

УДК 556.56 + 528.88

Л. Н. Зуб<sup>1</sup>, О. В. Томченко<sup>2</sup>

**ОЦЕНКА ТРАНСФОРМАЦИИ ВОДНО-БОЛОТНЫХ  
УГОДИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСМИЧЕСКОЙ  
ИНФОРМАЦИИ ДИСТАНЦИОННОГО  
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ (НА ПРИМЕРЕ  
ВЕРХОВИЙ КИЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА)**

По результатам дешифрирования ретроспективных рядов космических снимков изучена трансформация биотопической структуры водно-болотных угодий крупного равнинного водохранилища (Киевское водохранилище, р. Днепр, Украина). Показано, что процессы преобразования ландшафтов идут путем перераспределения площадей между разными типами биотопов и вторичного поймообразования.

*Ключевые слова:* водно-болотные угодья, биотопы, дешифрирование космических снимков, поймообразование.

Исследования любых изменений, происходящих в экосистемах, подразумевают временной сравнительный анализ. Крайне важны такие подходы при оценке разных видов антропогенной трансформации и ведения экологического мониторинга. Среди современных методов построения рядов ретроспективных сравнений наиболее эффективными являются основанные на использовании данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Особенно актуально применение результатов дистанционного мониторинга при исследовании изменений ландшафтной структуры крупных природных объектов, для которых проводить регулярные полевые исследования сложно и затратно. Необходимы они и в тех случаях, когда оригинальных или литературных данных недостаточно, чтобы охватить сравнениями определенный временной промежуток.

Наиболее доступной физиономической характеристикой ландшафта, в том числе и аквального, является растительность. Отслеживая перестройку видовой и ценотической структур растительного покрова, перераспределение доминатов или площадей, занятых теми или иными фитоценозами, можно оценить и спрогнозировать трансформацию ландшафтных комплексов. В любой ландшафтной структуре выделяются пространственные участки, которым свойственны однородность абиотических факторов и характерный набор фито- и зооценозов. Их принято называть биотопами. Они поддаются классификации, могут ранжироваться, занимать значительные площа-

© Л. Н. Зуб, О. В. Томченко, 2015

ди, а их границы четко прослеживаются на космических снимках (КС). Среди них есть ряд индикаторных, сравнение изменений структуры или площади которых позволяет проследить основные тенденции развития экосистемы.

Целью наших исследований было изучение трансформации водно-болотных угодий (ВБУ) крупного равнинного водохранилища на базе анализа изменений, происходящих в их биотопической структуре, по результатам дешифрирования ретроспективных рядов КС на примере верховий Киевского водохранилища (р. Днепр, Украина).

**Материал и методика исследований.** Для проведения ретроспективного анализа структуры и площадей типов биотопов ВБУ были использованы данные дешифрирования КС Landsat 5, 7 и 8 (обработано 16 снимков за период с 1985 по 2015 г.) и картографический материал (топографические и лоцманские карты). Использовали летние снимки конца июня — начала сентября, т. е. времени максимального развития сообществ макрофитов.

В качестве полигона были выбраны ВБУ, сформировавшиеся в верховьях Киевского водохранилища на участке с верхней границей, проходящей через населенные пункты Чернобыль — Парышев — Теремцы — Василева Гута и с нижней — по границе РЛП «Межреченский» (Сухолучье — Ошитки). В июле — августе 2012—2013 гг. были проведены натурные исследования современного зарастания этого участка сообществами высших водных растений со снятием географических координат тестовых участков ряда фитоценозов и всех типов биотопов для последующего распознавания снимков.

Для классификации объектов, представленных на мультиспектральных снимках Landsat, применяли классификатор, построенный на искусственных нейронных сетях (ИНС). Распознавание выполняли с использованием модели нейронной сети многослойный перцептрон (MLP), в которой входными признаками были данные спектральных каналов и значения нормализованного вегетационного (NDVI) и нормализованного водного (NWI) индексов. В качестве дешифровочных признаков использовали спектральные образы объектов, при этом разделение заданных классов проводили на основании вычленения различных типов спектральной яркости отражающих поверхностей [14, 17].

Дешифрирование растительных комплексов водоема проводили на базе КС с разрешающей способностью 30 м/пиксель, что не позволило выделить единицы классификации растительного покрова на уровне элементарных сообществ — фитоценозов ранга ассоциации (в объеме шкалы Браун — Бланке) и, соответственно, на уровне элементарных биотопов. Поэтому в качестве классификационной была использована более крупная структурная единица надфитоценотического уровня — «тип биотопа» — определенный тип местообитания закономерного набора растительных сообществ, объединенных в границах пространственного участка, которому свойственны однородность абиотических факторов среды. Именно «типы биотопов» («типы местообитаний») и идентифицировались экспертом как классы.

Отнесение того или иного исследуемого участка к конкретному типу биотопа проводили на основании определения ценотической структуры произрастающих на нем растительных сообществ.

Полученные данные обрабатывали на базе комплексного использования современных ГИС-технологий, космической информации ДЗЗ и математических методов системного анализа [9, 11]. В результате дешифрирования ретроспективного ряда КС получено 16 изображений, в которых каждый пиксель был отнесен к одному из определенных классов по спектральным образам эталонов, и вычислены площади выделенных типов биотопов для каждого года исследований.

### *Результаты исследований и их обсуждение*

Киевское водохранилище — крупное равнинное водохранилище пойменного типа, верхнее в каскаде на р. Днепр (Украина). Его заполнение до нормального подпорного горизонта (103,0 м над у. м.) завершилось в 1966 г. Площадь водоема составляет 92,2 тыс. га, объем — 3,73 км<sup>3</sup>, длина — 110 км, максимальная ширина — 12 км, средняя глубина — 4, максимальная — 12 м [1].

За более чем пятидесятилетнее существование водоема в его верховьях под воздействием рек Днепра и Припяти образовались водно-болотные угодья достаточно сложной структуры. Техногенные по происхождению, сегодня эти ВБУ в силу формирования ландшафтов и протекания ряда вторичных сукцессионных процессов представляют собой приближенные к естественным пойменные комплексы дельтового типа [5]. Это динамическая экосистема, все еще находящаяся в процессе преобразования, которое охватывает большинство типов сложившихся здесь местообитаний и гидробиоценозов. Широкий спектр разнообразных биотопов, возникших в результате ландшафтогенезиса, благоприятствовал заселению ВБУ многочисленными видами водной и околородной флоры и фауны [8].

Наиболее возвышенные элементы ландшафта (острова — останцы затопленной речной поймы) представляют собой комплекс наземных биотопов, где в условиях повышенной влажности почвы формируются луговые и лесные фитоценозы, зачастую с чертами заболачивания. На затопленных прибрежных участках, затопленных прирусловых грядах и современных мелководных возвышениях формируются так называемые переувлажненные биотопы, основу растительного комплекса которых составляют сообщества воздушно-водных растений, в частности тростниково-рогозовые массивы плавневого типа. Пониженные участки рельефа — речные русла, протоки, старицы, многочисленные пойменные водоемы и примыкающие акватории водохранилища формируют широкий спектр собственно водных биотопов.

При дешифрировании КС и классификации объектов с разными типами спектральной яркости отражающих поверхностей, с использованием подходов выделения экотопов, принятых в гидробиологии [3], было выделено

**1. Характеристика типов биотопов, использованных как единицы для классификационной процедуры**

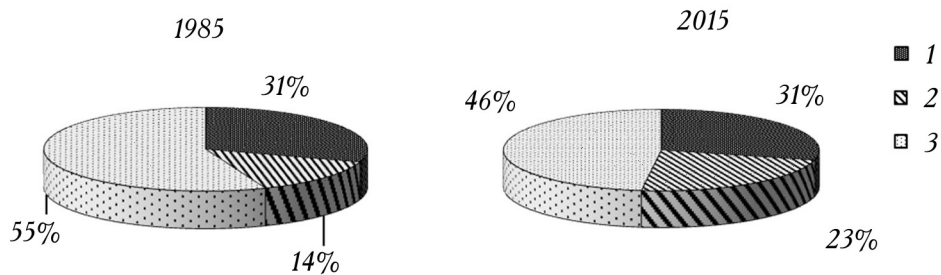
Типы биотопов	Характеристики	Коды по EUNIS [16]
а) Местообитания пойменных лиственных лесов	Прирусловые древесно-кустарниковые ценозы, сложившиеся в условиях чрезмерного увлажнения на молодых супесчаных и песчано-илистых наносах и лугово-болотных почвах.	G1.1, G1.C, F9.1
б) Биотопы искусственных хвойных насаждений	Искусственные насаждения сосны на супесчаных и дерново-подзолистых почвах островов и прирусловых гряд.	G3.F1
в) Биотопы пойменных лугов	Ксеро-мезофильные и гигро-мезофильные злаково-разнотравные и осоковые луга, формирующиеся в широком диапазоне почвенных условий.	E1.9, E3.4, E5.4
г) Прибрежные переувлажненные местообитания	Зона подтопления и литоральный пояс речных русел, пойменных водоемов разного типа и плеса водохранилища, поросший сообществами с доминированием высокотравных гелофитов на песчано-илистых, илистых и торфянистых грунтах.	C3.2—C3.5, D5.1
д) Местообитания высших гидрофитов (макрофитов)	Мелководные акватории речных русел и водохранилища и разнообразных пойменных водоемов (глубиной до 2 м), зарастающих сообществами гидрофитов на песчаных, илисто-песчаных и илистых грунтах.	C1.2, C1.3
е) Незаросшие гидротопы водохранилища	Глубоководные акватории речных русел и водохранилища с глубинами более 2 м, лишенные зарослей высших водных растений.	C2.3

три основных класса и шесть подклассов отражающих поверхностей, отвечающих шести условным типам биотопов (табл. 1):

1. *Мезо-гигротопы* (увлажненные местообитания): а) местообитания пойменных лиственных лесов; б) биотопы искусственных хвойных насаждений; в) биотопы пойменных лугов;

2. *Гигротопы* (переувлажненные участки): г) прибрежные местообитания;

3. *Гидротопы* (аквальные биотопы): д) местообитания высших гидрофитов (макрофитов); е) незаросшие гидротопы водохранилища.



1. Динамика площадей основных типов биотопов ВБУ верховий Киевского водохранилища за последние 30 лет: 1 — мезо-гигротопы; 2 — гигротопы; 3 — гидротопы.

На основании этих классификационных единиц были построены 16 карт типов биотопов за период с 1985 по 2015 гг. и вычислены их площади. Общая площадь гидроморфных и аквальных биотопов ВБУ верховий Киевского водохранилища, выбранная нами для исследований, составила 60,5 тыс. га.

Дешифрирование космических снимков показало определенную трансформацию структуры ВБУ за 30-летний период, связанную как с формированием новых биотопов, так и с перераспределением площадей между уже существующими (рис. 1).

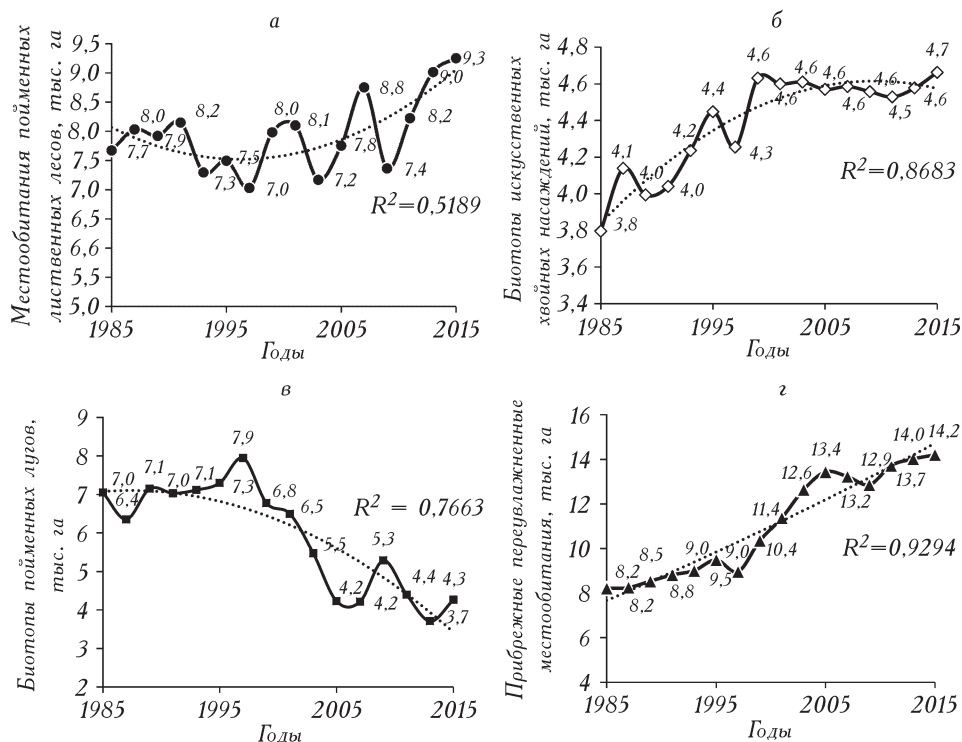
Наименее выраженными изменения были в мезо-гигротопах, и хотя их доля в структуре ландшафтов ВБУ не изменилась, общая площадь сократилась на 340 га или 2% по сравнению 1985 г. В рамках этого класса происходило активное перераспределение площадей между отдельными группами биотопов:

— площадь местообитаний пойменных лиственных лесов за период исследований увеличилась на 1/5 (на 1,6 тыс. га, рис. 2, а), что объясняется естественными сукцессионными процессами зарастания открытых луговых участков, сенокосение которых было прекращено после аварии на ЧАЭС (зарастание древесно-кустарниковыми сообществами охватило около 20% существующих на 1985 г. луговых биотопов);

— площадь искусственных хвойных насаждений также увеличилась на 1/5 (на 900 га, см. рис. 2, б) за счет проведенных в конце прошлого века фитомелиорационных мероприятий и естественного возобновления;

— луговые местообитания претерпели наибольшие изменения, их площадь сократилась на половину (на 2,8 тыс. га, см. рис. 2, в) за счет как зарастания/залесения древесно-кустарниковыми ценозами, так и естественных абразионных процессов (размывание русловых островов и переработка берегов водохранилища) и заболачивания.

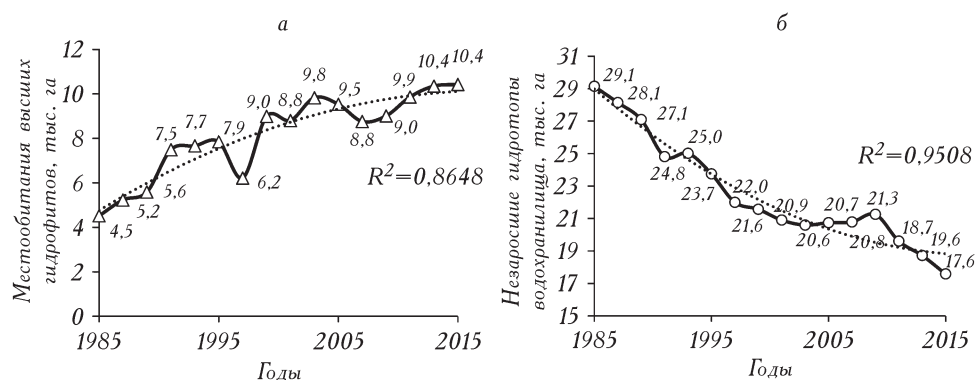
Широко распространенный тип биотопов исследуемых ВБУ — переувлажненные территории, или гигротопы. Это местообитания гелофитов, в первую очередь высокотравных. Тут произрастают сообщества класса



2. Динамика трансформации площадей наземных местообитаний ВБУ верховой Киевского водохранилища: а — пойменных лиственных лесов; б — искусственных хвойных насаждений; в — пойменных лугов; г — прибрежных переувлажненных территорий.

Phragmiti-Magnocaricetea Klika in Klika et Novak 1941, лидирующее положение занимают ценозы асс. Calistegio-Phragmitetum V. Golub. et Mirkin 1986, Thelypteridi-Phragmitetum Kuiper, 1957, Phragmitetum communis (Gams. 1927) Schale 1939, Typhetum latifoliae G. Lang., 1973. На протяжении периода исследований доля гигротопов в ландшафтных комплексах ВБУ увеличилась на 9% (см. рис. 1), а площадь — более чем на 2/3 (на 6,0 тыс. га, см. рис. 2, г), что свидетельствует о значительном усилении процессов заболачивания акваторий водохранилища и подтопления наземных участков.

За последние 30 лет отмечена ярко выраженная тенденция уменьшения общей площади гидротопов ВБУ верховой Киевского водохранилища. По результатам наших исследований, они сократись на 1/5 (на 5,6 тыс. га), что составляет 9% общей площади ВБУ в 1985 г. (в среднем ежегодно более 180 га мелководий заболачивается, переходя в наземные экосистемы). Эти изменения обусловлены, в первую очередь, седиментационным режимом водоема. В Киевское водохранилище, благодаря его головному положению в Днепровском каскаде, поступает природный (не зарегулированный) сток Припяти и Днепра, приносящий в среднем 2,4 млн. т взвесей автохтонного и аллохтонного материала [13], основная масса которых аккумулируется на дне водоема, прежде всего в верхних плесах (в начальный период существо-



3. Динамика площадей гидротопов ВБУ верхний Киевского водохранилища: а — высших гидрофитов; б — незаросших гидротопов.

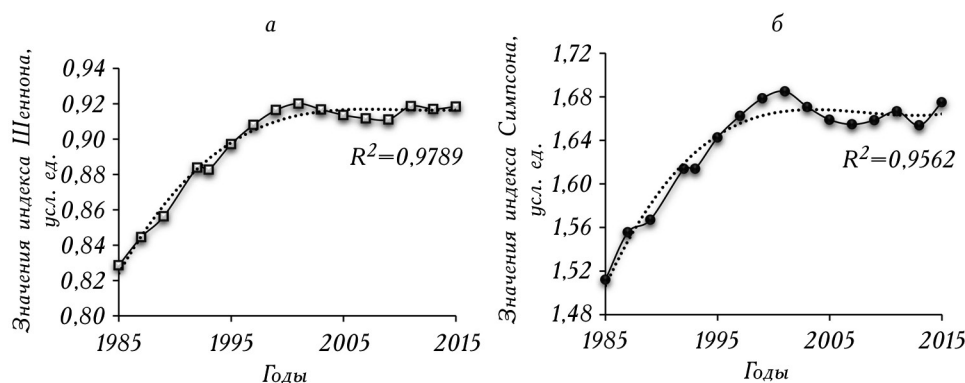
вания водохранилища только автохтонных взвесей ежегодно поступало более 1,4 млн. т [10]). В современных условиях объем твердого стока сократился практически в три раза (на 0,5 млн. т/год), что объясняется ослаблением береговых абразионно-эрозионных процессов [13].

Кроме этого, кардинальные изменения происходят и внутри этого класса биотопов за счет перераспределения площадей между зарослевой зоной мелководий и незаросшими глубоководными (более 2 м) участками. На протяжении последних 30 лет площадь последних уменьшилась практически на половину (на 11,5 тыс. га), а заросших мелководий увеличилась более чем вдвое (на 5,9 тыс. га, рис. 3). При том следует отметить, что, как уже отмечалось выше, практически такая же их площадь (5,6 тыс. га) за этот период трансформировалась в гидротопы. Ежегодно за счет отложения твердого стока, обмеления и зарастания формируется около 380 га зарослей макрофитов.

Эти результаты подтверждают предыдущие данные [2] и существенно уточняют некоторые значения [15]. Следует отметить, что наши расчеты не показали стремительного роста гидроморфных ландшафтов верхний Киевского водохранилища, отмеченного ранее (1 тыс. га/год) [12].

Главной особенностью современного зарастания мелководий верхней части Киевского водохранилища является расширение площадей, занятых ценозами асс. *Trapaetum natantis* Muller et Gors 1960 и возрастание роли сообществ евтрофного типа асс. *Ceratophylletum demersi* (Soo 1928) Eggler 1933, *Stratiotetum aloides* Pass.1964, *Hydrocharito-Stratiotetum aloides* (Van Langend.1935) Westh. 1946, *Lemno-Utricularitetum vulgaris* Soo (1928) 1938).

Для прогнозной оценки дальнейшей трансформации ВБУ были рассчитаны ландшафтные метрики, описывающие ландшафтную структуру с помощью количественных характеристик разнообразия (площади, формы, линии границ выделенных типов биотопов). В качестве основного аналитического



4. Оценка трансформации разнообразия ландшафтной структуры ВБУ верховий Киевского водохранилища за 30-летний период по индексу Шеннона (а) и индексу Симпсона (б).

инструмента было использовано ПО Fragstats 4.2 [18], предназначенное для расчета широкого спектра ландшафтных метрик на основе категориальных карт наземного покрова (в нашем случае карт типов биотопов, полученных в результате дешифрирования КС). В настоящее время разработано значительное количество ландшафтных метрик [19], из многих показателей, используемых для оценки разнообразия по КС [20], были выбраны индексы Шеннона (*Shannon's Diversity Index — SHDI*) и Симпсона (*Simpson's Evenness Index — SIEI*) (рис. 4):

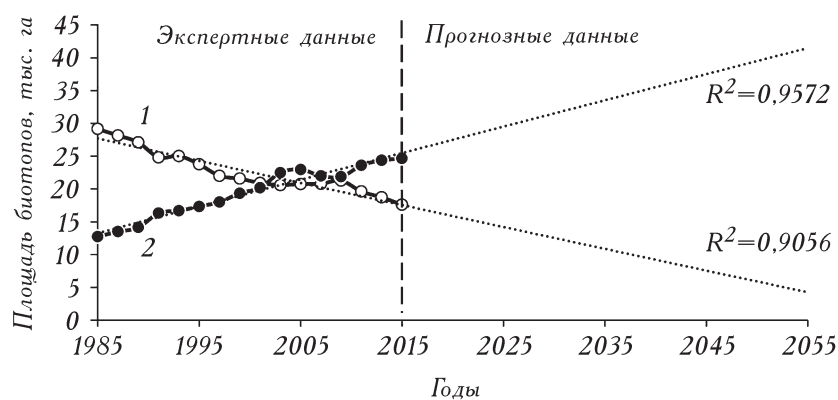
$$SHDI = -\sum_{i=1}^m (P_i^0 \ln P_i),$$

$$SIEI = \frac{1 - \sum_{i=1}^m P_i^2}{1 - \left(\frac{1}{m}\right)},$$

где  $P_i$  — часть ландшафта, занятая классом  $i$ -го типа;  $m$  — количество классов ландшафтов.

Расчеты указанных индексов показали, что процессы ландшафтопреобразования в верховьях Киевского водохранилища шли путем достижения наибольшего разнообразия, фрагментации доступных для трансформации акваторий и оптимального распределения площадей между разными типами биотопов. Прогноз дальнейшего хода процессов ландшафтопреобразования путем полиномиальной экстраполяции полученных линий трендов (рис. 5) показывает, что при сохранении современных тенденций развития экосистемы водохранилища к 2055 г., т. е. через 40 лет, произойдет практически полное приостановление перестройки ландшафтной структуры мелководий, а площади незаросших акваторий приблизятся к значениям, свойственным этому участку реки до зарегулирования (5 тыс. га).





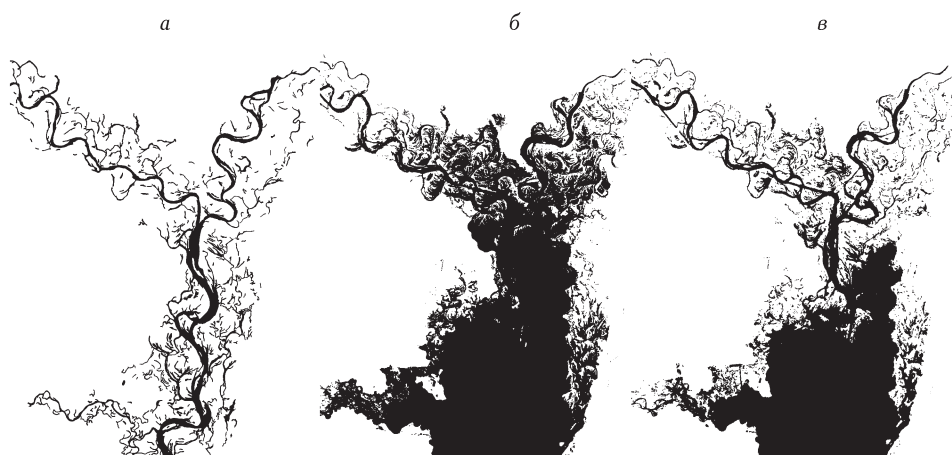
5. Прогнозная оценка развития гидротопов верховий Киевского водохранилища: 1 — незаросшие аквальные биотопы; 2 — местообитания гелофитной и гидрофитной растительности.

### Заключение

Результаты дешифрирования космических снимков верховий Киевского водохранилища за 30-летний период (1985—2015 гг.) показали значительную трансформацию сформировавшихся здесь ВБУ. Изменения произошли за счет перераспределения площадей основных типов наземных и аквальных ландшафтов. Площадь заболоченных переувлажненных местообитаний (гигротопов) расширяется, а гидротопов — сокращается. На фоне этого происходит постоянный рост площади зарослей макрофитов и деградация луговой растительности. Значения индексов ландшафтного разнообразия свидетельствуют о завершении распределения площадей между основными типами биотопов, что можно интерпретировать как приостановление процессов ландшафтопреобразования. Это позволяет сделать вывод, что к 50-му году существования водохранилища произошло полное становление ландшафтной структуры и растительного покрова в его верховьях, а дальнейшие внутренние изменения не будут носить столь стремительный характер.

Это подтверждает представленную ранее гипотезу [4—6, 8] о процессах вторичного поймообразования в верховьях крупных равнинных водохранилищ, направленных на возобновление естественной структуры русла, поймы и системы пойменных водоемов. Наши расчеты показывают, что на крупном равнинном водохранилище восстановление вторичной речной поймы может произойти в течение 90—100 лет, дальнейшие трансформации ландшафтов и местообитаний будут связаны с ходом естественных для пойменных экосистем сукцессий (рис. 6).

Отмеченное увеличение доли гигротопов в ландшафтной структуре ВБУ указывает на то, что зарегулирование стока привело к изменению типа поймообразования: вместо уничтоженных луговых пойм сегодня формируются биотопы плавневого типа, основу которых составляют сообщества гелофитов [7]. Эти местообитания менее ценны в народнохозяйственном аспекте, но отличаются крайне высоким биотическим разнообразием и продуктивностью.



6. Возобновление естественного состояния русловых и пойменных биотопов р. Днепр в верховьях Киевского водохранилища: вид участка исследований, представленный на базе топографических карт 1943 года (а); космического снимка Landsat 5 1985 г. (б); космического снимка Landsat 8 2015 г. (в).

Вторичное поймообразование в верховьях крупных равнинных водохранилищ является прямым подтверждением несостоятельности «модной» идеи спуска водохранилищ днепровского каскада, так как большинство подобных «проектов» мотивируется необходимостью возобновления утраченной речной поймы. Результаты проведенных нами исследований подтверждают, что достаточно подождать, не вмешиваясь в современные ландшафтоформирующие и сукцессионные процессы на водохранилищах и допуская лишь отдельные корректирующие мероприятия, и на протяжении ближайших лет утраченные при гидростроительстве пойменные и речные экосистемы восстановятся.

\*\*

*За результатами дешифрування ретроспективних рядів космічних знімків вивчено трансформацію біотопічної структури водно-болотних угідь верхніх ділянок крупного рівнинного водосховища (Київське водосховище, р. Дніпро, Україна). Показано, що процеси перетворення ландшафтів ідуть шляхом перерозподілу площ між різними типами біотопів та вторинного заплавоутворення.*

\*\*

*The results of interpretation of the satellite images retrospective series constitute a basis for exploring of biotopic structure transformations in a large dam reservoir wetlands (Kyiv reservoir, the Dniper River, Ukraine). It was demonstrated that the landscapes' transformations consist of various habitat types redistribution and secondary water plains forming.*

\*\*

1. Киевское водохранилище. Гидрохимия, биология, продуктивность. — Киев: Наук. думка, 1972. — 455 с.

2. Клоков В.М., Карпова Г.А., Мальцев В.И. и др. Особенности становления растительного покрова крупного равнинного водохранилища с большой долей мелководий (на примере Киевского в-ща) // Влияние водохранилищ на водно-земельные ресурсы: Тез. докл. — Пермь, 1987. — С. 98—100.
3. Лапиров А.Г. Экологические группы растений водоемов // Гидробиотаника: методология, методы: Материалы школы по гидробиотанике. Борок, 8—12 апр. 2003 г. — Рыбинск: Рыбинский Дом печати, 2003. — С. 5—22.
4. Мальцев В.И. Динамика зарастания Киевского, Каневского и Каховского водохранилищ полупогруженными макрофитами // Материалы I (VII) Междунар. конф. по водным макрофитам «Гидробиотаника 2010». Борок, 9—13 окт. 2010 г. — Ярославль: Принт Хаус, 2010. — С. 205—207.
5. Мальцев В.И., Зуб Л.М. Формування мілководних ландшафтів дніпровських водосховищ — результат динаміки їхнього заростання // Забезпечення сталого функціонування та дотримання природно-екологічної рівноваги дніпровських водосховищ: матеріали до регіонального тренінгу. — К.: Оріяни, 2004. — С. 58—65.
6. Мальцев В.И., Зуб Л.М., Карпова Г.А. Ландшафтно-ценотическая классификация мелководий днепровских водохранилищ // Материалы VI Всерос. шк.-конф. по водным макрофитам «Гидробиотаника 2005». — Рыбинск: Рыбинский Дом печати, 2006. — С. 253—256.
7. Мальцев В.И., Зуб Л.Н. Роль зарастания в процессах развития речной дельты в крупном равнинном водохранилище (на примере Каховского водохранилища) // Влияние водохранилищ на водно-земельные ресурсы: Тез. докл. — Пермь, 1987. — С. 96—97.
8. Мальцев В.И., Зуб Л.М., Карпова Г.О. та ін. Водно-болотні угіддя Дніпровського екологічного коридору. — К., 2010. — 142 с.
9. Николаев В.А. Космическое ландшафтоведение. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. — 81 с.
10. Новиков Б.И. Донные отложения днепровских водохранилищ. — Киев: Наук. думка, 1985. — 172 с.
11. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. — М.: Радио и связь, 1993. — 278 с.
12. Стародубцев В.М., Богданец В.А. Динамика гидроморфных ландшафтов в верховьях Днепровских водохранилищ // Вод. ресурсы. — 2012. — Т. 39, № 2. — С. 165—168.
13. Тімченко В.М., Линник П.М., Холодько О.П. та ін. Абіотичні компоненти екосистеми Київського водосховища. — К.: Логос, 2013. — 60 с.
14. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: теория и практика. — М.: Мир, 1992. — 184 с.
15. Цапліна К.М. Продукційні характеристики вищих водяних рослин Київського водосховища на сучасному етапі функціонування його екосистеми // Наук. Зап. Терноп. пед. ун-ту. Сер. Біологія. — 2010. — Вип. 2. — С. 524—527.

16. *About the EUNIS Database* [Электронный ресурс] / European Environment Agency. — Режим доступа: <http://eunis.eea.europa.eu/about.jsp>. (08.04.2011).
17. *Grossberg S.* Classical and instrumental learning by neural networks // *Progress in theoretical biology*. — New York: Acad. Press, 1974. — Vol. 3. — P. 51—141.
18. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>.
19. *McGarigal K.* FRAGSTATS: Spatial Analysis Program for Quantifying Landscape Structure [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://iale.org.uk/files/pdfs/What-is-Fragstats.pdf>.
20. *Nagenda H.* Opposite trends in response for the Shannon and Simpson indices of landscape diversity // *Appl. Geogr.* — 2002. — Vol. 22. — P. 175—185.

<sup>1</sup> Институт эволюционной экологии  
НАН Украины, Киев

<sup>2</sup> Научный Центр аэрокосмических  
исследований Земли ИГН  
НАН Украины, Киев

Поступила 28.09.15