

УДК 502.5:627.1:004.6

П.І. КОПАЧ, канд. техн. наук, ст. наук. співр., заступник завідувача відділу екологічних основ технологій природокористування Інституту проблем природокористування та екології НАН України, м. Дніпропетровськ, Україна

Т.Т. ДАНЬКО, головний технолог відділу екологічних основ технологій природокористування Інституту проблем природокористування та екології НАН України, м. Дніпропетровськ, Україна

Н.В. ГОРОБЕЦЬ, головний технолог відділу екологічних основ технологій природокористування Інституту проблем природокористування та екології НАН України, м. Дніпропетровськ, Україна

Н.П. ТАРАКАНОВА, провідний інженер відділу екологічних основ технологій природокористування Інституту проблем природокористування та екології НАН України, м. Дніпропетровськ, Україна

МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО ВСТАНОВЛЕННЯ МЕЖ СКЛАДНИХ ТЕХНОЕКОСИСТЕМ

На основі принципів взаємозв'язку і взаємозалежності між природними компонентами та технологічними об'єктами розроблено методологічні підходи до визначення просторових меж складних техноекосистем (на прикладі техноекосистеми Дніпродзержинського водосховища).

Ключові слова: складні техноекосистеми, техногенний вплив, межі зон впливу, водогосподарські техноекосистеми.

Вступ. Постановка проблеми

Дослідження процесів, які протікають в навколишньому середовищі, є однією з основних задач природоохоронної діяльності. Матеріальний світ, що нас оточує, складається з систем. Кожна система, у свою чергу, існує в конкретному середовищі.

При вивченні будь-яких систем ми стикаємося з проблемою виявлення принципів їх побудови, функціонування, а також взаємодії систем з навколишнім середовищем. Основна увага в даній роботі приділяється матеріальним системам. Матеріальна система – це створена з певною метою природою чи людиною частина об'єктивного матеріального світу, яка складається із взаємодіючих і взаємопов'язаних елементів, існує відносно самостійно і стійко, розвиток і вдосконалення якої постійно залежать від взаємодій з навколишнім середовищем. Будь-яка система функціонує в природі і суспільстві з певною доцільністю. Якщо природна система перестає задовольняти «поставленій» цілі, вона гине, а натомість

виникають нові, більш сильні і життєздатні системи.

Те ж саме можна сказати і про штучні системи, створені в природному середовищі людиною з метою удосконалення природи, самої себе і суспільства. Найгостріші, в багатьох випадках антагоністичні протиріччя між природними і штучними системами виявляються в тих непоправних збитках, яких завдають природі, навколишньому середовищу сильні і потужні машини, механізми, устаткування, виробничі підприємства. Цим пояснюється нагальна необхідність дослідити діалектику штучних систем, основні закони взаємодії їх з навколишнім середовищем.

Вивчення цих процесів фактично зводиться до вивчення природних і технічних об'єктів, які знаходяться в певних відношеннях та зв'язках між собою і фактично утворюють єдину техноекосистему. Техноекосистема (ТЕС) являє собою цілісну, впорядковану в просторово-часовому відношенні сукупність природних і техногенних елементів, що функціонують як єдина система [1].

Іншими словами ТЕС – це сукупність форм і станів взаємодії компонентів природного середовища з інженерними спорудами та системами на всіх стадіях їх функціонування. Таким чином, всю територію країни можна розглядати як єдину політехноекосистему, що складається із множин ТЕС як ре-

гіонального, так і місцевого рівня. Залежно від виду господарської діяльності можна виділити такі типи ТЕС: лісова, сільськогосподарська, сільбищна, гірничопромислова, промислова, будівельна, транспортно-комунікаційна, водогосподарська, рекреаційна.

Системний підхід до вирішення проблеми

Системність матеріального світу, нерозривна єдність систем і зовнішніх середовищ, постійний обмін між ними речовиною і енергією є одним із важливих відкриттів ХХ століття. Системність є всезагальною властивістю матеріального світу, яку можна назвати формою існування матерії. Відомі форми існування матерії – простір, час, рух, структурованість – являють собою часткові аспекти системного світу. Оточуючий нас світ являє собою сукупність величезної (практично нескінченної) кількості різного роду об'єктів, між якими існують відповідні відношення і які, на деякому етапі узагальнення, складають ту чи іншу техноекосистему.

Кожна техноекосистема існує до тих пір, поки вона зберігається як цілісний об'єкт. Збереження тісно пов'язане з якістю техноекосистем. Будь-яка якісна визначеність існує доти, доки зміни, яких зазнає техноекосистема, не призведуть до виникнення нової якості і, як наслідок, нової техноекосистеми.

Саме існування техноекосистеми і середовища, в якому вона функціонує, обумовлене взаємним впливом їх один на одного, тобто взаємодією. Взаємодія визначає структурну організацію будь-якої системи, її властивості, об'єднання поряд з іншими аналогічними системами в систему вищого порядку.

Кожна техноекосистема має певну структуру, організацію, предметний склад, володіє конкретними фізичними, хімічними, біологічними та іншими властивостями, що відрізняє її від будь-якої іншої системи. З моменту свого виникнення техноекосистеми проявляють індивідуальність і відносну самостійність по відношенню до навколишнього середовища. Ці якості необхідні для того, щоб забезпечити системі стійкість у процесах життєдіяльності.

Будь-яка техноекосистема має межу, яка відділяє її від зовнішнього світу. Межі слід

визначати за низкою параметрів. Виділена з навколишнього середовища техноекосистема повинна бути автономною, цілісною, володіти певними якісними показниками, мати закономірні внутрішні зв'язки і постійно взаємодіяти із зовнішнім світом. Кожна техноекосистема постійно змінює не тільки форму, але й свій якісний зміст. Незалежно від характеру, до певного моменту система залишається саме даною, а не іншою системою, тобто зберігає свою якісну визначеність. Це дозволяє стверджувати, що межа системи, за якою починається навколишнє середовище, пролягає там, де закінчується її якісна визначеність.

Однією з найважливіших умов вільного розвитку техноекосистеми є динамічна рівновага, яка полягає в підтримці істотно важливих для її збереження параметрів у допустимих межах. У разі зміни параметрів зовнішнього середовища та відповідної мобільності структури мова може йти про еволюціонування її техноекосистеми, а якщо її елементи в значній мірі консервативні – про виникнення криз або критичних станів. У цьому випадку деякий механізм, який підтримував систему в стабільному стані, перестає нормально функціонувати і замінюється іншим, відповідальним за якісно нові процеси, тобто відбувається якісна перебудова техноекосистеми. Виникають відповідальні моменти в еволюції систем, коли відбувається вибір, якій далі бути техноекосистемі. Від усіх інших моментів еволюції критична точка відрізняється тим, що в ній відбувається якісна зміна. Одна система замінюється іншою. Одночасно зі зміною структури системи змінюється набір процесів, що підтримують існування системи (обмін речовиною, енергією та інформацією між елементами системи і з навколишнім середовищем). Відбувається перехід через критичний стан, наслідки якого через деякий час позначаються в перебудові екосистеми, що при-

зводить до виходу із ладу всієї техноекосистеми, що є вкрай небажаним.

Не менш важливим, з практичної точки зору, є поняття "стійкості техноекосистеми". Фізично стійким вважається такий стан системи, до якого вона мимовільно повертається, будучи виведена з нього зовнішніми силами. Відновлюється стан, з фізичної точки зору найбільш ймовірний – з найменшим рівнем вільної енергії (термодинамічні системи). Наочною моделлю стійкої системи слугує кулька, яка скочується до найнижчої ділянки ямки, скільки б ми не піднімали її на укуси. "Критичною межею" для кульки є підйом її на таку точку схилу, звідки вона починає котитися вже в сусідню ямку. Стан з найменшим запасом вільної енергії, або з найбільшою ентропією є стійким. Це стосується, втім, лише систем, у яких відсутні механізми, що автоматично регулюють надходження і витрату енергії і які влаштовані за принципом зворотного зв'язку.

При наявності зворотного зв'язку (саморегульовані системи) можуть бути стійкими і такі стани, коли вміст вільної енергії відрізняється від мінімального. Саморегульовані системи в найбільш спрощеному вигляді моделюються, як повітряні кульки, які прагнуть зайняти найвище місце на нерівній стелі. Два напрямки руху кульок ілюструють протилежності енергетичної природи саморегулюючих і термодинамічних систем. Важка кулька в ямці відповідає стійкому стану у фізичному сенсі, легка кулька в найвищій точці стелі відповідає гомеостатичному стану саморегулюючої системи. Нерівний рельєф "стелі" і "підлоги" в моделі – це зовнішнє середовище системи, яке ставить межі накопиченню енергії в одних компонентах і втрат у інших.

Реальні техноекосистеми містять у своєму складі як саморегульовані, так і термодинамічні підсистеми. Ті й інші нерозривно пов'язані одна з одною, хоча часом цей зв'язок може бути і достатньо гнучким. Кожна підсистема в цій єдності діє за своїми

енергетичними законами, причому вони "тягнуть" в різні боки. Термодинамічні компоненти – вода, атмосфера, мінерали ґрунту – "тягнуть" до найнижчої енергетичної межі; саморегульовані – господарські, соціальні, біотичні і технічні – накопичуючи енергію, – до найвищої, наскільки дозволяє їхня організація і навколишні умови.

Наведена вище спрощена модель техноекосистеми ілюструє основну думку: рух до рівноваги в техноекосистемі – складний процес, який поєднує протилежно спрямовані тенденції саморегулюючих і несаморегулюючих компонентів. Хоча система єдина, але перші прагнуть до стану з максимальним запасом вільної енергії – гомеостатичного, а другі – з мінімальним – до рівноважного. Двоїста природа техноекосистеми таїть у собі небезпеку її загибелі. У той момент, коли перестануть діяти регулятори зворотного зв'язку, які підтримують тиск в легких кульках, вони опадуть. Все, що до цього становило техноекосистему і її середовище, перетвориться в єдину за своєю природою купку важких кульок, які займають найнижче з можливих положення. Безперервна робота, витрата енергії, добутої з навколишнього середовища, потрібні для збереження кульок у верхньому положенні. Будь-яка перерва в надходженні енергії, будь-яка несправність в механізмі добування чи використання енергії – це загроза отримати замість легких кульок кульки, які лопнули. З цієї загрози виникає життєва необхідність постійно захищати техноекосистему від навколишніх середовищ різних ієрархічних рівнів, тим більше, що втручання людини в хід процесів саморегулювання екосистем інколи направлено на підтримку станів, які не відповідають ні гомеостатичному, ні термодинамічно рівноважному енергетичному рівням, а деякому третьому, з будь-яких причин вигідному людям. Особливо небезпечним є випадок, коли цей механізм переміщується на більш високий рівень організації, на рівень системи природа – суспільство.

Приклад Дніпродзержинського водосховища як регіональної техноекосистеми

В цій статті складні техноекосистеми будуть розглянуті на прикладі території з типовою водогосподарською техноекосисте-

мою, а саме – природно-господарським комплексом, сформованим на базі Дніпродзержинського водосховища.

Кожне водосховище суто індивідуально – це не тільки новий, але й унікальний природний об'єкт. На відміну від більшості природних водних об'єктів водосховища виникають «миттєво». Їх розміри в конкретних природних умовах визначаються людиною. В утвореному новому водоймищі комплекс внутрішньо-водоймових процесів – гідродинамічних, гідрофізичних, гідрохімічних, гідробіологічних – набуває зазвичай іншої спрямованості та інтенсивності.

Створення водосховищ порушує сформовану відносну рівновагу в природі. У результаті утворюється зона впливу водосховища, в межах якої змінюються кліматичні та інженерно-геологічні умови, режим підземних вод, спостерігаються затоплення, підтоплення, заболочування, еволюція ґрунтів і рослинності тощо. У зонах впливу водоймищ більш-менш значуще змінюються господарство та умови життя проживаючих у цій зоні людей.

Наскільки унікальними були умови проживання на цій території видно з наведеного нижче уривку, взятого з книги Г. Боплана [2].

«... На одне льє (4 км 444 м) нижче (Кременчука) знаходиться гирло Псла, дуже рибної річки; ще трохи нижче на руському боці є маленька річка, яку вони називають Омельник котра впадає у Борисфен і наповнена раками. Нижче на тому ж боці є ще одна річечка, яку називають Другий Омельник, у ній, як і в першій, теж повно раків. Навпроти неї тече Ворскла, досить велика і дуже рибна річка, яка впадає в Ніпро, а також з того ж самого боку річка Орель, де риби ще більше, ніж у попередніх. Якраз у гирлі цієї річки я бачив, як витягли понад 2 тис. риб за одним закиданням сіті, і найменша з них мала стопу у довжину (1 стопа = 32,5 см). На протилежному боці, що належить Русі, є кілька озер, настільки рибних, що незліченна кількість риби гине від надмірної тисняви у надто стоячій воді... Вони називають ці місця Самоткань. Вище цих місць видно маленьку річечку, що зветься Домоткань, дуже багату раками, які мають понад дев'ять дюймів у довжину (1 дюйм = 2,7 см). У ній збирають також водянні горіхи, варені, вони дуже добрі для споживання...».

В результаті гідротехнічного будівництва за період з 1931 (Дніпрогес) по 1976 роки

(Канівське водосховище) вся акваторія Дніпра в межах України перетворена в каскад водосховищ. Сучасний стан легендарної ріки описано в статті А.Г. Шапара «Тільки стогне, але вже не реве» [3].

Формування техноекосистеми, яку ми розглядаємо, починається з моменту створення у 1964 році Дніпродзержинського водосховища, коли практично миттєво змінюється природний режим на ділянці поширення підпору.

Згідно з доповідною запискою Укргіпродепу (1952 р.) площа затоплення Дніпродзержинським водосховищем передбачалася у розмірі 61 тис. га. Тут знаходилося 15,8 тис. дворів з населенням 53 тис. чол. У ході будівництва визначили, що переселити треба 11,7 тис. господарств (93 населені пункти). Із 8 тис. колгоспних господарств (37,8 тис. осіб) 6,8 тис. дворів (85,3 %) планували розмістити на землях власних колгоспів, а інші 1200 доприселити в сусідні колгоспи [4]. Міста на Дніпродзержинському водосховищі затоплювалися частково, тому розселення відбувалося в їхніх межах.

Таким чином, побудоване Дніпродзержинське водосховище є одним з шести великих українських водосховищ на Дніпрі. Воно знаходиться частково в Кіровоградській, Полтавській і Дніпропетровській областях. Дніпродзержинське водосховище займає площу розміром в 567 км² і містить близько 2,5 км³ води. Його довжина становить 115 км при найбільшій ширині 8 км. Пересічна глибина – 4,3 м, максимальна – 16 м. Нормальний підпертий рівень водосховища становить – 64,00 м Балтійської системи. Водобмін відбувається 18-20 разів на рік. Гребля довжиною в 35 км є однією з найбільших у світі. Вона знаходиться на західній території Дніпродзержинська. Прозорість води коливається в межах 0,6-1,7 м, істотно знижуючись в період літнього "цвітіння" води синьо-зеленими водоростями. Мінералізація води знаходиться в межах 187-425 мг/л. Підвищеною мінералізацією відрізняються райони впадання у водосховище Ворскли і Псла.

Найбільш значимі міста Дніпродзержинського водосховища – Дніпродзержинськ, Комсомольськ і Верхньодніпровськ. Водосховище використовується для енергетики, водного транспорту, зрошення (30-40 тис. га), водопостачання (тут бере поча-

ток канал Дніпро – Донбас), рибного господарства і рекреації. Із 30 видів риб промислове значення мають лящ, щука, судак, сом, плітка та ін. Промислова рибопродуктивність становить 25-29 кг/га на рік.

Важливе значення має канал Дніпро-Донбас, який призначений для водопостачання Харкова і міст Донбасу. Канал проходить майже до м. Донецька і має довжину 263 км.

Вплив водосховищ на природне середовище прилеглих територій

Після створення водосховища режим і особливості функціонування техноекосистеми визначаються складною взаємодією в основному трьох груп факторів, які пов'язані з: а) фізико-географічними особливостями району водосховища; б) умовами формування стоку на водозборі і в) характером господарської діяльності.

Характерним для водогосподарських техноекосистем є специфіка їх антропогенного впливу на навколишнє середовище. Вплив водогосподарських техноекосистем на довкілля характеризується такими особливостями:

- комплексністю: вплив охоплює усі компоненти навколишнього середовища: атмосферне повітря, підземні та поверхневі води, ландшафти, ґрунти, надра;
- інтенсивністю: вплив має агресивний характер: порушуються значні території ландшафту, створюються умови для масштабного підйому підземних вод тощо;
- регламентацією: характер впливу, інтенсивність і тривалість впливу заздалегідь відомі;
- просторово-часовими вимірами: вплив не обмежується границями техногенних об'єктів та терміном їх експлуатації;
- післядією впливу: негативні зміни в навколишньому середовищі проявляються і після ліквідації техногенного об'єкта.

Виходячи з гідрологічних позицій, територію району водосховища можна поділити на 5 підрайонів:

- а) чаша самого водосховища;
- б) прилегла територія в межах різних зон прямого і непрямого впливу даного водоймища (гідрологічного, гідрогеологічного, кліматичного, біологічного);
- в) район водозбірної басейну;
- г) район нижнього б'єфу, де змінюється режим стоку, охоплює річку, її долину, дельту і водоприймач (море чи озеро);
- д) район збільшення водних ресурсів та їх використання за рахунок водосховища

(зрошувані і обводнені масиви, зони групових водопроводів тощо).

Різноманіття та інтенсивність змін природи багато в чому визначаються особливостями самих водосховищ як природно-технічних об'єктів. Зміни в природному середовищі проявляються практично у всіх частинах геосфери – літосфері, гідросфері, атмосфері, біосфері і позначаються на всіх їх елементах – геодинаміці (сейсміці), рельєфі, гідрогеологічних, гідрологічних, кліматичних умовах, ґрунтах, рослинному покриві, тваринному світі; в кінцевому підсумку це призводить не тільки до трансформації водних і наземних природних комплексів екосистем, а й до зміни умов життя населення. Зміни в природному середовищі при створенні водосховищ носять як позитивний, так і негативний характер. Причому одні й ті ж зміни за різних умов можуть розглядатися і як позитивні, і як негативні.

В першу чергу характер впливу водосховищ на природу визначається їх параметрами і морфологією. Так, площа водного дзеркала, лінійні розміри (довжина, ширина, глибина) і конфігурація водосховища в плані визначають, насамперед, розміри затоплення земель, інтенсивність переформування берегів, величину випаровування води та ін., а також вносять зміни в гідрографію і ландшафт територій. Величина повного об'єму впливає, перш за все, на зміни мікроклімату, гідробіологічні процеси і, в деяких випадках, на геодинамічні (сейсмічні) умови регіону, а також визначає разові втрати стоку при первинному наповненні водосховища. Від величини корисного об'єму водосховища залежить ступінь регулювання стоку і гідрологічні та інші зміни, які спостерігаються у верхніх і нижніх б'єфах гідровузлів. Глибина водосховища поряд зі значним її впливом на гідрохімічний і гідробіологічний режими водойми багато в чому визначає гідрогеологічні процеси берегової зони (ве-

личину підпору ґрунтових вод, втрати на інфільтрацію тощо) та на процеси формування берегів і дна водосховища. Ступінь регулювання стоку, що залежить від співвідношення корисного об'єму водосховища і

повеневого стоку річки і режим експлуатації його водних ресурсів також багато в чому визначають ступінь і масштаби змін навколишнього середовища в зоні їх впливу.

Розвиток несприятливих інженерно-геологічних і гідрогеологічних процесів як результат змін гідрологічного режиму техноекосистеми

У результаті інтенсивного природокористування в басейні Дніпра, особливо після створення каскаду Дніпровських водосховищ, будівництва зрошувальних систем на півдні України і масового осушення в Поліссі, істотно активізувалися несприятливі інженерно-геологічні та гідрогеологічні процеси. Порівняно зі станом на початок 1970-х років, загальна площа, що була уражена різними інженерно-геологічними процесами, зросла в 1,5-2 рази [5]. За даними моніторингу геологічного середовища, проведеного Держкомгеологією України, за період з 1960 по 1996 роки кількість випадків несприятливих геологічних процесів зросла у 3-5 разів.

Основними процесами, активізація яких пов'язана зі змінами гідрологічного режиму річок басейну Дніпра, є переробка берегів водосховищ, зсуви вздовж берегів річок, бокова, площинна і лінійна ерозія, підтоплення земель, суфозія і карст. Як наслідок цих процесів відзначається зменшення сейсмічної стійкості порід (через їх підтоплення та водонасичення), забруднення підземних вод, засолення і осолонцювання ґрунтів, їх вторинне заглиблення, залуження і заболочування.

Переробка берегів водосховищ. З початком наповнення водосховища в результаті інтенсифікації ерозійних і акумулятивних процесів у зоні нового урізу води починається процес формування берега, процес перестройки профілю надводної та підводної частин берега у новоствореної водойми в результаті хвильової абразії, обвальних, осипних, зсувних, просадних, суфозійних, ерозійних та інших процесів, а також акумуляції розмитих порід і тих, які обрушилися, перенесення береговими течіями наносів уздовж берегів.

Дані про ці процеси простежимо на прикладі Дніпродзержинського водосховища. Протяжність берегів Дніпродзержинського водосховища – 360 км. Поширення берегових процесів на Дніпродзержинському

водосховищі мають такі масштаби: абразійно-обвальні – 24,6 км, абразійно-осипні – 10 км, абразійно-обвальні-осипні – 17,9 км, ерозійні – 23 км, акумулятивні – 3 км, нейтральні – 173 км, техногенні – 108,8 км.

Особливо сильно береги руйнувалися в перші роки після заповнення водосховищ. Швидкість переформування берегів у цей час сягала 10-15 м на рік. На даний час береги водоймищ практично по всій їх довжині перейшли до другої стадії розвитку – абразійно-акумулятивного вирівнювання берегової лінії. Максимальна величина переробки берегів за час експлуатації Дніпродзержинського водосховища: абразійно-обвальні – 131,4 м, абразійно-осипні – 48,2 м, абразійно-обвальні-осипні – 87,1 м, ерозійні – 120,6 м.

Провідну роль в переробці берегів відіграє хвильова абразія. Ріст хвилі залежить від швидкості вітру, його тривалості та довжини її розгону (рисунку 1). При тривалості вітру до двох годин ріст хвилі уповільнюється. Виходячи з даних рисунку 1, «рози вітрів» та конфігурації водяного дзеркала є можливість визначити найбільш небезпечні ділянки берегової лінії.

За період експлуатації дніпровських водосховищ площа втрачених земель у результаті абразії та ерозії берегів складає 6,3 тис. га. Згідно з прогнозними оцінками Дніпровського басейнового водогосподарського об'єднання, втрата земель внаслідок переробки берегів водосховищ на 50 років, починаючи з моменту їх заповнення, складе 8,6 тис. га, в тому числі по Дніпродзержинському водосховищу – 780 га.

Активізація екзогенних процесів на берегах водосховищ призводить не тільки до їх руйнування і втрати земель, а й до накопичення у водосховищах твердих осадів, які раніше виносилися в море. Цьому процесу сприяє також уповільнення водообміну у водосховищах. Так, порівняно з природними умовами водообмін в дніпровських водосхо-

вищах сповільнився у 7-11 разів з урахуванням корисного об'єму і у 14-30 разів з урахуванням повного об'єму водосховища. Як наслідок цих причин, середня річна маса акумульованих твердих фракцій у водосхо-

вищах Дніпровського каскаду становить близько 43 млн т. З них у Дніпродзержинському – 3,5 млн т [6]. Загальний об'єм продуктів розмиву берегів у водосховищах оцінюється в 350 млн м³ [7].

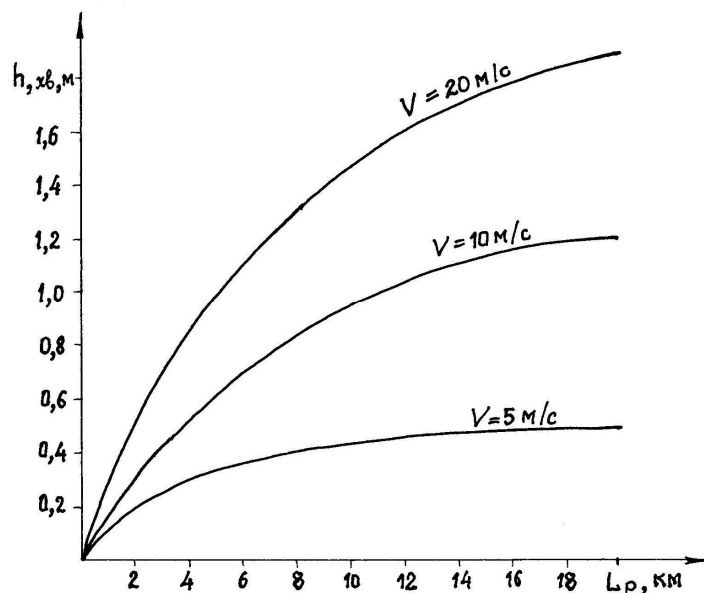


Рисунок 1 – Залежність висоти хвилі h_x у водосховищі від довжини розгону L_p при тривалості вітру більше двох годин

Зсувні процеси в басейні Дніпра пов'язані як зі змінами гідрологічного режиму басейну, так і з іншими факторами техногенної природи. Створення водосховищ на Дніпрі істотно вплинуло на посилення зсувної активності. Основні причини цього полягають у наближенні урізу води до підшови древніх стабілізованих зсувних схилів, що, у свою чергу, викликало розвиток підпору ґрунтових вод у глибину схилу і абразійне підрізування його основи. Внаслідок цього вологість і обводненість пухких відкладень, що складають схили (переважно – лесів) підвищилася. Важливе значення має також інтенсифікація на схилах водосховищ ерозійної діяльності (особливо – яроутворення).

Зазначені причини призвели до активізації зсувних процесів на древніх (стабілізованих) схилах долини Дніпра, які в даний час і є основними аренами розвитку зсувів.

Динаміка розвитку зсувів на берегах водосховища визначається тим, що максимальна активність зсувних процесів настала після декількох, до 10-13 років їх експлуатації. В даний час формування підпору ґрунтових вод в основному завершилося і основними чинниками розвитку зсувних процесів є абразія берегів водосховищ та розвиток

ярів на їх схилах. При цьому активізація зсувних процесів останнім часом спостерігається переважно лише в межах нижньої зсувної тераси, а ширина зони порушень схилу не перевищує подвоєну величину розмиву берега. Цей розмив за останні роки в межах зсувів у середньому становить 20-30 м.

Просадні процеси. Лесові породи, якими складено береги водосховища, при підтопленні і перезволоженні дають активні просадки і післяпросадні деформації. Вони, у свою чергу, викликають тріщини і деформації будівель і споруд.

Відбулося підняття рівня залягання ґрунтових вод (в прибережній частині водосховища до 8-12 м) і розповсюдження підпору ґрунтових вод в глибину схилів. Це викликало утворення просадних тріщин і деформації споруд уже в перші роки після створення водосховищ.

Просадні процеси, які зумовлені зміною гідрологічного режиму р. Дніпро, інтенсивно розвивалися лише в перші роки після створення водосховищ, надалі вони стабілізувалися.

Карст. Зміна гідрологічного режиму і гідрогеологічних умов у басейні Дніпра активізували карстові процеси внаслідок

зміни водообміну і рівня ґрунтових вод. Впливи, що збільшують гідравлічні градієнти і водообмін в товщі карсту порід, посилюють перенос осадів і викликають утворення провалів. Таким чином, як збільшення обсягу живлення (інфільтрація), так і водовідбір призводять до посилення карстових процесів. У межах української частини басейну Дніпра знаходиться 12 з 55 карстових районів України [8].

У межах Полтавської рівнини розвиненим є галогенний тип карсту. Провалів поверхні тут не відзначається. Локально карст спостерігається також в районі Кременчука.

Водна та вітрова ерозія – процеси, які протікають дуже інтенсивно і в межах басейну Дніпра охоплюють його значні площі (ерозією уражено 4,9 млн га сільськогосподарських угідь). Однак, провідні фактори ерозійних процесів (висока розораність території, глибокий уріз річкової мережі, зливовий характер випадання опадів та ін.) не пов'язані безпосередньо зі зміною гідрологічного режиму Дніпра. Цей зв'язок характерним є лише для яружної ерозії, яка посилилася на берегах Дніпровських водосховищ.

Підтоплення в межах басейну Дніпра має як природні передумови (високий рівень залягання ґрунтових вод в Поліссі і на перших надзаплавних терасах), так і техногенні. До останніх, нарівні зі зміною гідрологічного режиму басейну Дніпра, відносяться також і відсутність поверхневого водовідведення та каналізації в населених пунктах, втрати води з водопровідних мереж, зрошення та значна розораність території, знищення лісів та ін. Таким чином, вичленувати вплив власне змін гідрологічного режиму на підтоплення земель від інших антропогенних причин цього процесу виявляється складно. Тим не менш, очевидно, що найпотужнішим чинником підтоплення земель в басейні Дніпра є створення каскаду водосховищ, а також будівництво та експлуатація зрошувальних систем півдня України.

У результаті створення дніпровських водосховищ в зоні підтоплення (з глибиною залягання рівня ґрунтових вод до 2 м) виявилось 93,5 тис. га. Ширина зони впливу Дніпродзержинського водосховища на підтоплення земель складає до 8 км.

У межах цих зон площі підтоплених земель коливаються з року в рік і дуже залежать від кількості атмосферних опадів і режиму змін глибини залягання ґрунтових вод. У зоні впливу Дніпродзержинського водосховища підтоплюються западини лівобережжя.

Зони підтоплення виникають в результаті зміни напрямів руху підземних вод після затоплення ложа водосховища. На рисунку 2 показана ця зміна.

Аналізуючи рисунок 2 можна зробити висновок, що сумарний річний обсяг втрат річкової води після створення водосховища суттєво збільшився у порівнянні з природним станом р. Дніпро.

Динаміка підтоплення залежить не тільки від посилення антропогенного пресу на навколишнє середовище і не тільки від проведення заходів проти підтоплення (зокрема, дренажу), але й від природних коливань зволоженості на території басейну. Так, найбільша площа підтоплених земель зафіксована на початку 1980-х років. В цей час (за даними на 1981 р.) площа підтоплених орних земель в басейні Дніпра склала близько 225 тис. га. Однак саме на цей час зафіксовано один з кліматичних максимумів вологості клімату і пік природного 33-річного циклу коливання рівня ґрунтових вод. Після закінчення цих максимумів площа підтоплених орних земель скоротилася більш ніж у п'ять разів і на 1985 рік склала близько 16 тис. га [9].

В даний час площа підтоплених земель на території басейну Дніпра становить 95,8 тис. км² (при 143,1 тис. км² в цілому по Україні). Дані про розподіл площ підтоплених земель по Полтавській і Дніпропетровській областях у межах басейну Дніпра відповідно: 3,8 тис. км² і 1,6 км², що становить 13,2 % і 5 % від території області. Підтоплення в районі Дніпродзержинського водосховища відносяться до техногенного типу.

Процес формування водосховища може мати найрізноманітнішу тривалість, інтенсивно тривати протягом десятиліть і, можливо, навіть століть, тобто нерідко протягом усього часу його існування.

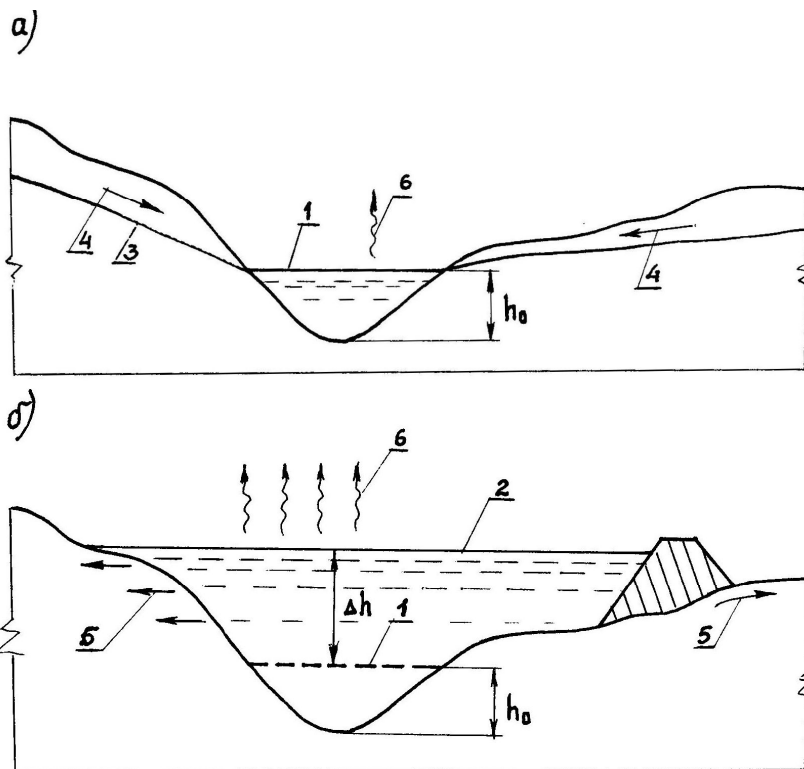


Рисунок 2 – Схема кінематичної структури підземного потоку в зонах лівого і правого берегів Дніпродзержинського водосховища а) до затоплення; б) після заповнення ложа:

1 – до затоплення, 2 – після затоплення; 3 – профіль схилу; напрямок фільтрації:

4 – до затоплення, 5 – після затоплення; 6 – випаровування

Замулювання малих річок водозбірної зони та ложа водосховища, втрата ними природної дренуючої здатності – третій потужний чинник підтоплення. За наявними оцінками, через нього на території України під-

топлюється від 400 до 700 сільських населених пунктів і 60-200 тис. га сільськогосподарських угідь, які розташовані у заплавах річок [10]. Динаміка ложа водосховища наведена на рисунку 3.

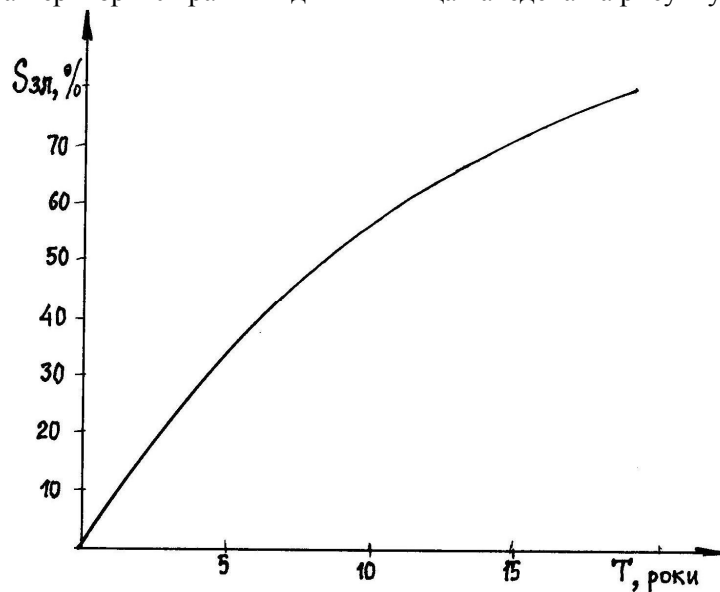


Рисунок 3 – Динаміка замулювання ложа водосховища: S_{зл} – площа замулювання; T – час процесу замулювання

Зонування території водогосподарських техноекосистем

Питання про межі в проблемі районування водосховищ має два аспекти: «зовнішні» межі самого об'єкта в тривимірному просторі і «внутрішні» межі, які встановлюються в процесі районування.

Межами водосховища по довжині природно вважати греблю і «створ» виклинювання підпору, який, однак, фактично є зоною, протяжність якої визначається морфологією водоймища і режимом його експлуатації. Вертикальними межами знизу можна вважати шар контакту донних відкладень з корінними породами, які підстиляють ложе водосховища, а зверху – приводний повітряний шар. Бічними межами водосховища як природного комплексу доцільно вважати перехідні смуги, за якими вже не позначається прямий вплив водної маси на прилеглі території. Критерієм при визначенні бічних меж зони впливу природно вважати прояв підтоплення та активізації геодинамічних процесів (розмив, обрушення, зсуви, осідання ґрунтів).

Берегова зона районується з урахуванням загальної цільової установки досліджень і опрацювань (вплив на якість води і екосистему, організація господарського та рекреаційного використання, охорона природи). Розміри території, що враховується при районуванні, визначаються масштабами інтенсивної взаємодії акваторії і берегової зони. Щодо завдань районування водосховищ пропонується виділення наступних таксонів: зона впливу акваторії на природне середовище (підтоплення, геодинамічні процеси); зона інтенсивного впливу території на акваторію (від лінії місцевих вододілів до урізу води); територіальні комплекси (природні, антропогенно-змінені, штучного походження).

У нашому випадку виділення техноекосистеми служить формалізації задач захисту природних компонентів водосховища та суміжної з ним території. Системоутворюючими факторами, що призвели до створення техноекосистеми є наявність технологічних потужностей («бульдозерної сили»), екологічно необґрунтоване прийняття рішень, відсутність обґрунтування та оцінки цінностей і потреб суспільства та екологічна безграмотність вищих ешелонів влади. Функціонування техноекосистеми крупних водосховищ ґрунтується на принципах зв'язку та взаємо-

залежності між її структурними технологічними одиницями і компонентами природних систем. Залежно від параметрів техногенного впливу та природних особливостей суміжних територій, в межах природно-технологічної системи можна виділити наступні три зони: кардинальної перебудови, можливого відновлення та контролю.

Зона кардинальної перебудови – це територія, на якій процес використання ресурсів між технологічними та природними компонентами викликає їх корінні зміни, які значно перевищують гранично допустимі значення, в результаті чого природні компоненти території не можуть самовідновитися і потребують проведення відповідних реабілітаційних заходів. На цій території переважають економічні і технологічні цілі. До зони кардинальної перебудови відносяться ділянки, відчужувані під гідротехнологічні об'єкти (дамби, насипи, греблі, проммайданчики та інше).

Зона можливого відновлення природного середовища складається з територій, на яких процеси обміну речовиною чи енергією між технологічними та природними компонентами проходять таким чином, що у разі припинення технологічного впливу природні компоненти можуть за деякий період часу самовідновитися. Тут пріоритети розподілені між забезпеченням необмеженого в часі збереження якості природного середовища і завданнями соціального та економічного розвитку. До зони можливого відновлення відносяться території санітарно-захисних зон, площі депресійних воронок, землі, які пошкоджені зсувами, карстами тощо.

Зона контролю представляє ті території природно-технологічної системи, на яких, в результаті дії технологічного процесу, в природних компонентах з'являється незначна кількість нових речовин чи енергії, але які не призводять до негативних якісних змін природного середовища або процеси, які на них протікають, можуть вплинути на стан техноекосистеми. На цих територіях екологічні цілі домінують над будь-якими іншими цілями. До зони контролю слід віднести території, для яких існує ймовірність їх забруднення (в межах гранично допустимих), вірогідність забруднення поверхневих водотоків та інше. Характеристика техноекосистеми наведена на рисунку 4.



Рисунок 4 – Характеристика територіальної структури техноекосистеми:

- контур зони кардинального ушкодження
- зовнішній контур зони можливого відновлення
- . - . - . зовнішній контур зони контролю

Суть методики визначення просторових меж техноекосистем зводиться до прогнозування (або інструментального встановлення) зон по кожному з природних компонентів навколишнього середовища та їх об'єднання в єдину територіальну структуру. Основні прийоми визначення просторових меж техноекосистеми полягають в наступному:

- визначаються межі зміни атмосфери (тумани, підвищена вологість та ін.);
- визначаються межі зміни режиму підземних вод (рівня, водопритоків, гідродинамічного тиску, дебіту та ін.);
- визначаються межі зміни геологічного стану масивів берегової зони (зсуви, осипи, яроутворення та ін.);
- визначаються межі утворення гідрологічного режиму території (стан малих річок, джерел, їх гідрохімічна характеристика та ін.);
- визначаються межі зміни стану земель (солонцюватість, вологість, підтоплення, осушення та ін.).

Визначені межі зміни компонентів природного середовища наносяться на карту

території і здійснюється побудова межі конкретної зони. Принцип побудови такий – межа зони повинна включати територію, на якій виявлено зміну хоча б одного з природних компонентів – літосфери, ґрунтів, підземних чи поверхневих вод. Отримані таким чином межі наведено на рисунку 5.

Треба відзначити, що отримання даних для встановлення просторових меж техноекосистеми потребує проведення спеціальних досліджень. Тому наведена на рисунку 5 схема з межами Дніпродзержинського водосховища базується на неповних даних, отриманих з літературних джерел.

Таким чином територію, яка піддається впливу водогосподарських техноекосистем, за ступенем інтенсивності цього впливу ми розмежували на три зони (рисунок 5):

- I – зона кардинального перетворення (в межах ліній 19-19);
- II – зона можливого відновлення (в межах ліній 18-18);
- III – зона контролю (в межах ліній 1а-1б).

Просторово-часова характеристика водогосподарської техноекосистеми

Еволюціонування водогосподарської техноекосистеми може мати найрізноманітнішу тривалість в часі. Цей процес може тривати багато десятиліть, практично упродовж всього часу її існування. Вище в під-

розділі «Системний підхід...» наведено спрощену модель типової техноекосистеми і умови її гомеостазу. Стабільне (стійке) функціонування техноекосистеми в заданому режимі залежить від співвідношення в її

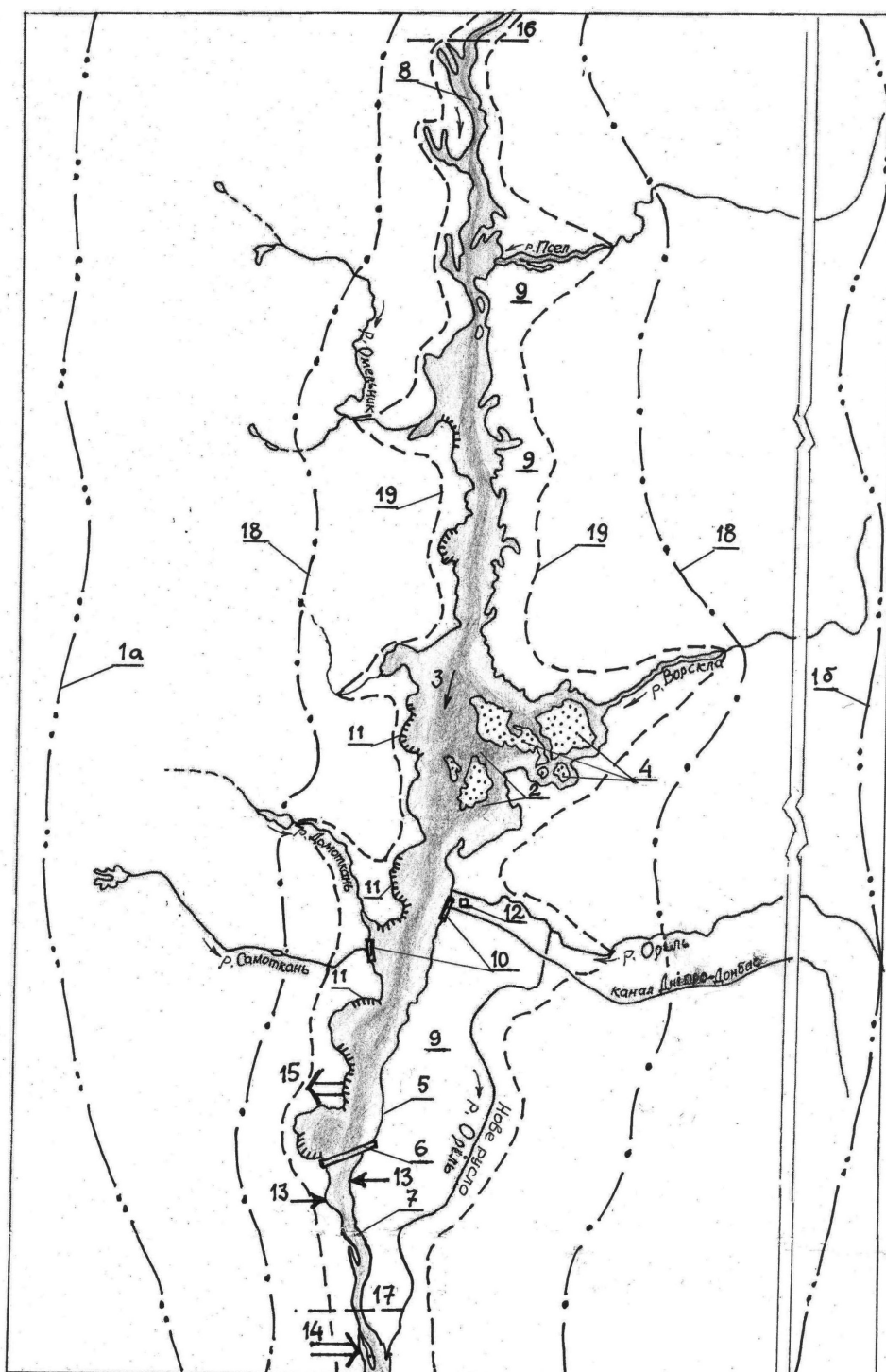


Рисунок 5 – Схема техноекосистеми Дніпродзержинського водосховища:

1а, 1б – межа водозбору річки і водосховища (правий і лівий берег); 2 – глибоководна частина акваторії водосховища; 3 – русло річки до формування водосховища; 4 – постійно і сезонно затоплювані мілини; 5 – межа водосховища; 6 – гребля; 7 – ділянка річки в нижньому б'єфі; 8 – ділянка річки у верхньому б'єфі; 9 – ділянка підтоплених земель і території з порушеним гідрогеологічним режимом (підпору); 10 – захисні греблі; 11 – узбережжя з переробленими берегами; 12 - перекачувальна станція; 13 – випуски зливової каналізації; 14 – місця скиду промислових стоків; 15 – місце водозабору; 16 – контрольний створ у верхньому б'єфі; 17 - контрольний створ у нижньому б'єфі; 18 – межа зони можливого відновлення; 19 – межа зони кардинального ушкодження

структурі саморегульованих і термодинамічних компонентів (важких і легких кульок). «Важкими кульками» в нашому прикладі є некеровані ентропійні процеси, які призводять до обміління водосховища, обваллення берегів, ярутворення, нівелювання дна та ін. Рушійною силою є потоки води, основним фактором – швидкість течії. «Легкими кульками» представлені заходи, направлені на поглиблення фарватерів для річкового транспорту, берегоукріплювальні роботи, заходи протидії утворенню мілини, очищення стоків, утворення якісних водозахисних смуг, експлуатація гідроелектростанцій в екоприпустимому режимі та ін.

Якщо оцінити енерговитрати ентропійних та саморегульованих процесів, то ентропійні процеси (за експертними оцінками) перевищують саморегулюючі на пару порядків і більше. Тому немає сумнівів, що у разі не прийняття відповідних науково обґрунтованих заходів, подальший розвиток

техноекосистеми, утвореної водосховищем, буде проходити за ентропійним сценарієм. Про «вмирання» Дніпра свідчать численні публікації, дані спеціальних експедицій, матеріали Мінекології, статистичні звіти тощо.

Для прикладу наведемо результати досліджень, що показують багаторічні коливання чисельності риб у водосховищах Дніпровського каскаду в середині вісімдесятих років [11]. Вони представлені у загальному вигляді як хвилеподібна крива з різною висотою хвилі. На рисунку 6 показана типова крива чисельності популяції риб у процесі формування гідробіологічного режиму водосховища на різних етапах. Можна спостерігати, що після зарегулювання стоку річки у результаті зміни умов існування, чисельність популяції різко збільшується, досягаючи максимуму на початку або в середині першого етапу формування нового водоймища, а потім різко знижується.

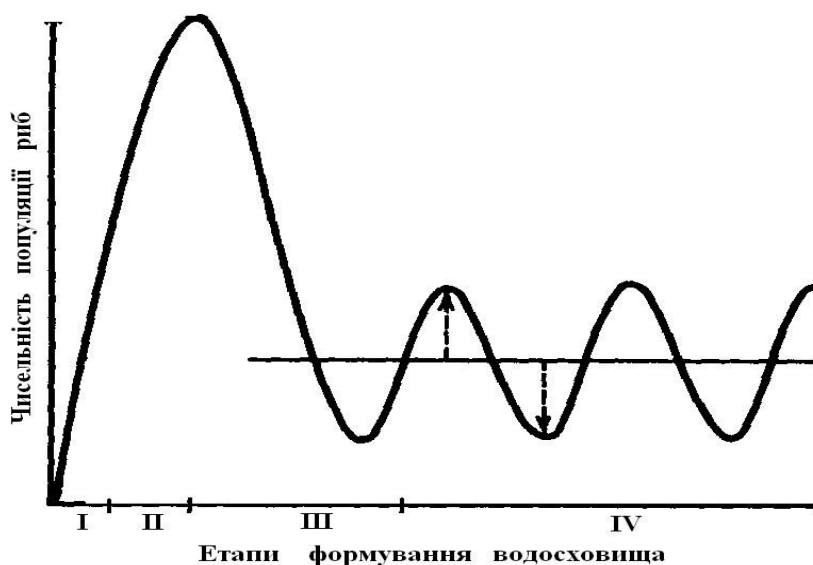


Рисунок 6 – Багаторічні коливання чисельності популяції риб

Встановлено етапи та параметри життєвого циклу техноекосистем. Форма функціональної циклічності розвитку водогосподарських техноекосистем наведена в таблиці 1.

Аналізуючи етапи розвитку у часовому вимірі з'ясувалося, що перші два етапи еволюції водогосподарської техноекосистеми мають чітко виражені значення, які вимірюються роками в межах першого десятку. Тривалість фази «розквіту» в нашому прикладі – не більше тридцяти років. Аналізую-

чи нинішній стан, на превеликий жаль, ми можемо говорити або про фазу «деградації», яка може тривати декілька століть, або про кардинальні заходи, які слід запроваджувати для приведення техноекосистеми в попередню «фазу розквіту». Існує ще й третій варіант – ліквідація техноекосистеми. Але і в цьому випадку проблема залишається, і вона буде називатися «Формування нової екосистеми в межах zdegradovanoї водогосподарської техноекосистеми».

Таблиця 1. Етапи розвитку складних водогосподарських техноекосистем

Етапи еволюції техноекосистем	Стадії перетворення			
	Початок проявів	Розвиток	Повні прояви	Завершення
I – Виникнення (будівництво)	Відселення з прибережної території	Підготовка ложа	Будівництво дамб обвалування	Будівництво греблі
II – Розвиток (наповнення водосховища)	Початок заповнення ложа водою	Наповнення водою	Повне заповнення в межах проектних контурів	Завершення процесу наповнення
III – Фаза «розквіту»	Початок гомеостазу в межах річково-озерної системи	Ріст біорізноманіття	Максимальна продуктивність природної складової	Уповільнення темпів розвитку елементів системи
IV – Деградація	Початок прояву стагнації	Розвиток процесу деградації	Клімакс техноекосистеми, (обміління, заростання, заболочування)	Перехід водної техноекосистеми в болотисту

Висновки

Визначення меж водогосподарських техноекосистем обумовлено необхідністю узагальнення структури складних територіальних техноекосистем та створення моделей їх функціонування для докорінної перебудови їх техногенної компоненти, що забезпечить стале функціонування природних систем довкілля.

Вирішення проблем, які стосуються складних техноекосистем слід розглядати на базі системного підходу. Дослідження проблем складних техноекосистем в попередніх роботах автори проводили на прикладі гірничодобувного комплексу [12].

Щоб показати різноманіття підходів до даної проблеми у цій статті пропонуються дослідження водогосподарських техноекосистем, які кардинальним чином відрізняються від гірничодобувних техноекосистем.

Основна відмінність полягає у тому обсязі енергії, яку необхідно щоденно привносити для підтримання техногенної компоненти техноекосистеми. При формуванні водогосподарської техноекосистеми максимальний енергетичний потенціал був внесений ще на етапі будівництва водогосподарського об'єкту. В період функціонування водогос-

подарської техноекосистеми обсяг енергії, що привноситься для її підтримання наразі є мінімальним.

А тому основний висновок зводиться до наступного – за існуючого рівня обсягів енергетичних вкладень на підтримання нормального стану техноекосистеми, вона неминуче здеградує. Це пояснюється тим, що при її функціонуванні переважають ентропійні процеси, внаслідок яких відбуваються процеси деградації.

Аналіз стану водосховищ Дніпровського каскаду підтверджує той факт, що вони вже минули фазу розквіту. Тривалість процесу деградації залежить від співвідношення ентропійних і саморегулюючих параметрів та привнесення енергетичних витрат.

Ці дослідження є важливими при вирішенні практичних проблем, пов'язаних з негативним впливом об'єктів водогосподарської діяльності на довкілля, а саме: замулення водосховищ, обвалення берегів, підтоплення територій тощо.

Такий підхід дозволяє усвідомлено виконувати дослідження складних техноекосистем та приступити до розгляду сценаріїв їхнього оздоровлення, ліквідації чи деградації.

Перелік посилань

1. Вивчення просторово-часового співвідношення можливих змін природної та техногенної складових показників стану навколишнього середовища: Звіт про НДР / ІППЕ НАНУ, Дніпропетровськ, 2007. – 156 с.
2. Боплан де Г.Л. Опис України / Г.Л. де Боплан. – К., 1990.
3. Шапар А.Г. Тільки стогне, але вже не реве / А.Г. Шапар // Екологія і природокористування. – 2010. – Вип. 13. – С. 6-14.
4. Горло Н.В. Вирішення питання про масштаби і напрями переселення із зони затоплення водосховищ Дніпровського каскаду (50 – 70-ті рр.). / Н.В. Горло // Український селянин. – 2008. – Вип. 11. – С. 278-280.
5. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Каскад днепровских водохранилищ. – Л. : Гидрометеоиздат, 1967. – 348 с.
6. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2000 році. Мінекоресурсів України, 2001. – 184 с.
7. Рекомендації щодо поліпшення екологічного стану прибережних територій дніпровських водосховищ. К., 1996. – 162 с.
8. Условия и факторы техногенной активизации карстового процесса / Б.Н. Иванов, И.Н. Васильев, С.М. Зенгина [и др.] // Физическая география и геоморфология. – 1985. – Вып. 32. – С. 71-78.
9. Малі річки України: довідник / [за ред. А.В.Яцика]. – К. : Урожай, 1991. – 294 с.
10. Экологическая геология Украины: справочное пособие. - К.: Наукова думка, 1993. – 408 с.
11. Водохранилища и их воздействие на окружающую среду / [отв. ред. Г.В.Воропаев, А.Б. Авакян]. – М. : Наука, 1986. – 367 с.
12. Основні положення методології створення системи моніторингу навколишнього середовища гірничодобувних регіонів / П.І. Копач, Н.В. Горобець, Т.Т. Данько [та інш.] // Екологія і природокористування. – 2009. – Вип. 12. – С. 181-187.

*Стаття надійшла до редколегії 10.09.2013 р. українською мовою.
Стаття рекомендована членом редколегії д-ром геол. наук О.К. Тяпкіним.*

П.І. КОПАЧ, Т.Т. ДАНЬКО, Н.В. ГОРОБЕЦ, Н.П. ТАРАКАНОВА

*Институт проблем природопользования и экологии НАН Украины,
г. Днепропетровск, Украина*

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К УСТАНОВКЕ ГРАНИЦ СЛОЖНЫХ ТЕХНОЭКОСИСТЕМ

На основе принципов взаимосвязи и взаимозависимости между природными компонентами и технологическими объектами разработаны методологические подходы к определению пространственных границ сложных техноэкосистем (на примере техноэкосистемы Днепродзержинского водохранилища).

Ключевые слова: сложные техноэкосистемы, техногенное воздействие, границы зон влияния, водохозяйственные техноэкосистемы.

P.I. KOPACH, T.T. DAN'KO, N.V. GOROBETS, N.P. TARAKANOVA

*Institute for Nature Management Problems and Ecology of National Academy of Sciences of Ukraine,
Dnipropetrovsk, Ukraine*

**METHODOLOGICAL APPROACHES TO ESTABLISH THE BOUNDARIES OF COMPLEX
TEHNOEKOSYSTEM**

Methodological approaches to determining the spatial boundaries of complex tehnoecosystem (for example of Dneprodzerzhinsk reservoirs tehnoecosystem) on the basis of the principles interconnection and interdependence between natural components and technological objects are designed.

***Keywords:* complex tehnoecosystem, technological impact, beyond the impact zone, tehnoecosystem of water management.**