічного знімання, що оброблені спеціальними методами. Вони мають важливу перевагу порівняно з іншими даними: генералізація й наочність зображення багатьох геоморфологічних об'єктів дають можливість прямого сприйняття їх широким колом фахівців. Важливою якістю ЦМР є й те, що вони, на відміну від топокарт, містять первинну інформацію. Растровий образ організації даних у ЦМР разом з наочністю дає значні переваги під час комп'ютерної їх обробки. Широке впровадження ЦМР зумовлює появу якісно нових можливостей у багатьох напрямках наук про Землю — геології,

географії, геодезії, геоморфології, гідрології, екології та ін.

На рис. 10 представлена ЦМР території ШНПП у вигляді матриці висот SRTM_90, яка отримана нами за результатами комп'ютерно обробленого сканерного SRTM-зображення КА “Shuttle”, на рис. 11 — ця сама ЦМР з накладанням 5- і 10-метрових ізоліній земного рельєфу, побудованих за допомогою інструментів ArcGIS 10.1 за даними поглибленого комп'ютерного перетворення матеріалів SRTM.

Подібні ЦМР можна використовувати під час досліджень руху води по поверхні водозбору й визначення характеристик підземного стоку ШНПП. Інформація про процеси руху води не тільки має теоретичне значення, а й необхідна для вирішення прикладних завдань, зокрема, пов'язаних з ерозією ґрунтів, поширенням потоків забруднювальних речовин, запобіганням небезпечним природним явищам. При цьому не лише відбувається більш глибоке вивчення процесів руху води (як на земній поверхні, так і в товщі, що її підстилає), а й удосконалюються методи обчислень, які необхідні для моделювання цих процесів.

Проведений нами аналіз отриманих за КЗ ЦМР території досліджень, її гідрографічної мережі з виділенням основного вододілу між басейнами Балтійського і Чорного морів, визначенням кутів нахилу земної поверхні в межах цих басейнів, а також урахування запланованих просторових (об'ємно-площових) параметрів Хотиславського кар'єру за умови максимального

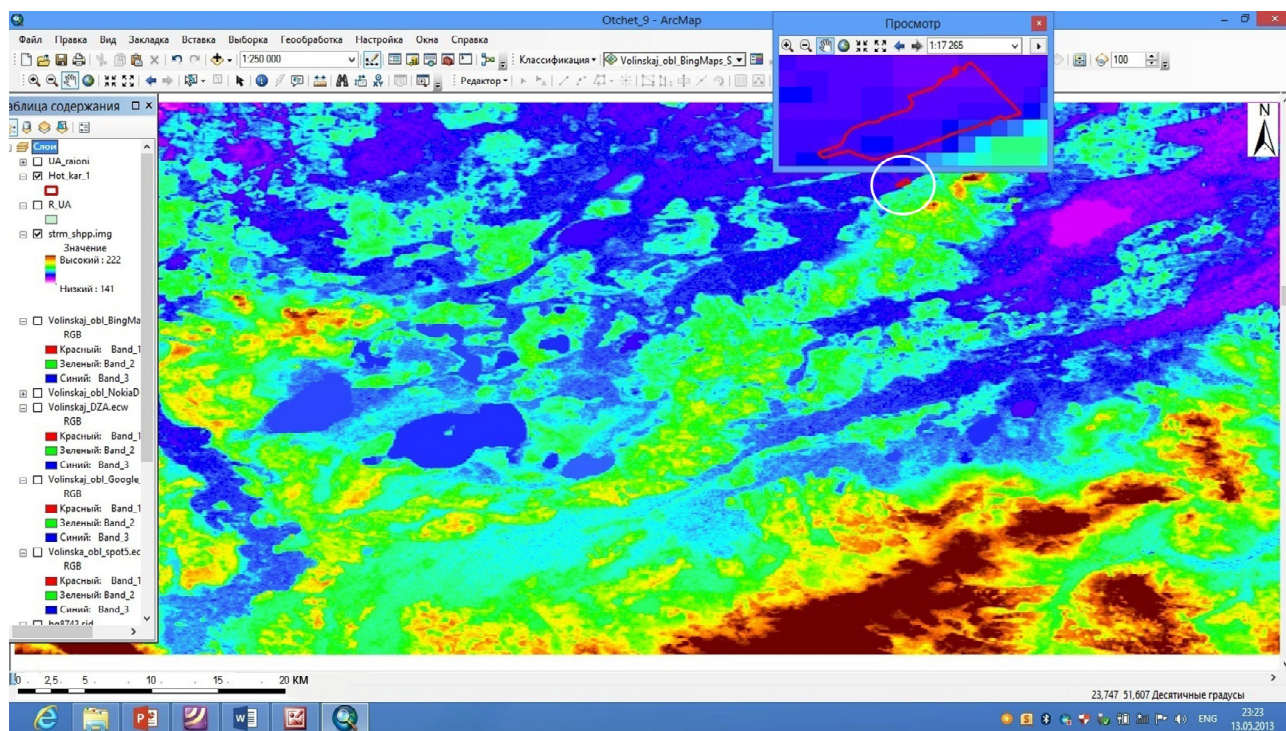
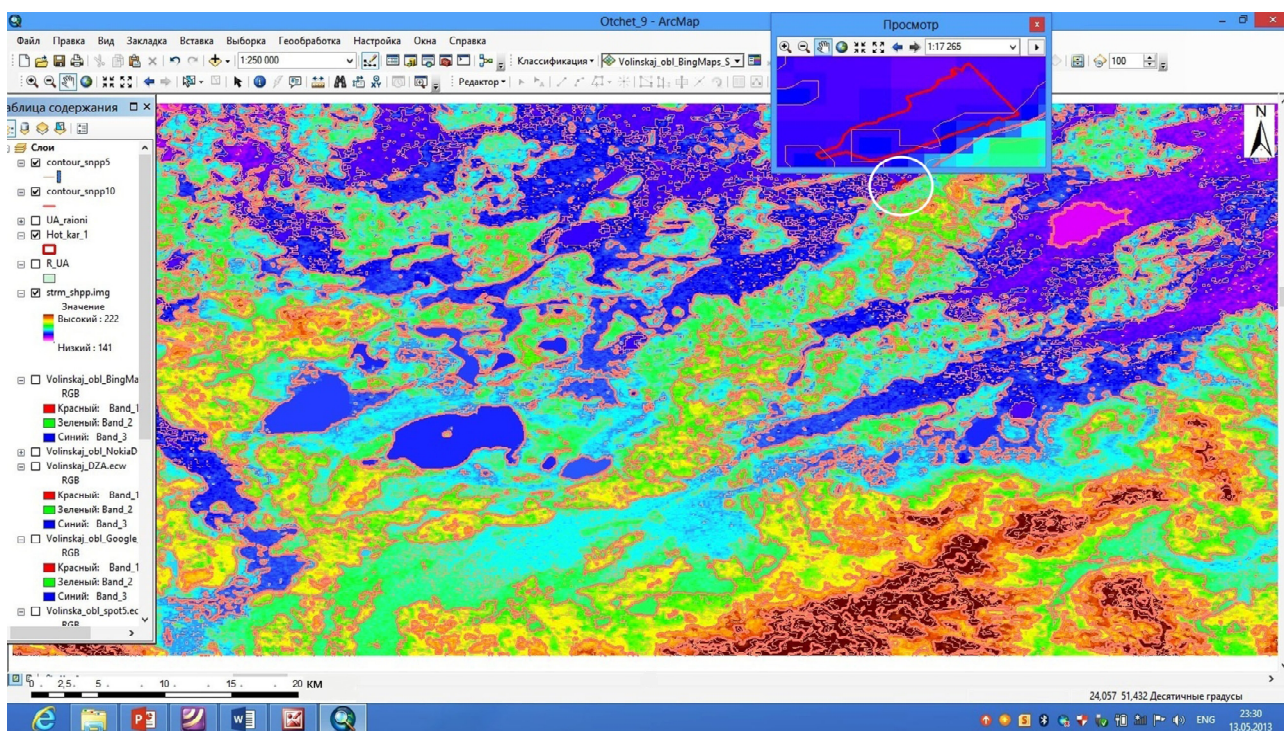
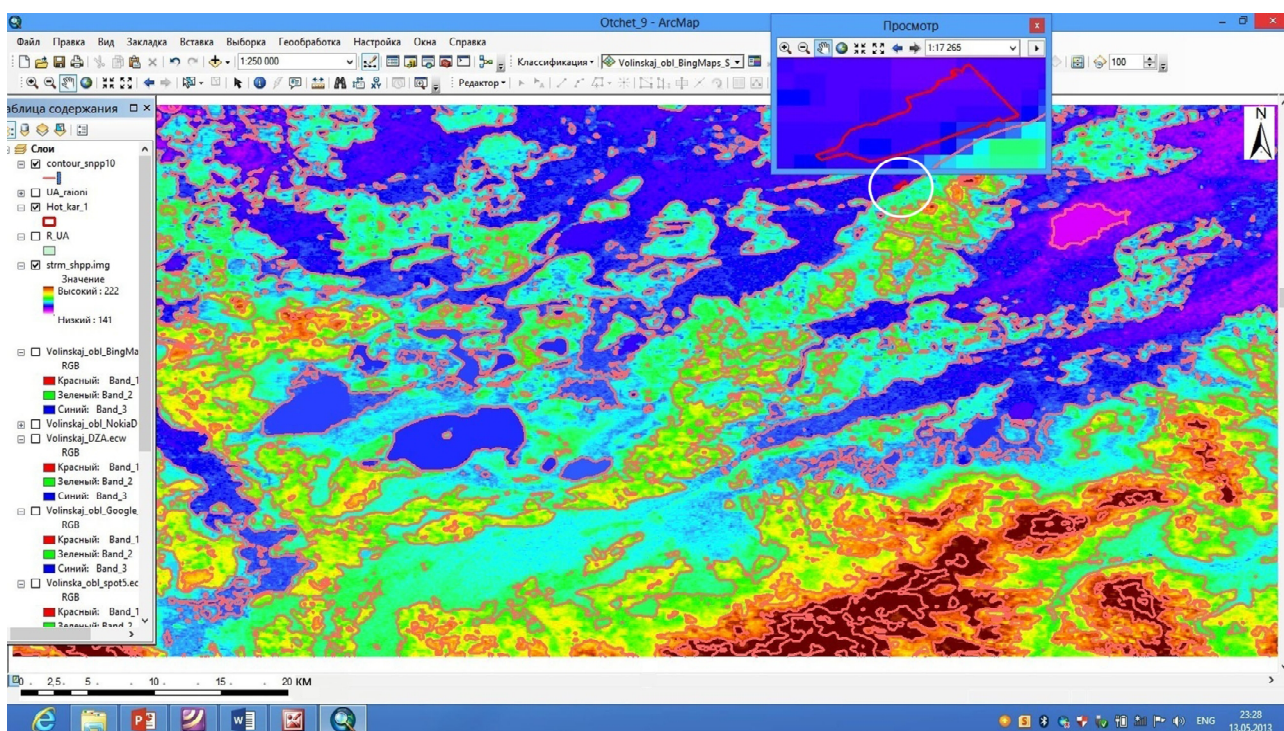


Рис. 10. Карта-схема розташування Хотиславського кар'єру (червоний багатокутник у центрі кола; векторна карта — полігон 2011 р.) на ЦМР SRTM_90 території Шацького НПП, одержаній внаслідок комп'ютерного перетворення відповідного сканерного зображення з КА “Shuttle” (С-діапазон радіохвиль). Період отримання даних космічного знімання — лютий 2000 р.



a



b

Рис. 11. Карта-схема локалізації Хотиславського кар'єру (червоний багатокутник у центрі кола; векторна карта – полігон 2011 р.) на ЦМР SRTM₉₀ території Шацького НПП з нанесеними ізолініями рельєфу з 5- (а) та 10-метровим (б) перерізами, побудованими за допомогою інструментів ArcGIS 10.1 у результаті поглибленого комп'ютерного оброблення SRTM-зображення. Період одержання даних космічного знімання – лютий 2000 р.

видобутку в ньому піщано-крейдових будівельних матеріалів [15] дав змогу встановити таке. У процесі експлуатації кар'єру відбудеться трансформація підземного стоку на прилеглих площах. Адже за умови його поглиблення утвориться депресійна воронка не лише в земній поверхні, а й у рівнях ґрунтових і підземних вод. Оскільки Хотиславський кар'єр розташований у басейні Чорного моря, то стік поверхневих вод у нього збільшиться, а в Балтійське море зменшиться. Як наслідок, це спричинить затримку водного обміну в озерах ШНПП і підвищення впливу природних і антропогенних факторів на їх евтрофування.

За результатами кореляційного й регресійного аналізу [22], а також обчислень за даними КА LANDSAT-7 за формулою (1) значень для ІТС озер ШНПП, ці значення розбито на групи згідно з основними зонами трофічного розподілу (див. рис. 1). Після вирізання площ власне водних об'єктів з одержаних класифікованих за трофічністю зображень з використанням інструментів ArcGIS 10.1 отримано комбіновані зображення в результаті накладання вирізаних фрагментів на “підкладку”, що представлена результатами зазначеного комп'ютерно обробленого сканерного SRTM-зображення (рис. 12–14).

Аналіз обчислених значень ІТС озер території ШНПП і прилеглих до неї районів дав змогу встановити, що діапазон зміни цього параметра варіює в таких межах (для конкретних дат знімання): від 26,896 до 73,87 (05.05.2001 р.); від 41,3417

до 86,3673 (15.07.2001 р.); від 28,1739 до 77,2514 (29.10.2005 р.). Отже, ці результати вказують на поступове евтрофування досліджених озер, що, ймовірно, є наслідком впливу на довкілля різноманітних чинників антропогенезу, серед яких одну з “провідних” ролей відіграє, очевидно, зростання масштабів розробки Хотиславського піщано-крейдового кар'єру.

Висновки й перспективи подальших досліджень.

1. Тематична обробка аерокосмічних знімків району піщано-крейдового Хотиславського кар'єру за період 2009–2011 рр. показала, що після поновлення будівництва цієї гірничої споруди площа її збільшилася з 19,076 до 39,365 га, а за період 2011–2013 рр. — ще більш ніж удвічі. За новітніми матеріалами космічного знімання LANDSAT-8 від 06.06.2013 р. площу оцінено у приблизно 90 га.
2. У разі подальшої експлуатації Хотиславського кар'єру відбудеться трансформація підземного стоку, яка призведе до того, що стік поверхневих вод у Чорне море збільшиться, а в Балтійське — зменшиться. Це спричинить затримку водного обміну в озерах і зростання впливу комплексу природних і антропогенних факторів на антропогенне евтрофування озер території Шацького НПП.
3. Результати виконаної трофічної класифікації озер ШНПП з використанням даних космічних зображень ETM+ з КА LANDSAT-7 та інструментів ArcGIS 10.1 мають вагоме нау-

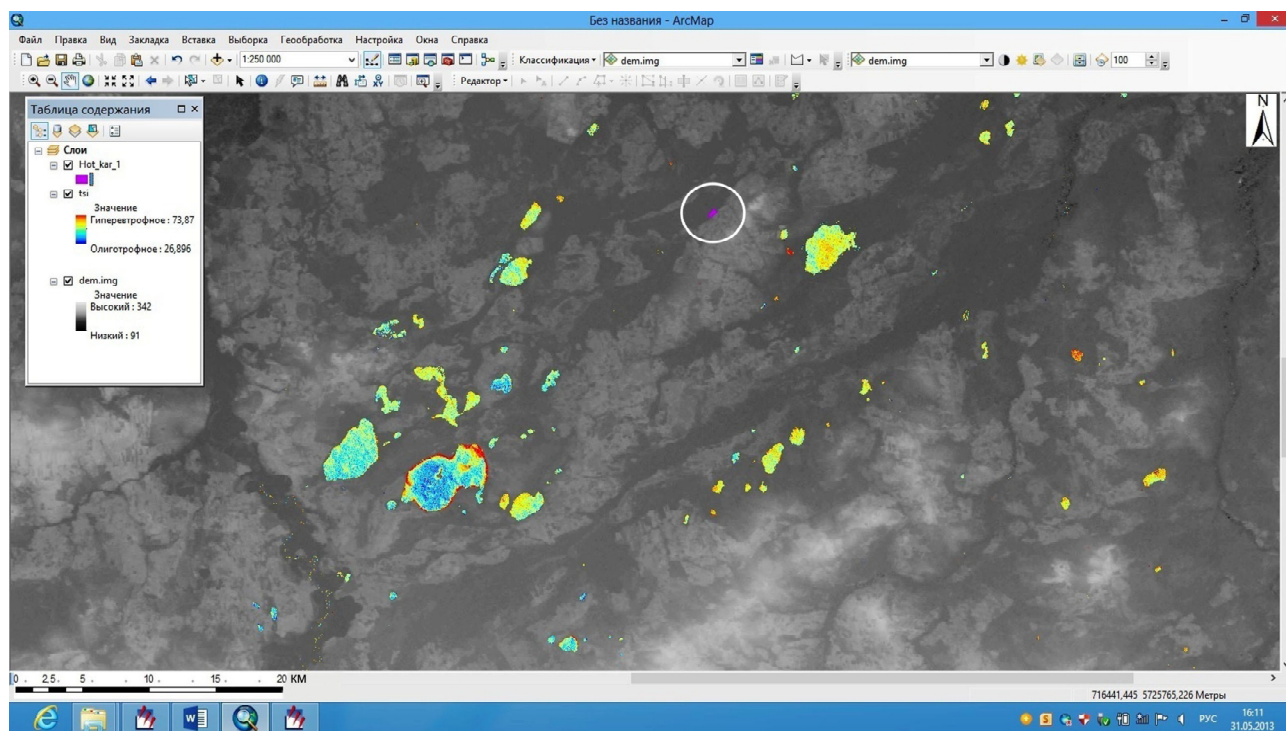


Рис. 12. Карта-схема трофічного стану озер території Шацького НПП, побудована за даними КА LANDSAT-7 за допомогою інструментів ArcGIS 10.1, на фоні комп'ютерно обробленого сканерного SRTM-зображення КА “Shuttle” (лютий 2000 р.). Дата отримання знімка ETM+ — 05.05.2001 р. Фіолетовим багатокутником у центрі кола позначено Хотиславський кар'єр (полігон 2011 р.).

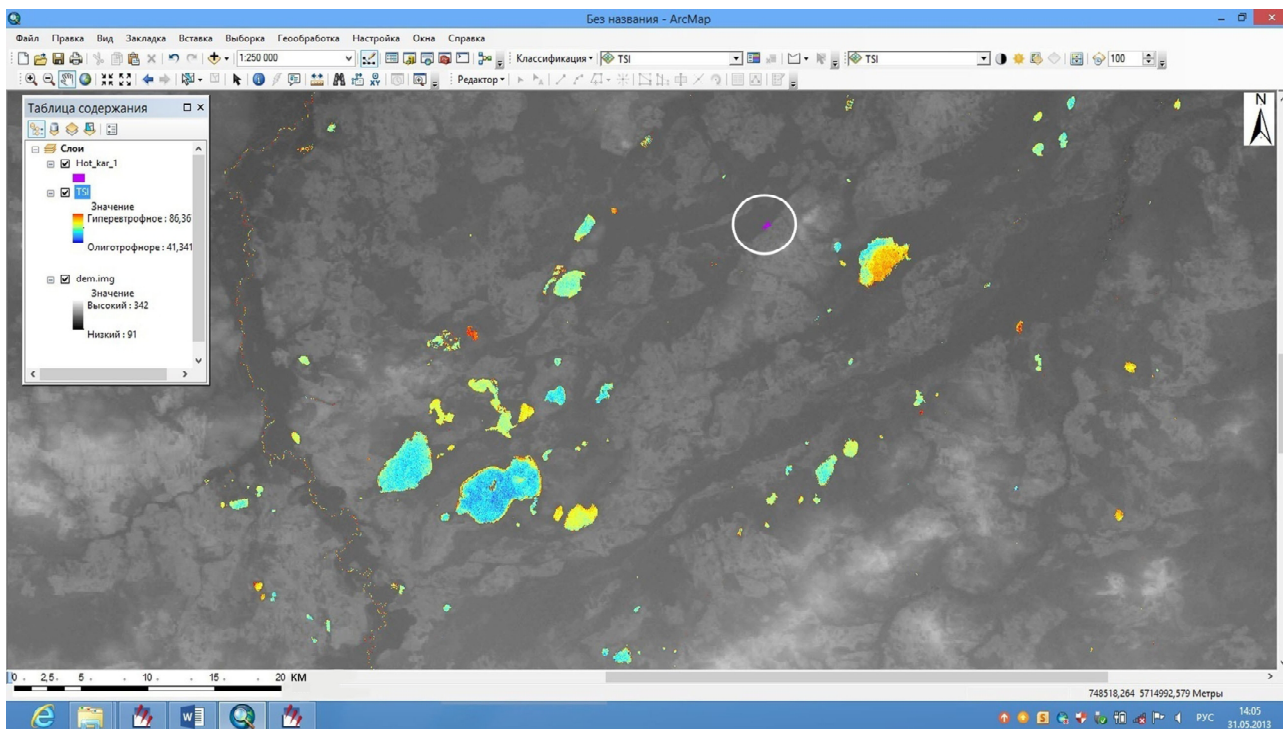


Рис. 13. Карта-схема трофічного стану озер території Шацького НПП, побудована за даними КА LANDSAT-7 від 15.07.2001 р. з використанням ГІС ArcGIS 10.1 (представлено на фоні комп'ютерно перетвореного SRTM-зображення, одержаного в лютому 2000 р.). Хотиславський кар'єр окреслено фіолетовим кольором у центрі кола (полігон 2011 р.)

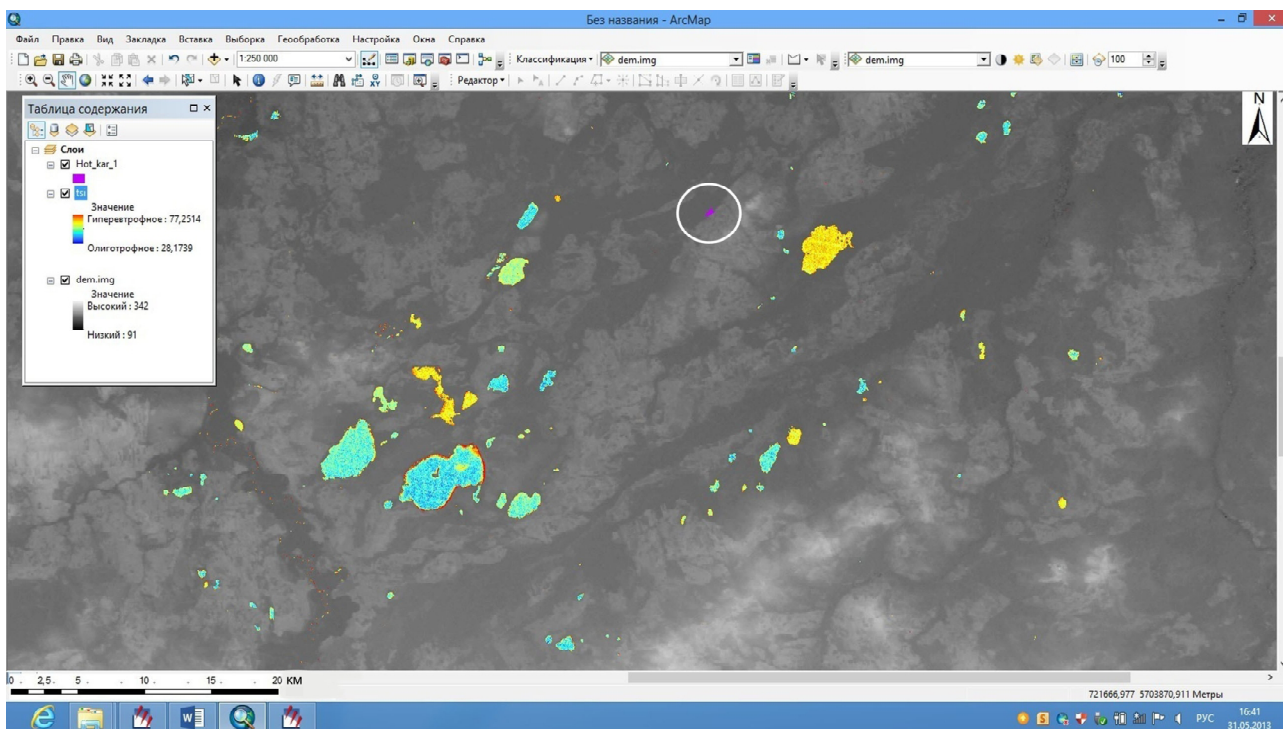


Рис. 14. Карта-схема трофічного стану озер території Шацького НПП, побудована за даними КА LANDSAT-7 з використанням програмного забезпечення ArcGIS 10.1; дата отримання знімка – 29.10.2005 р. Карту-схему накладено на комп'ютерно оброблене SRTM-зображення за лютий 2000 р. Фіолетовий багатокутник у центрі кола – Хотиславський кар'єр (полігон 2011 р.)

ково-практичне значення для подальшого вивчення водойм цієї території. Зокрема, встановлено, що діапазон зміни ІТС озер ШНПП і прилеглих до нього районів коливається у широких межах: від 26,896 до 73,87 (05.05.2001 р.), від 41,3417 до 86,3673 (15.07.2001 р.), від 28,1739 до 77,2514 (29.10.2005 р.). Матеріали трофічної класифікації дають можливість оцінювати характер і масштаби впливу Хотиславського піщано-крейдового кар'єру та інших чинників на антропогенне евтрофування озер ШНПП.

Перспективи подальших розвідок стосовно дистанційної моніторингової оцінки трофічного стану озерних об'єктів як території ШНПП, так й інших районів, на наш погляд, полягають в опрацюванні новітніх даних мультиспектрального космічного зондування з КА LANDSAT-8 та інших супутників, матеріали яких мають вище просторове розрізнення, а також, по можливості, даних гіперспектральних систем знімання. Необхідним є отримання наземної калібрувально-завіркової інформації про наявність і конкретні концентрації хлорофілу *a* у водоймах, інших екологічно індикаційних показників озер, що характеризують відхилення їх стану від природного. Потрібні спостережні дані щодо гідрології та гідрогеології району Хотиславського кар'єру.

Важливим кроком є розробка нових методів і вдосконалення існуючих методик розрахунку ІТС на підставі використання матеріалів новітніх дистанційних сканувальних систем.

1. *Азімов О.Т.* Огляд поточного стану природно-техногенної безпеки в Україні та перспективи розвитку аналітичної інтерактивної системи моніторингу надзвичайних ситуацій засобами дистанційних, телематичних та ГІС-технологій / О.Т. Азімов, П.А. Коротинський, Ю.Ю. Колесніченко // Геоінформатика. — 2006. — № 4. — С. 52–66.
2. *Азімов О.Т.* Технології дистанційного зондування Землі і ГІС при створенні інформаційно-аналітичної системи аналізу ризику виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру / О.Т. Азімов, М.М. Сасюк // Матеріали конф. “ГІС Форум-2000” (Київ, 13–16 листоп. 2000 р.). — К.: ГІС-Асоц. України, 2000. — С. 66–72.
3. *Волошин В.И.* Экология и космос / В.И. Волошин, В.И. Драновский, Е.И. Бушуев // Косм. наука і технологія. — 2002. — Т. 8, № 2/3. — С. 52–56.
4. *Жуков Б.С.* Физические основы дистанционного зондирования // Итоги науки и техники. Сер. Исследование Земли из космоса. Т. 1. Физические основы, методы и средства исследований Земли из космоса. — М.: ВИНТИ АН СССР, 1987. — С. 6–78.
5. *Загрози антропогенного впливу на ландшафтне і біологічне різноманіття озер Шацького національного природного парку* / В.Д. Романенко, В.І. Щербак, В.М. Якушин [та ін.] // Природа Західного Полісся: 36. наук. праць ВДУ ім. Лесі Українки. — 2012. —

- № 9. — С. 319–324 — (Луцьк: РВВ “Вежа” Волин. держ. ун-ту ім. Лесі Українки).
6. *Зузук Ф.В.* Вірогідність впливу розробки Хотиславського родовища крейди на заповідні екосистеми Волині / Ф.В. Зузук, В.Г. Мельничук, І.І. Залеський // Там само. — 2012. — № 9. — С. 3–11.
7. *Інформатизація аерокосмічного землезнавства* / [Довгий С.О., Лялька В.І., Трофимчук О.М. та ін.]; За ред. С.О. Довгого і В.І. Лялька. — К.: Наук. думка, 2001. — 607 с.
8. *Кондратьев К.Я.* Дистанционные методы слежения за качеством природных вод / К.Я. Кондратьев, Д.В. Поздняков. — Л.: Наука, 1985. — 62 с.
9. *Космос—Україні: Атлас тематично дешифрованих знімків території України з українсько-російського космічного апарата “Океан-О” та інших космічних апаратів* / Під ред. В.І. Лялька та О.Д. Федоровського. — К.: НАН України, НКА України, 2001. — 106 с.
10. *Красовський Г.Я.* Актуальність інформаційно-технічного забезпечення управління Шацьким національним природним парком / Г.Я. Красовський, В.І. Мокрий // Екологія і ресурси. — 2006. — № 13. — С. 101–111.
11. *Красовський Г.Я.* Інформаційні технології космічного моніторингу водних екосистем і прогнозу водоспоживання міст / Г.Я. Красовський, В.А. Петросов. — К.: Наук. думка, 2003. — 224 с.
12. *Ліщенко Л.П.* Оптимізація напрямків використання космічної інформації ДЗЗ для ГІС / Л.П. Ліщенко, О.Д. Федоровський, В.Г. Якимчук // Геоінформатика. — 2006. — № 1. — С. 65–69.
13. *Методологія дослідження озера Світязь із застосуванням геоінформаційних систем і технологій дистанційного зондування Землі* / В.І. Клименко, Є.С. Анпілова, С.А. Загородня [та ін.] // 36. наук. праць Х Міжнар. наук.-практ. конф. “Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях” (АР Крим, сел. Рибаче, 5–9 верес. 2011 р.). — К.: ВІК Принт, 2011. — С. 145–152.
14. *Мокрий В.І.* ДЗЗ/ГІС технології моніторингу озер Шацького НПП // Там само. — С. 138–144.
15. *Оценка воздействия разработки месторождения мела “Хотиславское” (II очередь) на гидролого-гидрогеологические условия прилегающей территории: Отчет о результатах проведения оценки воздействия на окружающую среду добычи мела на участке месторождения “Хотиславское” в Малоритском районе Брестской области.* Кн. 1 / РУП ЦНИИКИВР [В.П. Музикин и др.]. — № ГР 20090291. — Минск, 2009. — 214 с.
16. *Оценка объема спроса национального рынка на информацию дистанционного зондирования Земли* / В.Н. Астапенко, Е.И. Бушуев, В.П. Зубко, П.П. Хорольский // Нові методи в аерокосмічному землезнавстві: Метод. посіб. по тематичній інтерпретації матеріалів аерокосмічних зйомок. — К.: ЦАКДЗ ІГН НАН України, 1999. — С. 242–261.
17. *Підгородецька Л.В.* Обґрунтування комплексної оцінки екологічного стану водойм на основі космічної інформації ДЗЗ і наземних спостережень на прикладі озера Світязь: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — К., 2012. — 20 с.

18. Підгородецька Л.В. Використання інформації космічного геомоніторингу для оцінки екологічного стану водойм на прикладі озера Світязь / Л.В. Підгородецька, Л.М. Зуб, О.Д. Федоровський // Косм. наука і технологія. — 2010. — Т. 16, № 4. — С. 51–56.
19. Реалізація геоінформаційних технологій підтримки прийняття рішень для управління водокористуванням та екологічною безпекою озерних екосистем / В.Ю. Вишняков, В.О. Охарєв, І.В. Радчук, В.О. Шумейко // Учен. зап. Тавр. нац. ун-та ім. В.И. Вернадського. Географія. — 2013. — Т. 26 (65), № 1. — С. 49–54.
20. Романенко В.Д. Экологические проблемы Днепра в ретроспективе и на современном этапе / В.Д. Романенко, Л.А. Сиренко, А.Д. Федоровский // Гидробиол. журн. — 1998. — Т. 34, № 5. — С. 3–10.
21. Федоровський О.Д. Використання космічних знімків для контролю водних об'єктів / О.Д. Федоровський, Л.Я. Сиренко, В.Г. Якимчук // Нові методи в аерокосмічному землезнавстві: Метод. посіб. по тематичній інтерпретації матеріалів аерокосмічних зйомок. — К.: ЦАКДЗ ІГН НАН України, 1999. — С. 143–148.
22. Шумаков Ф.Т. Разработка методов космического мониторинга трофического состояния водоемов // Учен. зап. Тавр. нац. ун-та ім. В.И. Вернадського. Географія. — 2011. — Т. 24 (63), № 3. — С. 162–172.
23. Шумаков Ф.Т. Об использовании данных дистанционного зондирования для геоинформационных подсистем ситуационных центров Украины // Там же. — 2012. — Т. 25 (64), № 1. — С. 214–221.
24. Шумаков Ф.Т. Об использовании данных дистанционного зондирования Земли для оценки характера влияния Хотиславского карьера на трофическое состояние озер Шацкого национального природного парка / Ф.Т. Шумаков, А.Т. Азимов // Там же. — 2013. — Т. 26 (65), № 1. — С. 171–186.
25. Шумаков Ф.Т. Возможности использования космических снимков для решения задач мониторинга лесов / Ф.Т. Шумаков, В.А. Толстохатко, Н.П. Тарнопильская // Восточноевроп. журн. передовых технологий. — 2012. — № 2/11 (56). — С. 25–29.
26. Carlson R.E. A Trophic State Index for Lakes // Limnol. Oceanogr. — 1977. — V. 22 (2). — P. 361–369.
27. Heiskary S.A. Minnesota Lake Water Quality Assessment Report: Developing Nutrient Criteria. — Third ed. / S.A. Heiskary, C.B. Wilson. — Minnesota: Minnesota Pollution Control Agency, 2005. — 188 p.
28. Olmanson L.G. A 20-year Landsat Water Clarity Census of Minnesota's 10,000 Lakes / L.G. Olmanson, M.E. Bauer, P.L. Brezonik // Remote Sensing of Environment. — 2008. — V. 112, iss. 11. — P. 4086–4097.

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків, Україна
E-mail: shumakov@csame.kharkov.ua

Надійшла до редакції 01.07.2013 р.

Державна установа “Науковий Центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України”, Київ, Україна
E-mail: azimov@carse.kiev.ua

Шумаков Ф.Т., Азимов А.Т.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОДЫ В ВОДОЕМАХ

По данным аэрокосмических съемок с использованием геоинформационных технологий установлено, что эксплуатация Хотиславского карьера в Белоруссии может привести к увеличению стока поверхностных вод в Черное море и к уменьшению его — в Балтийское. Это вызовет замедление водного обмена в Шацких озерах, что обусловит усиление влияния природных и антропогенных факторов на эвтрофирование озер Шацкого национального природного парка. Для мониторинга указанного процесса разработана и апробирована геоинформационная технология использования данных ETM+ с космического аппарата LANDSAT-7 для трофической классификации озер территории парка.

Ключевые слова: Шацкий национальный природный парк, озера, Хотиславский карьер, космические изображения, LANDSAT, эвтрофирование, трофическая классификация.

**GEOINFORMATION TECHNOLOGIES AND REMOTE SENSING DATA
IN ASSESSING WATER QUALITY IN STAGNANT RESERVOIRS**

Based on aerospace surveys, and technologies of geoinformation systems (GIS), it was found that the operation of Khotislav sandpit in Belarus might increase runoff into the Black Sea and reduce water runoff to the Baltic Sea. This will slow down the water exchange in the Shatsk lakes which will intensify the impact of natural and anthropogenic factors on the eutrophication of the lakes of the Shats'kyi National Park (ShNP). To monitor this process, we developed and tested geo-information technology of data use of LANDSAT-7 ETM+ for the trophic classification of the ShNP lakes.

Keywords: Shats'kyi National Park, lakes, Khotislav sandpit, space images, LANDSAT, eutrophication, trophic classification.