

УДК 504.73(285.2)(477.82)

Л. М. Зуб – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник лабораторії охорони та відтворення рослинного світу Наукового центру екомоніторингу та біорізноманіття мегаполісу НАН України

## Оцінка екологічного стану оз. Світязь за багаторічною динамікою рослинних комплексів аквальної біоти

*Роботу виконано в НЦЕБМ НАН України та на базі Центру космічних досліджень НАН України*

Типізація біотопів фіталі оз. Світязь та ретроспективний аналіз космічних знімків дали змогу оцінити трансформацію літорального макрофітного комплексу протягом 25-річного періоду (1988–2012 рр.). Направленість цих процесів свідчить про перебудову фітоценозів макрофітів, зменшення площ природних рослинних угруповань, посилення деградації зарослої зони озера та евтрофікацію водойми.

**Ключові слова:** макрофітна рослинність, аквальні біотопи, декодування космічних знімків.

**Зуб Л. Н. Оценка экологического состояния оз. Свитязь по многолетней динамике растительных комплексов аквальных биотопов.** Типизация биотопов фитали оз. Свитязь и ретроспективный анализ архива космических снимков позволили оценить трансформацию зарослей водных макрофитов озера на протяжении 25-летнего периода (1988–2012 гг.). Направленность этих процессов свидетельствует об уменьшении площадей природных растительных сообществ макрофитов, увеличении деградации заросших мелководий озера и перестройке сообществ в сторону более евтрофных.

**Ключевые слова:** макрофитная растительность, аквальные биотопы, дешифровка космических снимков.

**Zub L. M. Evaluation of Lake's Svityaz Ecological Condition by Vegetation Complexes of Aquatic Biotopes Several Years' Dynamics.** Typification of lake's Svityaz phytal biotopes and retrospective analysis of space pictures archive allowed to evaluate water macrophytes growth transformation during 25-years period (1988–2012). These processes' trend indicates natural vegetation areas decreasing, increasing of degradation rate of lake's overgrown shallows and vegetation communities transformation into more eutrophic ones.

**Key words:** macrophyte vegetation, aquatic biotopes, space pictures interpretation

**Постановка наукової проблеми та її значення.** Озеро Світязь – безстічна водойма, екосистема якої була порівняно незмінною протягом тривалого часу, чому сприяла збереженість природних ландшафтів прилеглих територій та традиційні методи господарювання на водозборі. Порівняння космічних знімків з точними військовими топографічними картами середини ХІХ ст. показало, що за останні 150 років залишилися незмінними не лише розміри водойми і форма контурів берегової лінії, а й межі прилеглих боліт [9]. За таких умов площа фіталі озера та її структура має залишатися сталою компонентою, а будь-які зміни (навіть мінімальні) слугуватимуть індикатором порушення збалансованих природних процесів у ній. Саме тому результати декодування космічних знімків для оцінки трансформації площі та структури заростей макрофітів оз. Світязь можуть стати ефективним індикатором наслідків антропогенного впливу на унікальну екосистему водойми.

**Аналіз останніх досліджень із цієї проблеми.** Методи ефективного та масштабного аналізу рослинного покриву водойм за допомогою використання космічних знімків на сьогодні ще перебувають на стадії розробок та вдосконалення [14; 16]. Проте в науковій літературі з'являється все більше робіт, у яких аналіз змін заростей водних рослин, як основи контролю екологічного стану водойми, базується на використанні ретроспективного багаточасового ряду космічних знімків [3; 10; 13; 15].

У результаті посилення антропогенного навантаження протягом останніх 5–7 років стали спостерігатися надзвичайно негативні тенденції в розвитку біоти оз. Світязь загалом і його рослинних комплексів зокрема [4; 11]. Виникає потреба застосовувати нові методики для здійснення ретроспективного аналізу стану екосистеми водойми та виявлення довгострокових змін в її природних комплексах. Саме тому **мета** нашого дослідження – простежити зміни в розподілі індикаторних угруповань водних рослин на фіталі озера за допомогою використання даних космічних знімків та виявити тенденції, притаманні сучасним процесам заростання. Для цього слід було провести типізацію рослинного покриву озера на надфітоценотичному рівні та оцінити площі, зайняті кожним

типом рослинності протягом останніх 25 років – періоду інтенсивного посилення рекреаційного використання водойми.

**Матеріали й методи.** Особливості макрофітної рослинності оз. Світязь за період 1988–2012 рр. вивчали на основі наземних спостережень, що проводилися за загальноприйнятими флористичними та геоботанічними методиками. Для проведення ретроспективного аналізу структури фіталі озера були використані дані декодування космічних знімків супутників Landsat TM та ETM+. У ході дослідження розроблено процедуру тематичної обробки супутникових даних та наземної інформації, результатом якої є карти ПТК водойми за період 1988–2009 рр., проведені експертна оцінка екологічного стану водойми та мультифрактальний аналіз ценотичної структури угруповань макрофітів [1; 8]. Для декодування використовувалися літні знімки кінця червня–початку вересня – періоду максимального розвитку угруповань макрофітів.

**Вклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.** Унікальна екосистема оз. Світязь вирізняється водою високої якості [7]. Проте з кожним роком рекреаційне та господарське навантаження на його екосистему стає все потужнішим. Сьогодні озеро є одним із найпопулярніших об'єктів рекреації та туризму. За річними звітами Шацького національного парку, щороку Шацькі озера відвідують близько 75 тис. рекреантів (ця цифра зросла майже вдвічі порівняно з 80-ми роками минулого століття), пік припадає на липень–серпень, коли на озерах може одночасно відпочивати до 25 тис. чоловік. Нинішнє навантаження на екосистему оз. Світязь протягом літнього періоду становить понад 6000 люд./добу, що у середньому перевищує норму в 20 разів, спостерігається тенденція до його зростання [12]. Паралельно відбувається і досить суттєва зміна основних гідрохімічних показників водних мас: за останні 40 років мінералізація води озера підвищилася майже вдвічі (з 167 мг/дм<sup>3</sup> у 1970 р. до 450 мг/дм<sup>3</sup> у 1999 р. та 200 мг/дм<sup>3</sup> у 2005 р.), з 6 до 7 змінився рН води, у десятки разів виріс вміст амонію (з 0–0,05 мг/дм<sup>3</sup> у 1970-х рр. до 2,10 мг/дм<sup>3</sup> у 1999 р.), нітратів (з 0,1 мг/дм<sup>3</sup> до 1,1–1,2 мг/дм<sup>3</sup> у 2006 р.) тощо [2; 5; 6].

Узагальнення наявних літературних відомостей щодо гідрохімічних, санітарно-біологічних показників якості води та рекреаційного навантаження можна узагальнити в умовній експертній оцінці екологічного стану оз. Світязь (рис. 1): порівняно з 70–80-ми роками минулого століття рекреаційне навантаження на його мілководдя зросло майже вдвічі, тоді як основні екологічні показники значно погіршилися. Щоправда, протягом останніх п'яти років намітилася тенденція до покращення екологічного стану водойми, зумовлена, очевидно, системою господарчо-організаційних заходів, що впроваджуються на території Шацького НПП (введення в експлуатацію каналізаційної системи в урочищі «Гряди», посилення контролю за дотриманням відповідних санітарних та екологічних норм тощо).

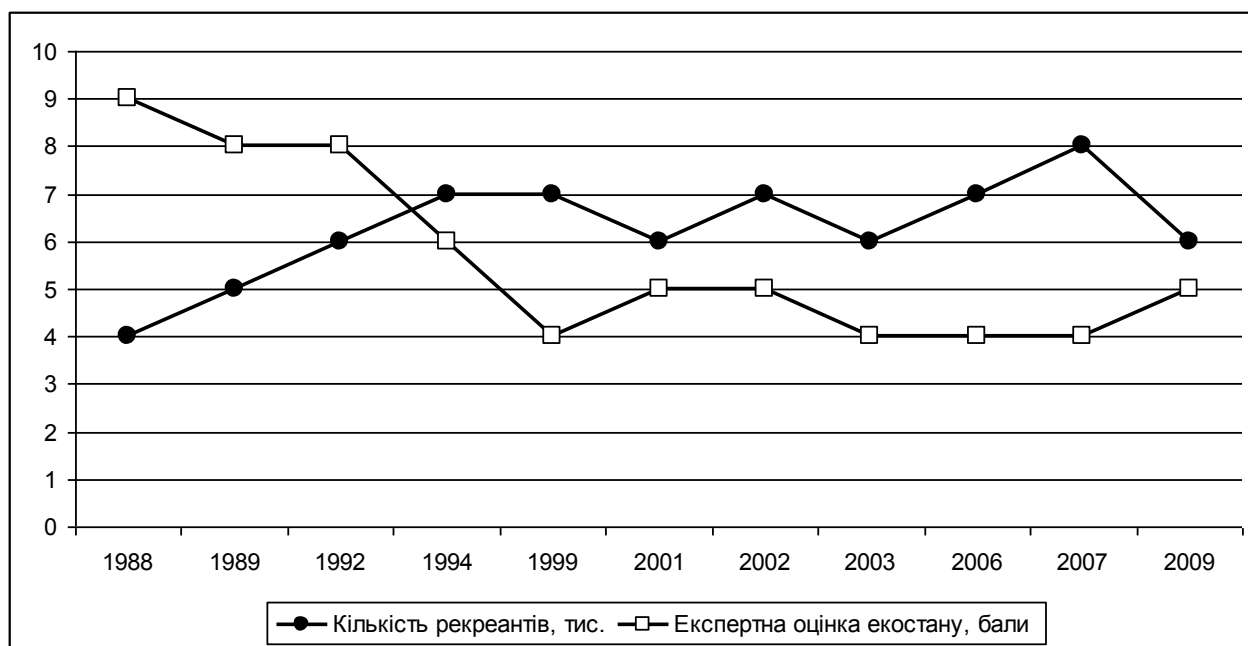


Рис. 1. Експертна оцінка антропогенного навантаження на екосистему оз. Світязь

Найявне антропогенне навантаження, у свою чергу, позначається на усіх біотичних компонентах екосистеми озера, у тому числі й на угрупованнях макрофітів. Аналіз заростання загалом оз. Світязь макрофітами дав змогу виділити в його заростевій зоні п'ять основних надфітоценотичних об'єднань угруповань макрофітів (типів ПТК), що декодуються на космічних знімках і можуть слугувати показниками екологічного стану водойми. Вони складають основу рослинного покриву трьох типів біотопів фіталі озера: біотопи оліготрофного, мезотрофного та евтрофного типів (за своїми характеристиками вони наближені до типів біотопів С 1.1, С 1.2 та С 3.2 класифікації EUNIS) (табл. 1). І хоча ці ПТК охоплюють фіталь озера від урізу води до глибини 10–12 м, нам, на жаль, не вдалося виокремити на космічних знімках ПТК на глибинах понад 3 м. Тому класифікація типів ПТК, яку ми запропонували, охоплює лише літоральні ділянки озера.

Таблиця 1

**Характеристика основних типів біотопів, декодованих за космічними знімками для фіталі оз. Світязь**

Тип біотопу (EUNIS)	ПТК	Глибини поширення/грунт	Асоціації	ЗПП в ценозі, %
С 3.2	Водно-болотні комплекси узбережжя	0–0,5 м, замулений пісок, мул	<i>Phragmito-Caricetum</i> <i>Calistegio-Phragmitetum</i> <i>Thelypteridi-Phragmitetum</i> <i>Lemno-Phragmitetum</i> <i>Typhetum angustifoliae</i> <i>Typhetum latifoliae</i>	80–100
С 1.2	Макрофітний комплекс непорушених мілководь	0,1–1,0 м, пісок	<i>Charetum fragilis</i> <i>Charetum asperae</i> <i>Chareto-Potametum pectinati</i> <i>Chareto-Potametum graminei</i> <i>Chareto-Eleocharetum palustris</i> <i>Chareto-Scirpetum lacustris</i>	80–100
С 1.2	Макрофітний комплекс деградованих мілководь	0,1–1,0 м, пісок	<i>Charetum asperae</i> <i>Potametum pectinati</i> <i>Eleocharetum palustris</i> <i>Scirpetum lacustris</i>	5–10
С 1.1	Літоральний комплекс «водних» очеретів	1,0–2,0 м, пісок	<i>Chareto-Phragmitetum</i>	80–100
С 1.1	Макрофітний комплекс широколистяних рдесників	2,0–3,0 м, дещо замулений пісок	<i>Chareto-Potametum perfoliati</i> <i>Chareto-Potametum lucentis</i>	60–80

Біотопи евтрофного типу об'єднують *водно-болотні комплекси* прибережних ділянок із надлишковим накопиченням органічної речовини у донних відкладах та зарості угрупованнями висотравних гелофітів у поєднанні з болотним різнотрав'ям. Тут формуються багатовидові високопродуктивні ценози з домінуванням очеретів. Зростання площ заростей цього комплексу ПТК може свідчити про заболочення прибережної зони озера внаслідок збільшення об'ємів привнесення твердого стоку та органіки з водозбору. Зменшення площі, дефрагментація заростей та зниження загального проективного покриття ценозів (ЗПП) може відбуватися внаслідок викошування чи руйнації (засипання, розорювання) для обладнання пляжів і рекреаційних зон.

Біотопи мезотрофного типу. Сюди ми віднесли *макрофітний мілководний комплекс*, що формується на характерних для оз. Світязь прибережних піщаних мілководдях до 100–200 м завширшки з поступовим падінням глибини до 2 м. Тут на піщаних донних відкладах формуються зімкнуті (ЗПП до 100 %) зарості макрофітів мозаїчної структури, складені як гідрофітами, так і низькорослими по-

вітрянно-водними гелофітами. Перебудова видового складу, зменшення площ заростей цього комплексу, дефрагментація або зменшення ПП в заростях є свідченням збільшення органічної речовини антропогенного походження у воді або прямого витоптування відпочивальниками під час купання. Обстеження прибережних піщаних мілководь у зонах масового скупчення рекреантів дало змогу виділити нам різновид цього типу ПТК – *макрофітний комплекс деградованих прибережних мілководь* – це видозмінена внаслідок механічного впливу (витоптування, викошування) прибережна фіталь, де рослинний покрив дуже розріджений або цілком деградований.

Біотопи оліготрофного типу ми відзначили для більш глибоководних ділянок водойми, що характеризуються незначним вмістом біогенних елементів, невисоким рівнем первинної продукції та відповідно високою прозорістю води. Це сприяє розвитку угруповань макрофітів на глибинах понад 2 м. В оселищах такого типу на оз. Світязь формується кілька типів ПТК. Один із них – спільні ценози харових водоростей та очерету, які на відстані 30–50 м від берега утворюють фрагментарний пояс *літорального комплексу «водних» очеретів*, що за екологічними умовами поширення, структурою заростей та продукційними показниками чітко відрізняється від прибережних водно-болотних угруповань. Ще один тип ПТК – *макрофітний комплекс широколистяних рдесників* – спільні ценози харових водоростей та судинних гідрофітів, що поширюються до глибин 5–8 м. Деградація рослинного покриву оліготрофних оселищ може відбуватися внаслідок опосередкованого впливу забруднювальних скидів (насамперед з надлишком біогенних елементів), що спричиняють збільшення темпів антропогенної евтрофікації та зменшення прозорості води. Площа комплексу «водних» очеретів може зменшуватися також у результаті прямого викошування заростей, щоб обладнати проходи для купання в зоні постійної рекреації.

Результати декодування космічних знімків фіталі оз. Світязь показали, що за період 1988–2012 рр. відбулися суттєві зміни в структурі рослинних угруповань макрофітів водойми (табл. 2). Протягом останніх 25 років спостерігається стійка тенденція до збільшення загальної площі заростей макрофітів (порівняно з 1988 р. вона збільшилася на 12 %), насамперед за рахунок евтрофних біотопів (площа останніх зросла на 30 %). Чітко простежується і поступове збільшення частки ПТК деградованих мілководь (рис. 2), площі яких на озері в окремі роки зростали більш ніж у два рази. Зміни площ цього типу ПТК залежать безпосередньо від кількості рекреантів, що відвідують пляжі озера протягом літнього періоду: за умови збільшення їх числа (понад 60 тис. чол./рік) ми спостерігаємо різке зростання площ деградованих піщаних прибережних мілководь.

*Таблиця 2*

**Площа основних типів ПТК фіталі оз. Світязь (га) за результатами декодування космічних знімків**

<b>Тип ПТК / Рік</b>	<b>1988</b>	<b>1989</b>	<b>1992</b>	<b>1994</b>	<b>1999</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>
Водно-болотні комплекси	90	85	87	71	122	79	93	61	137	141	107	118
Макрофітний комплекс непорушених мілководь	147	115	208	150	161	97	98	122	118	111	98	142
Макрофітний комплекс деградованих мілководь	51	94	77	111	83	76	85	121	87	99	84	84
Літоральний комплекс «водних» очеретів	199	180	93	101	122	85	99	111	96	147	140	184
Глибоководний макрофітний комплекс	262	301	298	319	383	376	403	317	331	340	350	317
Загальна	749	775	763	752	871	713	778	732	769	838	779	845

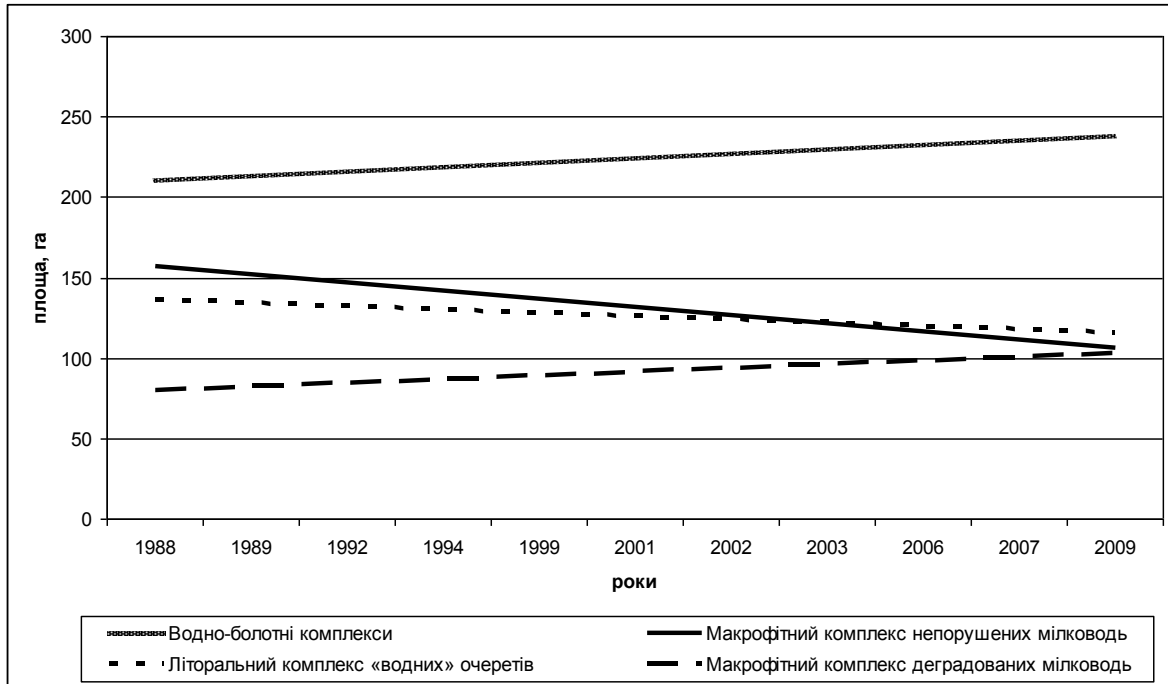


Рис. 2. Лінії трендів змін площ основних типів ПТК фітал оз. Світязь

Наслідки рекреаційного впливу на рослинні комплекси прибережних мілководь, які у 80-х роках минулого століття ще не були помітними, сьогодні дуже чітко простежуються в місцях постійної концентрації відпочивальників навіть на космічних знімках (рис. 3).



Рис. 3. Структура заростей макрофітів на ділянках стихійної рекреації (1), організованої рекреації (2) в урочищі «Гряди», організованої рекреації біля пансіонату «Шацькі озера» (3) та ділянках, де рекреація обмежена (4), оз. Світязь, Шацький НПП

Руйнування літорального поясу макрофітів водойми – основного буферу на шляху забруднених стічних вод із водозбору – супроводжуються погіршенням якості води в озері, руйнуванням чагарникових, лучних та лучно-болотних комплексів узбережжя внаслідок розбудови рекреаційних комплексів, знищенням біотопів рідкісних і реліктових видів рослин та тварин, деградацією нерестовищ тощо. Посилення рекреації на водозборі водойми впливає на її екологічний стан, а забруднення та погіршення якості води в ній позначається на організмах, які тут мешкають, та самоочисних функціях екосистеми озера загалом.

Прогноз подальшого розвитку ситуації за умови постійного і неконтрольованого зростання кількості рекреантів показує, що вже за 40 років на водоймі зовсім не залишиться непорушених природних біотопів оліготрофного та мезотрофного типів (рис. 4), тоді як евтрофні біотопи стануть панівними.

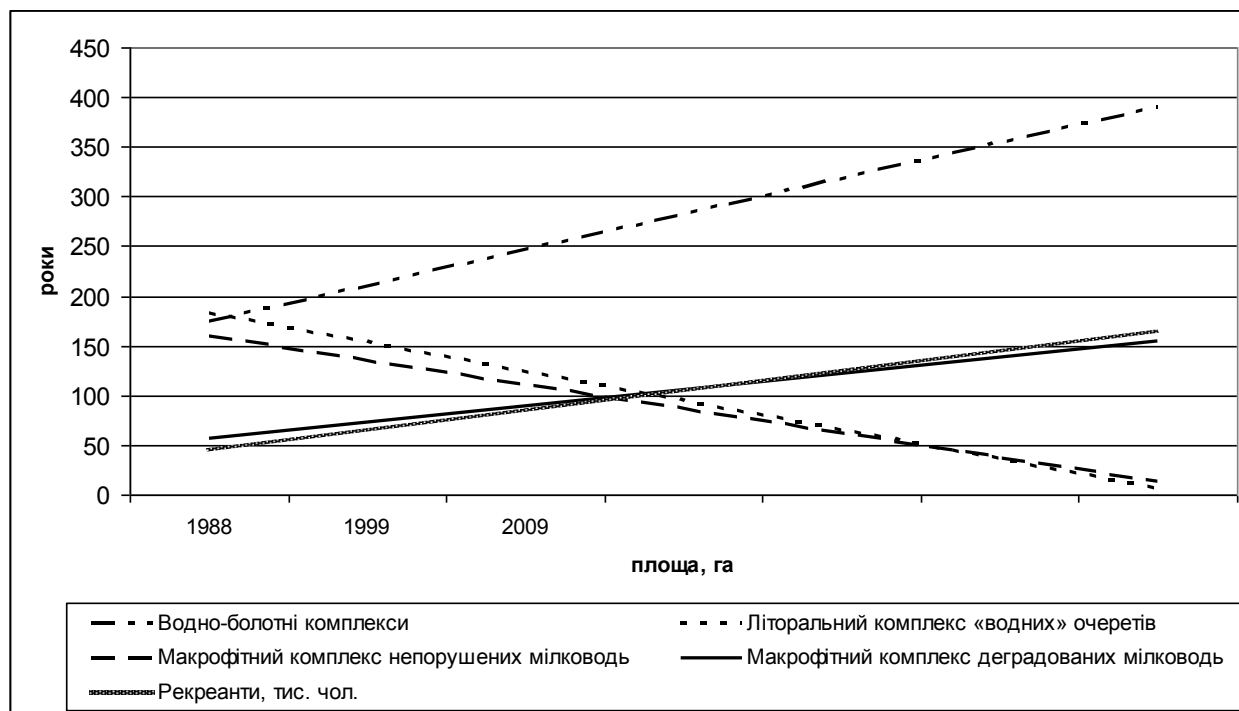


Рис. 4. Прогноз динаміки площ основних типів ПТК фіталі оз. Світязь на найближчі 40 років

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Результати декодування космічних знімків фіталі оз. Світязь показали, що за період 1988–2012 рр. відбулися помітні зміни в структурі рослинних угруповань макрофітів водойми: на 12 % збільшилася площа заростевої зони озера, на 30 % збільшилася площа заростей біотопів евтрофного типу, майже вдвічі збільшилися площі деградованих мілководь. Прогноз подальшого розвитку ситуації за умови постійного й неконтрольованого зростання кількості рекреантів свідчить, що вже за 40 років на водоймі зовсім не залишиться непорушених природних біотопів оліготрофного та мезотрофного типу, а панівними будуть евтрофні біотопи.

Аналіз змін структури і площ окремих ПТК фіталі водойми дає змогу стверджувати, що сьогодні екосистема водойми перебуває на межі своєї екологічної стійкості та існує реальна загроза зміни трофічного статусу озера в результаті деградації природних біотопів. Подальше освоєння рекреаційного потенціалу оз. Світязь можливе лише за розробки і прийняття відповідного науково обґрунтованого екологічно збалансованого менеджмент-плану.

#### Список використаної літератури

1. Мультифрактальный анализ биоразнообразия и ценотической структуры сообщества растений по данным дистанционного зондирования / М. В. Артюшенко, Л. Н. Зуб, Л. В. Подгородецкая, А. Д. Федоровский // Доповіді Національної академії наук України. – 2011. – № 9. – С. 113–119.
2. Божидарник В. В. Еколого-гідрохімічна оцінка стану озера Світязь під впливом антропогенних навантажень / В. В. Божидарник, Я. О. Мольчак, О. Ф. Картава // Наук. вісн. Волин. держ. ун-ту ім. Лесі Українки. – 2007. – № 11, Ч. 1. – С. 102–106.

3. Використання космічної інформації у вирішенні водогосподарських і водоохоронних завдань / [В. І. Лялько, О. Д. Федоровський, Л. Я. Сіренко та ін.] // *Космічна наука і технологія*. – 1997. – № 3/4. – С. 40–49.
4. Карпова Г. О. Негативна трансформація макрофітної рослинності озера Світязь в умовах посилення рекреаційного навантаження / Г.О. Карпова, Л. М. Зуб // *Озера й штучні водойми України: сучасний стан і антропогенні зміни* : матеріали I Міжнар. наук.-практ. конф. (22–24 трав. 2008 р.). – Луцьк : РВВ «Вежа» Волин. нац. ун-ту ім. Лесі Українки, 2008. – С. 312–316.
5. Нетробчук І. Екологічна оцінка якості води Шацьких озер / І. Нетробчук, М. Боярин // *Озера й штучні водойми України: сучасний стан і антропогенні зміни* : матеріали I Міжнар. наук.-практ. конф. (22–24 трав. 2008 р.). – Луцьк : РВВ «Вежа» Волин. нац. ун-ту ім. Лесі Українки, 2008. – С. 248–253.
6. Озеро Світязь: сучасний природно-господарський стан та проблеми. – Луцьк : РВВ ЛДТУ, 2008. – 336 с.
7. Окснюк О. П. Трофо-сапробиологическая характеристика Шацких озер / О. П. Окснюк, В. М. Якушин, В. М. Тимченко // *Гидробиол. журн.* – 1997. – Т. 33, № 1. – С. 24–35
8. Підгородецька Л. В. Використання інформації комічного геомоніторингу для оцінки екологічного стану водойм на прикладі оз. Світязь / Л. В. Підгородецька, Л. М. Зуб, О. Д. Федоровський // *Космічна наука і технологія*. – 2010. – Т. 16, № 4. – С. 51–56.
9. Федорів Р. Ф. Шацький горст: ефект самозбереження водних екосистем / Р. Ф. Федорів // *Наук. вісн. Волин. держ. ун-ту. ім. Лесі Українки*. – 2007. – № 11, ч. 1. – С. 59–65
10. Федоровский А. Д. К вопросу оценки экологического состояния аквально-наземных ландшафтных комплексов / А. Д. Федоровский, Л. Ф. Даргейко, Т. Н. Дьяченко // *Доповіді НАН України*. – 2000. – № 5. – С. 129–131.
11. Цвид Н. В. Стан забруднення оз. Світязь / Н. В. Цвид. – К. : Екол. наука, 2005. – С. 482–485.
12. Шацький національний природний парк : наук. дослідж. 1983–1993 рр. – Світязь, 1994. – 248 с.
13. Brivio P. Validation of satellite data for quality assurance in lake monitoring applications / P. Brivio, C. Giardino, E. Zilioli // *Sci. Total Environ.* – 2001. – № 268. – P. 3–18.
14. Feldmann T. Factors controlling macrophyte distribution in large shallow lake Vortsjarv / T. Feldmann, P. Noges // *Aquat. Bot.* – 2007. – № 87. – P. 15–21.
15. Two decades of macrophyte expansion on the shores of a large shallow northern temperate lake – a retrospective series of satellite images / J. Liira, T. Feldmann, H. Mäemets, U. Peterson // *Aquat. Bot.* – 2003. – № 93. – P. 207–215.
16. Nelson S. A. C. Satellite remote sensing of freshwater macrophytes and the influence of water clarity / S. A. C. Nelson, K. S. Cheruvilil, P. A. Soranno // *Aquat. Bot.* – 2006. – № 85. – P. 289–298.

Статтю подано до редколегії  
24.09.2012 р.