

УДК 504.064.3:574:004.9:528.8 + 504:556.5

А.Г. ШАПАР, чл.-кор. НАН України, д-р техн. наук, директор Інституту проблем природокористування та екології НАН України, м. Дніпропетровськ, Україна

О.О. СКРИПНИК, канд. біол. наук, старший науковий співробітник відділу екологічного нормування Інституту проблем природокористування та екології НАН України, м. Дніпропетровськ, Україна

О.С. ТАРАНЕНКО, провідний інженер відділу екологічного нормування Інституту проблем природокористування та екології НАН України, м. Дніпропетровськ, Україна

Д.Д. ДУБОВИК, інженер I кат. відділу екологічного нормування Інституту проблем природокористування та екології НАН України, м. Дніпропетровськ, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ АКТУАЛЬНИХ ЕКОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДНІПРОВСЬКИХ ВОДОСХОВИЩ ЗА ДОПОМОГОЮ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Запропонований підхід до визначення актуальних екологічних параметрів дніпровських водосховищ на основі даних ДЗЗ та цифрового моделювання рельєфу дна водосховищ в середовищі ГІС.

Ключові слова: дніпровські водосховища, актуальні екологічні параметри, геоінформаційний аналіз, дистанційне зондування Землі.

Постановка проблеми

Як відомо, деградація і загибель зарегульованих водосховищами великих річок відбувається на протязі сотень років [9]. Враховуючи величезну кількість визначальних екологічних параметрів та відсутність очікування невідворотності розплати за порушену рівновагу цієї системи, як правило, обумовлює чи повну відсутність фундаментальних досліджень, чи незадовільну їх періодичність.

Сучасні методи отримання та аналізу просторової інформації, до яких відносяться геоінформаційні технології та аерокосмічні методи досліджень, дозволяють перейти на якісно новий рівень оцінки певних параметрів, що характеризують екологічний стан дніпровських водосховищ, та відкривають можливості щодо формування геоінформаційної бази даних басейну р. Дніпро.

Застосування геоінформаційних технологій при виконанні екологічних досліджень надає низку переваг у порівнянні із іншими методами отримання екологічної інформації, у т.ч.:

– можливість інтеграції різноманітних первинних просторових даних в єдиній системі координат та в єдиному інформаційному

середовищі (в межах певної ГІС – платформи);

– отримання нової екологічної інформації за результатами тематичного дешифрування даних ДЗЗ;

– застосування методів просторового аналізу (в т.ч. оверлейна обробка даних, цифрове моделювання рельєфу, інтерполяція значень і т. ін.) тощо.

Сучасні дослідження екологічного стану водосховищ з використанням ГІС – та ДЗЗ – технологій мають різноплановий характер. Найбільшої уваги приділяється питанню застосування цифрових батиметричних моделей при визначенні темпів зменшення об'єму (V) водосховищ внаслідок накопичення донних відкладів [4, 10, 11]. Так, за результатами геоінформаційного аналізу встановлено зменшення V водосховища Макконахі (США) на 0,03 %/рік [11], для водосховища *Altınapa Dam* (Туреччина) – 0,51 %/рік [10], інтенсивність накопичення донних відкладів для Камського водосховища (РФ): 2,5 – 5 см/рік [4]. Також в [10] порушено питання складання геоінформаційної бази даних водосховища за певними екологічними параметрами. До того ж набувають поширення методи дистанційних екологічних досліджень штучних водойм, наприклад:

– дослідження інтенсивності вегетації синьо-зелених водоростей в Вороніжському водосховищі (РФ) за даними космічних апаратів (КА) *Landsat* – 5/7 [6];

– дослідження змін берегової лінії Цимлянського водосховища (РФ) за даними КА *Worldview* – 2 [5].

На даний час дослідження екологічного стану дніпровських водосховищ з використанням ГІС – та ДЗЗ – технологій не набули системного характеру. Серед останніх досліджень можна виділити наступні:

– класифікація забруднень акваторії р. Дніпро в межах м. Дніпропетровськ за даними КА *Worldview* – 2 [1];

– вивчення багаторічної динаміки гідроморфних ландшафтів у верхів'ях дніпровських водосховищ за даними КА серії *Landsat* та *Internet* – сервісу *Google Earth* [2, 7, 8];

– дослідження сезонної динаміки ландшафтів Сулинської затоки Кременчуцького водосховища за даними КА серії *Landsat*–5 [3].

Питання просторової диференціації інтенсивності накопичення донних відкладів за водосховищами р. Дніпро досліджено недостатньо. Морфометричні характеристики водосховищ потребують уточнення за результатами геоінформаційного аналізу та даних ДЗЗ.

Методи отримання екологічних параметрів

Геоінформаційні технології спираються на використання координатних даних і тому визначення метричних характеристик об'єктів та явищ не визиває будь-яких утруднень. Саме наявність вхідних геореференційованих просторових даних у цифровій формі забезпечує їх подальший просторовий аналіз в середовищі ГІС та створення похідних тематичних даних. В свою чергу, аерокосмічні методи досліджень забезпечують отримання актуальної інформації про стан денної поверхні на момент зйомки. Точність, детальність та інформативність тематичних даних, що отримані на основі даних ДЗЗ, залежить від просторової розрізненості знімків та діапазону випромінювання, що реєструється на сенсорі.

З точки зору екологічних досліджень дніпровських водосховищ, ГІС – та ДЗЗ – технології є ефективними при вирішенні наступних актуальних задач:

– дослідження питань акумуляції твердого стоку в межах водосховищ;

– картографування потенційних змін затоплених територій при зниженні нормального підпірного рівня (НПР) водосховища;

– актуалізація деяких гідроморфометричних характеристик водосховищ на певні моменти часу;

– дослідження інтенсивності вегетації синьо-зелених водоростей та вищої водної рослинності;

– визначення фактичних площ водозбірних басейнів з урахуванням областей внутрішнього стоку природного та штучного походження;

– дослідження абразійних процесів на певних ділянках водосховищ.

Основними методами отримання екологічних параметрів дніпровських водосховищ в середовищі ГІС є цифрове моделювання рельєфу дна водосховищ, оверлейна обробка даних, дешифрування багатоспектральної супутникової інформації середньої та високої роздільної здатності. В таблиці 1 узагальнені методи геообробки просторової інформації, визначений склад вхідних і вихідних даних з урахуванням актуальних екологічних задач, систематизовані екологічні параметри, що визначаються, відповідно до напрямів дослідження.

Саме цифрове моделювання рельєфу дна дніпровських водосховищ забезпечує отримання більшості актуальних екологічних параметрів. Ключові етапи створення ЦМР дна відбиті на рисунку 1.

Враховуючи особливості проведення екологічних досліджень дніпровських водосховищ (необхідність ретроспективного аналізу, наявність необхідної кількості спектральних каналів, висока оглядовість, доступність в отриманні даних ДЗЗ тощо), доцільним є залучення супутникових даних серії *Landsat* (*TM*, *ETM+*, *OLI*), що зосереджені в архіві супутникових даних Геологічної служби США та є вільно доступними. Стислі характеристики згаданих супутникових даних виглядають наступним чином: 7-9 спектральних каналів, просторова роздільна здатність – 15 м/30 м/60 м/120 м, смуга охоплення – 185 км.

Таблиця 1. Методи отримання екологічних параметрів дніпровських водосховищ за допомогою ГІС та ДЗЗ

Напрями дослідження	Методи геообробки інформації, вхідні і вихідні дані	Екологічні параметри
Акумуляція твердого стоку	Вхідні дані: різночасові батиметричні дані, натурні спостереження, багатоспектральні дані ДЗЗ роздільної здатності 10 м та краще. Методи геообробки: цифрове моделювання рельєфу дна водосховища на певні моменти часу (t_1, t_2, \dots, t_n), функціональний аналіз ЦМР, дешифрування даних ДЗЗ (визначення контурів островів), вибіркова векторизація. Вихідні дані: ЦМР дна водосховища, ареали накопичення донних відкладів (ДВ), інші розрахункові дані (об'єм водосховища, площа островів тощо).	а) зменшення об'єму водосховища; б) інтенсивність накопичення ДВ; в) ареали акумуляції ДВ; г) ареали розмиву / видобутку ДВ; д) зміна площі островів
Картографування потенційних змін затоплених територій при зниженні НПР водосховища	Вхідні дані: ЦМР дна водосховища. Методи геообробки: класифікація ЦМР, вибіркова векторизація. Вихідні дані: ареали змін з тематичною деталізацією в векторному форматі.	а) потенційні ділянки суходолу; б) потенційні ареали прируслових озер; в) прогнозована акваторія водосховища
Актуалізація гідроморфометричних характеристик	Вхідні дані: багатоспектральні дані ДЗЗ середньої та високої роздільної здатності. Методи геообробки: візуальне / автоматизоване дешифрування даних, вибіркова векторизація. Вихідні дані: контури водосховищ, межі мілководних ділянок, інші розрахункові дані (площа водного дзеркала, довжина берегової лінії, площа мілководних ділянок).	а) динаміка площі водного дзеркала; б) ареали мілководних ділянок
Інтенсивність вегетації водяної рослинності	Вхідні дані: багатоспектральні дані ДЗЗ середньої роздільної здатності за період липень – серпень. Методи геообробки: побудова міжканальних нормалізованих індексів, класифікація растрових зображень. Вихідні дані: картосхеми інтенсивності вегетації синьо-зелених водоростей.	а) просторова диференціація інтенсивності вегетації синьо-зелених водоростей
Абразія берегів	Вхідні дані: великомасштабні топографічні дані на початок функціонування водосховища, сучасні дані ДЗЗ надвисокої роздільної здатності (1 м та краще). Методи геообробки: векторизація контурів водосховищ на різні моменти часу, оверлейний аналіз даних. Вихідні дані: картосхеми змін контуру водосховища	а) ділянки руйнування берегової лінії

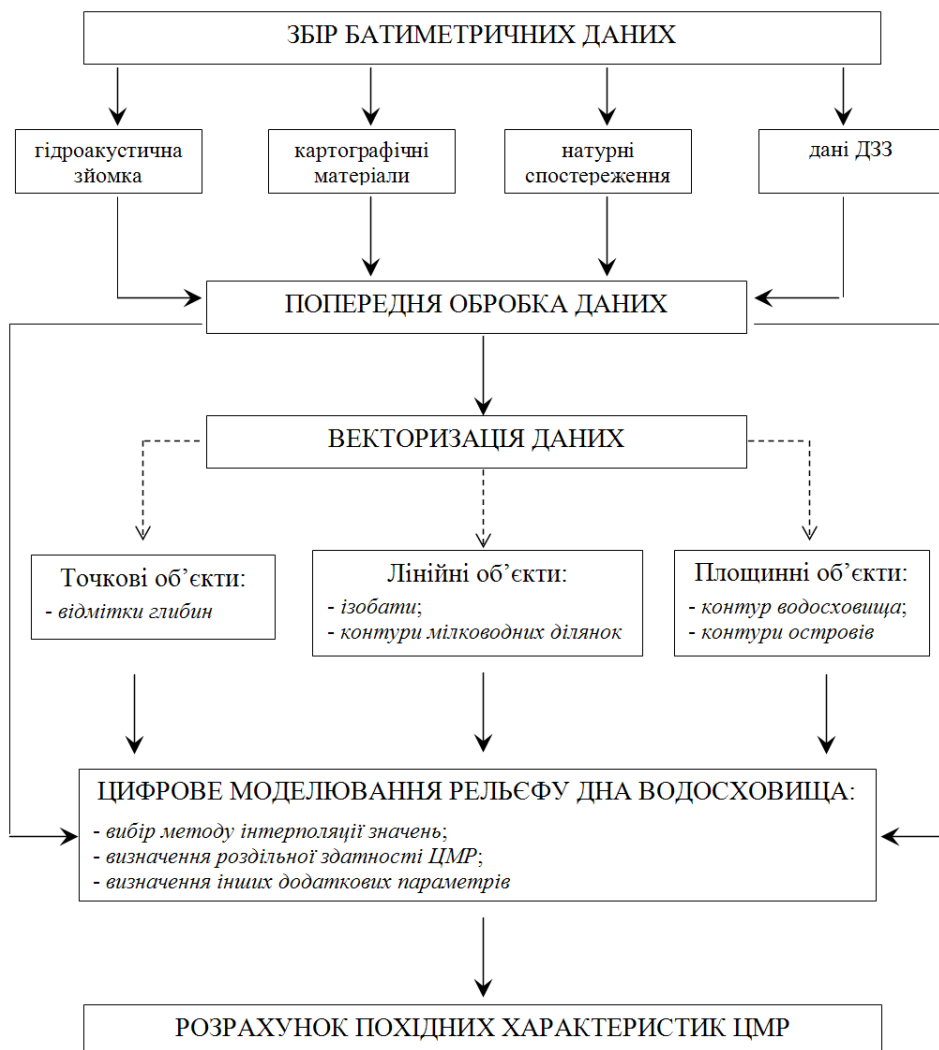


Рисунок 1 – Основні етапи цифрового моделювання рельєфу дна водосховища

Практичні результати

Аналіз даних ДЗЗ. Тематичне дешифрування даних ДЗЗ середньої та високої роздільної здатності за територією басейну середнього та нижнього Дніпра дозволило отримати наступні результати:

1. За даними КА *Landsat* – 7 (спектральний діапазон: 1,55 – 1,75 мкм, просторова роздільна здатність – 30 м, дата зйомки – 21.08.2000 р.) актуалізовані деякі гідроморфометричні характеристики Дніпровського та Каховського водосховищ – площа водного дзеркала, периметр та довжина берегової лінії з урахуванням островів. За результатами порівняльного аналізу актуалізованих даних з апріорною інформацією встановлено:

а) добра узгодженість довідникових даних із даними ДЗЗ для Каховського водосховища – відхилення значень за площею та периметром складає відповідно 1,5 % та 3,5 %;

б) суперечливі дані для Дніпровського водосховища – відхилення значень за площею та периметром складає відповідно 33,5 % та 169,3 %. З метою уточнення додатково були залучені дані ДПП «Дніпродіпрводгосп», що виявили значно більшу узгодженість із супутниковою інформацією (в т.ч. за площею – 8,5 %), а ніж з довідниковими даними (таблиця 2).

Ступінь розбіжності в значеннях периметру водосховища, насамперед, залежить від рівня генералізації базового картографічного матеріалу, за яким виконуються виміри. При збільшенні детальності просторових даних відповідно збільшується значення периметру водосховища (фрактальна теорія Мандельброта).

Таблиця 2. Порівняльний аналіз результатів дешифрування з апіорною інформацією

Назва водосховища	Морфометричні характеристики	Джерела даних				
		Дані ДЗЗ (Landsat 7)	ДПІ "Дніпродіпроводгосп"		Довідникові дані	
Дніпровське	Площа водного дзеркала, км ²	272,54	297,69	-8,5%	410,0	-33,5%
	Периметр, км	673,23	–	–	250,0	169,3%
	Довжина берегової лінії з островами, км	931,19	993,0	-6,2%	–	–
Каховське	Площа водного дзеркала, км ²	2117,35	–	–	2150,0	-1,5%
	Периметр, км	931,3	–	–	900,0	3,5%
	Довжина берегової лінії з островами, км	1309,5	–	–	–	–

Суттєві відмінності у площі водного дзеркала можуть бути пов'язані як із різними підходами до визначення площі водосховищ (врахування чи ні площі островів, заплавних озер і боліт тощо) та відмінностями у базових картографічних даних, так і з об'єктивних причин (в т.ч. збільшення площі островів за останні десятиріччя).

Відповідно до оновленого значення площі водного дзеркала актуалізований такий компонент водного балансу як випаровування з поверхні Дніпровського водосховища ($z_{\text{сеп.}} = 0,193 \text{ км}^3/\text{рік}$).

2. На основі аналізу багатоспектральних даних КА Січ-2 (просторова роздільна здатність – 7.75 м, синтезоване зображення (RGB: канали 3-2-1), дата зйомки – V.2012 р.) встановлена можливість ідентифікації мілководних ділянок Дніпродзержинського водосховища глибиною до 1 м на етапі візуального дешифрування супутникової інформації за весняний період (до початку другої хвилі вегетації водної рослинності) (рисунок 2). Слід зазначити, що дана інформація додатково деталізує існуючі глибинні характеристики дніпровських водосховищ і може виступати додатковим джерелом актуалізації батиметричних даних.

Геоінформаційний аналіз. Застосування методів геоінформаційного аналізу при дос-

лідженні акваторії Дніпровського водосховища дозволило отримати наступні результати:

1. Виконано геомодельовання рельєфу дна на тестові ділянки Дніпровського водосховища (район гирла р. Оріль та оз. Леніна (гирло р. Самара) за наявними гідрографічними даними в середовищі ГІС. За результатами геомодельовання отримані значення V водосховища на тестові ділянки на різні моменти часу (t_1, t_2). Встановлено, що на першій ділянці (верхів'є водосховища, район гирла р. Оріль) спостерігається повільне накопичення донних відкладів – 1,5 % (за період > 20 років), а на другій ділянці – інтенсивне накопичення донних відкладів: 38,17% (за період > 30 років), тобто приблизно 1% (!) на рік. Також для другої ділянки характерне суттєве зменшення площі водного дзеркала: з 4995,3 га до 4542,2 га, що складає 9,07 % (в основному за рахунок збільшення площі островів).

2. На основі цифрової моделі рельєфу дна тестової ділянки Дніпровського водосховища (район Таромського уступу) в середовищі ГІС визначені контури потенційних ділянок суходолу при зниженні НІР на 2 м та 4 м (рисунок 3). Також визначені прогнозовані межі акваторії водосховища та прируслових озер за умови зниження НІР на 4 м.

Висновки

1. Цифрове моделювання рельєфу дна водосховища є ефективним методом ГІС – аналізу, що забезпечує визначення інтенсив-

ності та просторової диференціації процесів акумуляції твердого стоку в межах дніпровських водосховищ за ретроспективний пері-

од. До того ж ЦМР дна водосховища є основою для геомодельовання прогнозних змін

ландшафтної структури затоплених територій при зниженні НПР водосховища.

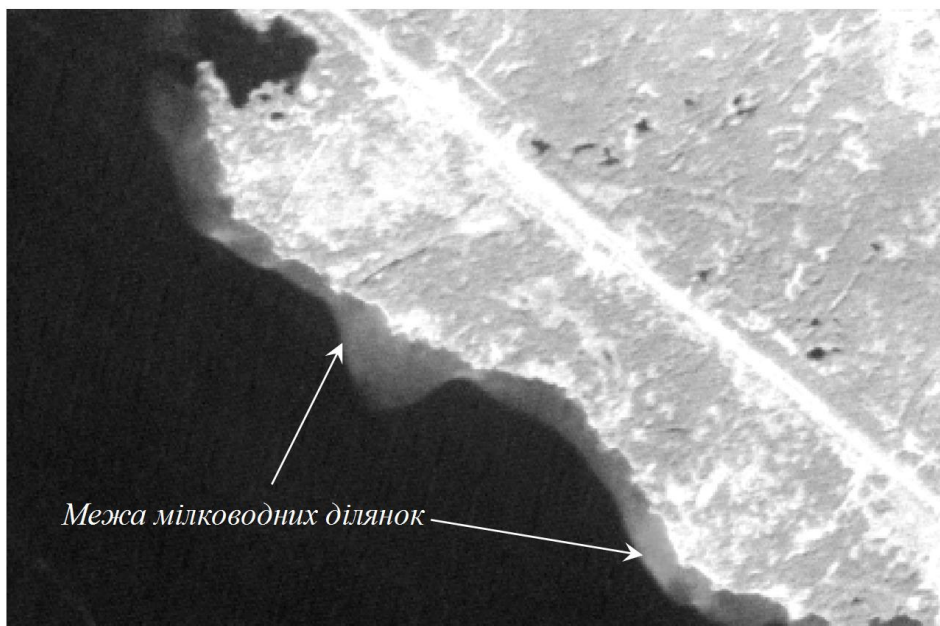


Рисунок 2 – Мілководні ділянки Дніпродзержинського водосховища за багатоспектральними даними КА Січ-2 (Україна)

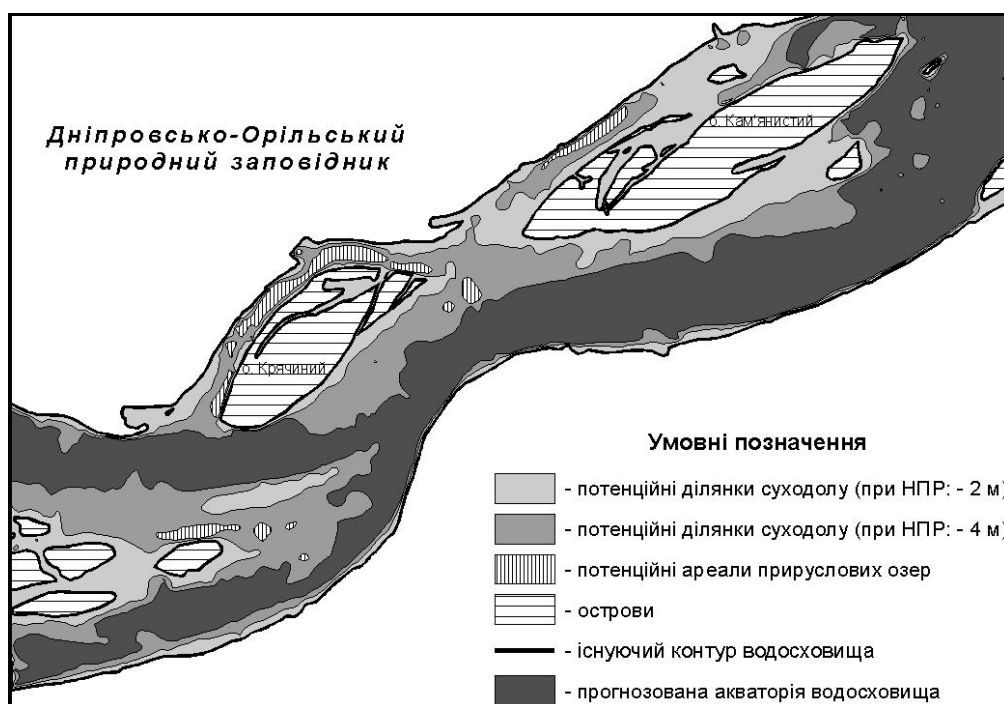


Рисунок 3 – Геомодельовання потенційних ділянок суходолу на тестовій ділянці Дніпровського водосховища при зниженні НПР на 2 м та 4 м

2. Внаслідок того, що дані дистанційного зондування Землі є джерелом об'єктивної інформації, дешифрування космічних знімків доцільно застосовувати за наступними напрямками екологічних досліджень дніпровських водосховищ:

- уточнення (актуалізація) гідроморфометричних характеристик водосховищ на певні моменти часу;
- визначення інтенсивності вегетації водної рослинності;

– ідентифікація мілководних ділянок водосховищ.

3. За допомогою ГІС отримані важливі практичні результати, а саме:

– вперше встановлено суттєві відмінності площі водного дзеркала Дніпровського водосховища між довідниковою інформацією та даними ДЗЗ (відхилення: –33,5 %);

результати аналізу супутникової інформації більш правдиві та узгоджуються із даними ДП «Дніпродіпровдгосп» (–8,5 %);

– інтенсивність накопичення донних відкладів на різних ділянках водосховища відрізняється в десятки разів: від 0,05 % (гирло р. Оріль) до 1 % (гирло р. Самара) на рік.

Перелік посилань

1. Автоматизированная технология классификации урбанизированных территорий с использованием данных WORLDVIEW-2 / Д.А. Бурнис, Е.И. Бушуев, В.И. Волошин [и др.] // Экология і природокористування. — 2011. — Вип. 14. — С. 55—71.

2. Динаміка формування гідроморфних ландшафтів у Тетерівській затоці Київського водосховища / В.М. Стародубцев, Б.В. Урбан, В.С. Струк, О.О. Кравчук // Електронний журнал «Наукові доповіді НУБіП України». — 2012. — № 2 (31). — Режим доступу: http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nd/2012_2/12svm.pdf.

3. Зміни ландшафтів у Сулинській затоці Кременчуцького водосховища за даними дистанційного зондування та наземних спостережень / В.М. Стародубцев, І.М. Дремлюга, В.С. Струк [та ін.] // Електронний журнал «Наукові доповіді НУБіП України». — 2012. — № 4 (33). — Режим доступу: http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nd/2012_4/12svm.pdf.

4. Калинин В.Г. Методические аспекты исследования пространственно – временной динамики рельефа дна долинных водохранилищ / В.Г. Калинин, Д.Н. Гайнуллина // Географический вестник. Физическая география и геоморфология. — 2014. — № 4 (27). — С. 17—21.

5. Курбатова И.Е. Использование космической информации для мониторинга природно-территориальных комплексов побережья Цимлянского водохранилища / И.Е. Курбатова // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2013. — Т.10. № 3. — С. 217—227.

6. Силкин К.Ю. Методика оценки экологического состояния Воронежского водохранилища по материалам многозонального дистанционного зондирования / К.Ю. Силкин // Вестник ВГУ, серия: геология. — 2012. — № 1. — С. 220—223.

7. Стародубцев В.М. Динаміка ареалів гідроморфних ландшафтів у верхів'ї Дніпродзержинського водосховища / В.М. Стародубцев, В.А. Богданець // Електронний журнал «Наукові доповіді НУБіП України». — 2010. — № 2 (18). — Режим доступу: <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nd/2010-2/10svmpdr.pdf>.

8. Формування дельтових ландшафтів у верхніх водосховищах дніпровського каскаду / В.М. Стародубцев, В.А. Богданець, С.В. Яценко [та ін.] // Електронний журнал «Наукові доповіді НУБіП України». — 2010. — № 5 (21). — Режим доступу: http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nd/2010_5/10svmdrc.pdf.

9. Шапар А.Г. Еколого-економічні проблеми переводу екосистеми річки Дніпро до режиму сталого функціонування / А.Г. Шапар, О.О. Скрипник, С.М. Сметана // Екологія і природокористування. — 2011. — Вип. 14. — С. 26—48.

10. Ceylan A. A study on the assessment of bathymetric changes via GIS: Altınapa dam (Konya) example / A. Ceylan, I. Ekizoglu // FIG Working Week 2012. Knowing to manage the territory, protect the environment, evaluate the cultural heritage. Rome, Italy, 6-10 May 2012 — 15 p.

11. Comparison of Preconstruction and 2003 Bathymetric and Topographic Surveys of Lake McConaughy, Nebraska / W. H. Kress, S. K. Sebree, G.R. Littin, M.A. Drain, M.E. Kling // Scientific Investigations Report, 2005-5040. Published by U.S. Department of the Interior and U.S. Geological Survey — 2005. — 15 p. Режим доступу: <http://pubs.usgs.gov/sir/2005/5040/sir2005-5040.pdf>.

*Стаття надійшла до редколегії 23.10.2014 р. українською мовою
Стаття рекомендована членом редколегії д-ром біол. наук Г.Г. Шматковим*

А.Г. ШАПАРЬ, О.А. СКРИПНИК, О.С. ТАРАНЕНКО, Д.Д. ДУБОВИК
*Институт проблем природопользования и экологии НАН Украины,
г. Днепропетровск, Украина*

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТУАЛЬНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ДНЕПРОВСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ С ПОМОЩЬЮ
ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Предложен подход к определению актуальных экологических параметров днепровских водохранилищ на основе данных ДЗЗ и цифрового моделирования рельефа дна водохранилищ в среде ГИС.

***Ключевые слова:* днепровские водохранилища, актуальные экологические параметры, геоинформационный анализ, дистанционное зондирование Земли.**

A.G. SHAPAR, O.O. SKRYPNYK, O.S.TARANENKO, D.D. DUBOVIK
*Institute for Nature Management Problems and Ecology of National Academy
of Sciences of Ukraine, Dnipropetrovsk, Ukraine*

**DETERMINATION OF ACTUAL ECOLOGICAL PARAMETERS
OF THE DNIEPER RESERVOIRS USING GEOINFORMATION TECHNOLOGIES**

The approach to determination of actual ecological parameters of the Dnieper reservoirs was proposed based on remote sensing data and digital elevation modeling of reservoirs in the bottom of the GIS environment

***Keywords:* Dnieper reservoirs, actual ecological parameters, GIS analysis, remote sensing of Earth.**