

5. Архипова Л.М. Природно-техногенна безпека гідроекосистем: Монографія / Л.М. Архипова. – Івано-Франківськ: Видавництво ІФНТУНГ, 2011. – 366 с.
6. Волошкіна О.С. Питання екологічної безпеки поверхневих водних об'єктів / О.С. Волошкіна, Є.О. Яковлев, В.М. Удод // Ін-т проблем національної безпеки. – К., 2007. – 139 с.
7. Міністерство екології та природних ресурсів України – [Електронний ресурс] – Екологічні паспорти регіонів – Режим доступу: <http://www.menr.gov.ua/content/category/65>
8. Офіційний сайт державної служби статистики України в цифрах. Щорічні статистичні збірники за 1997 – 2011 рр. /Держ.комітет статистики України – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>

Поступила в редакцію 26 вересня 2014 р.

УДК 627.132:504.06:330.131.7

Атаєв С.В.
Рівненська філія ПВНЗ
«Європейський університет», м. Рівне

ОЦІНКА ТРАНСФОРМАЦІЇ ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МАЛИХ ГЕС ПРИКАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ

Розглядаються основні результати оцінки масштабів та інтенсивності трансформації природних ресурсів при експлуатації малих ГЕС із греблевою схемою генерації напору – Снятинської та Золотолипської ГЕС Прикарпатського регіону. На фоні існуючих об'єктів наводяться також дані по трансформації ресурсів в районі зведення нової ГЕС на р. Білий Черемош. Визначені перспективи освоєння гідроенергетичних ресурсів Прикарпаття шляхом будівництва та експлуатації греблевих ГЕС, які на відміну від дериваційних не призводять до значної трансформації природних ресурсів буферних територій.

Ключові слова: водосховище, мала ГЕС, підпір води, рівень ґрунтових вод, підтоплення, затоплення, режим водотоку, абразія, трансформація русла.

Рассматриваются основные результаты оценки масштабов и интенсивности трансформации природных ресурсов при эксплуатации малых ГЭС с греблевой схемой генерации напора – Снятинской и Золотолипской ГЭС Прикарпатского региона. На фоне существующих объектов приводятся также данные о трансформации ресурсов в районе возведения новой ГЭС на р. Белый Черемош. Определены перспективы освоения гидроэнергетических ресурсов Прикарпатья путем строительства и эксплуатации греблевых ГЭС, которые в отличие от деривационных не приводят к значительной трансформации природных ресурсов буферных территорий.

Ключевые слова: водохранилище, малая ГЭС, подпор воды, уровень грунтовых вод, подтопление, затопление, режим водотока, абразия, трансформация русла.

The basic results of estimation of scales and intensity of transformation of natural resources are examined during exploitation of the small HPS with the chart of generation of pressure rowing – Snatinskaya and Zolotolipskya the Prykarpattya region. On a background existent objects cited data also about transformation of resources in the district of erection new HPS to the r. White Cheremoh. The prospects of mastering of hydroenergetic resources of

© *Атаєв С.В.*, 2015

Prykarpattya are certain by building and exploitation of the pressure HPS that unlike derivation does not result in considerable transformation of natural resources of buffer territories.

Keywords: storage pool, small hydraulic power-station, aquiclude, water-table, underflooding, flood, mode of current, abrasion, transformation of river-bed.

Постановка проблеми. Серед усіх типів та різновидів водойм на Україні значна доля припадає на водосховища та ставки малих ГЕС, які характеризуються невеликим розрахунковим напором. Основними перевагами при будівництві та експлуатації низьконапірних гідроенергетичних вузлів є незначна площа затоплення, мінімальне втручання у процеси наземних та водних екосистем, значно менші втрати рибних запасів порівняно із великонапірними ГЕС тощо. При цьому трансформації природних ресурсів не уникнути. Особливо це стосується гідроенергетичних вузлів, які розташовані у регіонах, де наявні об'єкти природно-заповідного фонду, зустрічаються представники флори та фауни, що занесені до міжнародних та вітчизняних охоронних реєстрів. Для таких об'єктів науково обґрунтована оцінка трансформації природних ресурсів може слугувати вагомим фактором для знаходження компромісів між власниками споруд та громадськістю, проектними організаціями та природоохоронними інстанціями, розробки аргументованої бази природоохоронних заходів та компенсацій населенню в районі гідровузлів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із регіонів України, що приваблює гідрогенеруючі компанії, є Прикарпаття. За даними огляду [10], потенціал гідроенергії річок Прикарпаття складає 10% від загального по Україні та становить 1,6-0,36 млрд.кВт·год/рік, що відповідає 115-520 МВт встановленої потужності малих ГЕС та дозволяє забезпечити до 70% поточних потреб регіону в електричній енергії.

До складу більшості ГЕС, що планувалися до будівництва згідно із різними Схемами гідроенергетичного використання річок Прикарпаття (1953 р., 1964 р., 1974 р.), входили великі водосховища, які вимагали значних затрат через відчуження і вилучення значних площ продуктивних земель, перенесення населених пунктів й переселення людей. На заваді реалізації проектів також стала надзвичайно висока нерівномірність стоку річок, велика кількість об'єктів природно-заповідного фонду, суттєвий вплив будівництва на

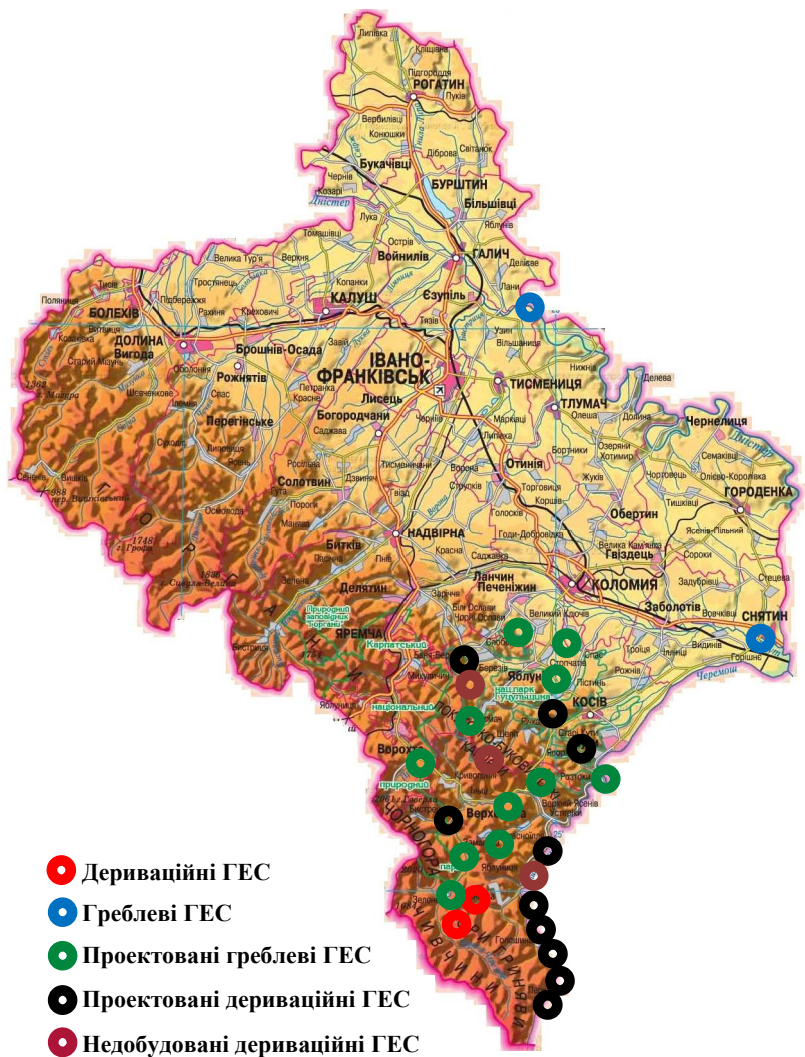


Рис. 1. Об'єкти малої гідроенергетики Прикарпатського регіону



**Рис. 2. Дериваційний тракт
Пробійницької ГЕС №1**

існуючі господарські комплекси, населення та біосферу. До 1964 р. у регіоні функціонувало 15 малих ГЕС, які були зупинені після введення в експлуатацію Бурштинської ТЕС. Відповідно до «Державної цільової програми комплексного протипаводкового захисту в басейнах річок Дністра, Пруту та Сірету» на території Івано-Франківської області передбачалось будівництво 19 малих ГЕС. За інформацією Департаменту екології та природних ресурсів на сьогодні в області експлуатуються 4 малі ГЕС – Снятинська, Пробійницька №1, Пробійницька №2 та Золотолипська (рис. 1). Були розпочаті роботи по будівництву ще 5 малих ГЕС, з яких на трьох дериваційної схеми генерації напору будівництво

призупинене у зв'язку із соціальними хвилюваннями та конфліктами між власниками споруд і громадськістю. Однією із проблем при гідроенергетичному освоєнні водотоків Прикарпаття, як згадувалося вище, є розташування створів ГЕС на відносній близькості до об'єктів природно-заповідного фонду. Власне, будівництво ГЕС з елементами напірної деривації на р. Білий Черемош в с. Голошина було призупинено по причині її розташування в межах територій, які з 2010 р. були віднесені до складу Верховинського національного природного парку. Крім того, будівництво таких ГЕС супроводжується інколи порушенням, а в деяких випадках, значним руйнуванням узбережних та руслових біотопів, зміною ландшафтів. Експлуатація напірних дериваційних ГЕС істотно впливає на гідрологічний режим річок, оскільки передбачає забір основної маси річкової води у дериваційні водоводи (тракти) з метою створення необхідного напору води (рис. 2). У зв'язку з цим може відбуватися значне обміління водотоків, порушуватися екологічний стік річок, створюватися штучна перешкода для обміну генофондом між популяціями гідробіонтів. Прокладання дериваційних трактів через ділянки, вкриті лісами, вимагає їх вирубки та будівництва нових елементів транспортної інфраструктури, що сприяє зменшенню стійкості берегових схилів водотоків. Слід зазначити, що експлуатація ГЕС у с. Пробійнівка з елементами напірної деривації постійно викликає соціальні хвилювання та невдоволення з боку місцевого населення. Із тринадцяти запроектованих дериваційних ГЕС у регіоні будівництво на трьох призупинене, при цьому будівництво греблевих ГЕС не розпочато.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. При гідроенергетичному освоєнні річок Прикарпаття варто орієнтуватися на зведення і експлуатацію малих ГЕС із греблевою схемою генерації напору. Так, дериваційна схема ефективно реалізується на річках з великими ухілами в гірських і передгірських районах, порівняно із греблевими ГЕС станції дериваційного типу можуть передбачати більшу потужність. При цьому вимоги до санітарного стоку річок та захисту лісових насаджень роблять дериваційну схему генерації напору більш небезпечною, порівняно із греблевою схемою. Схема з греблею, навіть у поєднанні з елементами безнапірної деривації, ефективно реалізується на рівнинних річках або ділянках річок з відносно малим гідравлічним ухилом. З точки зору безпеки прилеглих до греблевих ГЕС територій найбільш безпечними для Прикарпатського регіону є ті конструкції станцій, які проектується в руслах річок – руслові ГЕС. При наповненні водосховищ таких ГЕС за рахунок малорозвиненої каньйоноподібної заплави гірських річок ареали постійного затоплення не виходять за межі їх водоохоронної зони.

Постановка завдання. У даній роботі на прикладі експлуатації Снятинської та Золотолипської ГЕС (рис. 3), що поєднують елементи безнапірної деривації (канали) та греблю при створенні напору, розглядаються особливості оцінки трансформації природних ресурсів при експлуатації водойм малих ГЕС Прикарпатського регіону. На

фоні існуючих об'єктів наводяться також дані по трансформації ресурсів в районі проектованої пригреблевої ГЕС, створ якої розташований у відносній близькості до об'єктів природно-заповідного фонду та житлової забудови населених пунктів.



Рис. 3. Об'єкти малої гідроенергетики Прикарпатського регіону: гребля водозабору Снятинської ГЕС; шлюз-регулятор каналу Золотолипської ГЕС

Виклад основного матеріалу. Характер впливу проектованої, Снятинської та Золотолипської ГЕС на довкілля та населення залежить від режимів експлуатації їх водойм – водосховищ та ставків. Основною причиною трансформації (зміни стану) природних ресурсів в районі ГЕС є створення зон статичного та динамічного підпорів у верхніх б'єсах гідровузлів і відповідної зони постійного затоплення території при наповненні водойм [3].

Підпір, що створюється спорудами ГЕС, поширюється на відстань, що прямо пропорційна гідравлічному напору H і обернено пропорційна гідравлічному ухилу річки I [3]:

$$L = k \frac{H}{I}; \quad (1)$$

де k – коефіцієнт, рівний для гірських водотоків 1,2.

Результати розрахунків масштабу поширення підпору наведені у табл. 1.

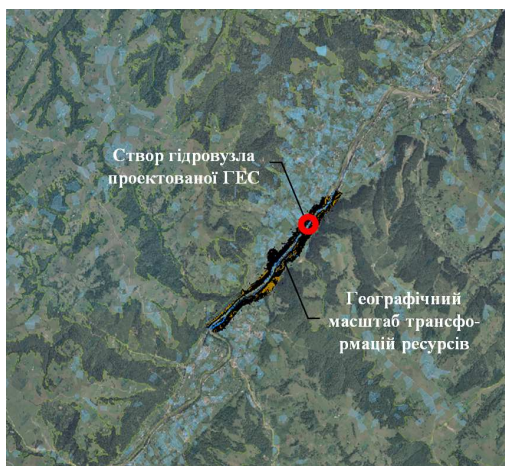


Рис. 4. Супутниковий знімок району проектованої ГЕС

За різних режимів експлуатації ГЕС в районах їх розташування можуть проявлятися мікрокліматичні зміни, процеси підтоплення та заболочування, переробка та абразія берегової лінії, трансформація режиму ґрунтових вод, зона тимчасового затоплення територій, зміна рівнів та швидкості води у річці, замулення верхніх б'єфів, руслові трансформації та глибинна ерозія у нижніх б'єсах, зміни гідрохімічного та льодотермічного режимів річки тощо. Масштаб вищеперерахованих трансформацій обумовлюється величиною підпору води (рис. 4), а їх характер може визначати стан наземних екосистем буферних територій, ареали поширення представників флори та фауни, умови їх існування та розмноження в зоні тимчасового затоплення тощо. Зміна стану ресурсів може впливати на умови життєдіяльності населення та роботу народногосподарських об'єктів, оскільки більшість малих ГЕС розташовані в межах населених пунктів, де найбільше проявляється підпір води.

Масштаб поширення підпору води в районі верхніх б'єфів ГЕС

Назва об'єкта	Назва водотоку/басейну річки	Встановлена потужність, МВт	Ухил водотоку, м/км	Напір ГЕС, м	Масштаб поширення підпору, км
Снятинська ГЕС	Прут/Дунай	0,8	1,6	4,6	3,5
Золотолипська ГЕС	Золота Липа/Дністер	0,3	1,4	3,0	2,6
Проектована ГЕС	Білий Черемош/Черемош	1,0	9,5	7,2	0,88

Русловий характер водойм ГЕС призводить, як правило, до трансформації водних ресурсів зарегульованих ділянок водотоків – параметрів гідравлічного, руслового, температурно-льодового та гідрохімічного режимів води.

Рівень трансформації річкового стоку ГЕС визначався за рівнем його регулювання [8]:

$$\beta = W_k / W_0, \quad (2)$$

де W_k – корисний об'єм водойми; W_0 – об'єм побутового стоку річки.

За розрахунками рівень трансформації водного стоку р. Білий Черемош водосховищем проекрованої ГЕС становитиме 0,0002. Трансформація стоку річок Прут та Золота Липа при їх зарегулюванні існуючими гідроенергетичними об'єктами становить, відповідно, 0,001 та 0,0004. Для порівняння величина значної трансформації річкового стоку великими водосховищами може сягати від 0,25 до 0,73. Рівень трансформації річкового стоку греблевими ГЕС, в тому числі і проективною, незначний.

Одним із гідрологічних параметрів річки, що змінюється в результаті її зарегулювання, є амплітуда коливання рівнів води. Висота хвилі h_w на підпертій ділянці водотоку пропорційна приросту витрат води, що проходять через ГЕС, та залежить від ширини водойми [3]:

$$h_w = \frac{\Delta Q}{(gh_e)^{0,5} B}, \quad (3)$$

де ΔQ – максимальна пропускна здатність турбін; g – прискорення вільного падіння; h_e – середня глибина водойми; B – середня ширина водойми.

Амплітуда коливання рівнів води у верхньому б'єфі проекрованої ГЕС не перевищуватиме 0,8 м в середньому по водності року, а амплітуда рівнів води у каналі Золотолипської та водосховищі Снятинської ГЕС становить, відповідно, 0,2 і 0,7 м. Така величина амплітуди не відрізняється від побутового режиму рівнів води гірських водотоків, але може спричинити абразію та переробку берегової лінії під час експлуатації водойм.

Величина переміщення бровки берегової лінії водойм X складатиме [7, 11]:

$$X = k_1 k_2 k_3 \frac{\rho_w (h_e + h_1)}{\rho (h_e + h_0)} (B - 2B_1), \quad (4)$$

де k_1 – коефіцієнт асиметрії русла; k_2 – коефіцієнт розмиву берегів; k_3 – коефіцієнт зволоження ґрунтів берегової лінії водотоку; ρ_w – щільність води; ρ – середня щільність ґрунтів берегової лінії водотоку; h_1 – висота піку паводка; h_0 – середня висота берега; B_1 – ширина ділянки підпертої водойми від лінії найбільшої глибини до розмиваючого берегу.

Коефіцієнт асиметрії русла визначався за залежністю:

$$k_1 = [B_1 / (B - B_1)]^2. \quad (5)$$

Коефіцієнт розмиву берегів визначався за залежністю:

$$k_2 = \frac{1}{2h} [(h_1 - h_0) + (t_1/t)(h_0 - h_2)], \quad (6)$$

де h_0 – висота рівня води у межінь; h_2 – висота рівня води по закінченню паводку; t_1 – тривалість паводку від початку до піку; t – тривалість паводку від початку до закінчення.

Коефіцієнт зволоження ґрунтів берегової лінії визначався за залежністю:

$$k_3 = \frac{h_1}{h_0}. \quad (7)$$

Результати розрахунків розвитку процесів абразії наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Результати розрахунків процесів абразії на водоймах ГЕС

Назва об'єкта	Коефіцієнт асиметрії русла k_1	Коефіцієнт розмиву берегів k_2	Коефіцієнт зволоження ґрунтів k_3	Середня глибина водойми H , м	Середня ширина водойми B , м	Середня висота берега h , м	Ширина водойми від найбільшої глибини до берегу B_l , м	Величина переміщення бровки берегової лінії X , м/рік
Снятинська ГЕС	0,52	0,32	0,9	3,0	50	5	21	0,48
Золотолипська ГЕС	0,69	0,34	0,5	2,5	30	7	12	0,19
Проектowana ГЕС	1,12	0,27	0,6	4,5	35	11	12	0,55

Таким чином, щорічно інтенсивність абразії берегової лінії водосховища проектованої ГЕС становитиме 0,55 м/рік. Найближча житлова забудова від урізу поверхні води проектованого водосховища знаходиться на відстані 20 м від урізу води. Отже, через 36 календарних років експлуатації водосховища берегова лінія без укріплень може сягнути селітебних територій. Інтенсивність абразії на водоймах Золотолипської та Снятинської ГЕС становить, відповідно, 0,19 і 0,48 м/рік. При такій трансформації берегової лінії межа водної поверхні може опинитись біля житлової забудови с. Золота Липа та м. Снятин через 20 і 15 років, відповідно. При укріпленні берегової лінії вихід води не передбачається.

Регулювання річкового стоку напірними спорудами ГЕС передбачає зміну напрямку та швидкості пересування й осідання твердих частинок різної фракції у товщі води підпертої ділянки водотоку. Для визначення відстані L_3 , де частинки різної гідравлічної крупності під впливом підпору починають осідати на дно річки, скористаємося залежністю [8]:

$$L_3 = \frac{h_p}{v_{oc}} v_{cp}, \quad (8)$$

де h_p – середня глибина русла; v_{cp} – середня швидкість течії; v_{oc} – швидкість осідання твердих частинок.

Нахил водної поверхні в межах верхнього укусу точок акумуляції наносів досягає граничної величини I_3 , при якій акумуляція наносів не відбувається:

$$I_3 = 3,78n^2 \sqrt{\frac{BgwS}{Q}}, \quad (9)$$

де n – коефіцієнт шорсткості; S – мутність води; Q – витрати води, що проходять через створ гідровузла.

Повна довжина ділянки замулення визначалась за залежністю:

$$L_0 = \frac{H - h_3}{I - I_3}, \quad (10)$$

де $h_3 = (Q/1,7 \sqrt[3]{gwS})$; w – гідравлічна крупність наносів.

Таким чином, інтенсивність та масштаби трансформації твердого стоку річок проектованою, Золотолипською та Снятинською ГЕС, відповідно, можна охарактеризувати так: 1) швидкість осідання наносів до моменту заповнення мертвого об'єму водосховищ складатиме 4, 2 і 3 м/с; 2) відстань, на якій відбуватиметься процес осідання наносів у верхньому б'єфі, становитиме 0,58, 1,8 та 2,6 км; 3) нахил водної поверхні водотоку, при якому процеси акумуляції наносів відсутні, становитиме 0,23, 0,14 та 0,16 м/км; 4) повна довжина ділянки замулення складатиме 0,26, 0,68 та 1,35 км.

Інтенсивність трансформації русла у нижніх б'єфах ГЕС визначалась на основі зміни рівня води при одній і тій же витраті річки [7]:

$$H = H_0 t^\alpha, \quad (11)$$

де H – відмітка рівня води у річці через період часу t експлуатації ГЕС; H_0 – відмітка поверхні води у побутовому стані річки; α – коефіцієнт, що становить 0,0044.

В результаті розрахунків було встановлено, що через кожні 5 років експлуатації проектованої, Золотолипської та Снятинської ГЕС відмітка рівня води у нижніх б'єфах при тих самих витратах становитиме до 2 м вище встановленого рівня. За для підтримки необхідного рівня води у нижніх б'єфах ГЕС та уникнення процесів підтоплення та затоплення буферних територій передбачається періодичне поглиблення дна русел річок.

Масштаби глибинної ерозії у нижньому б'єфі ГЕС визначалися за залежністю [3]:

$$h_{noc} = k \frac{QI}{Bd}, \quad (12)$$

де k – емпіричний коефіцієнт; d – максимально можлива гідравлічна крупність наносів.

Глибина врізання русла у нижньому б'єфі проектованої ГЕС становитиме 0,11 м/рік. При експлуатації Золотолипської та Снятинської ГЕС масштаби ерозії становлять, відповідно, 0,12 і 0,35 м/рік. Але, враховуючи масштаби акумуляції наносів у нижніх б'єфах, процесами розмивання дна русел річок можна знехтувати, оскільки інтенсивність накопичення наносів у тих же локалізаціях русла перевищує швидкість глибинної ерозії.

При експлуатації ГЕС може передбачатись трансформація таких показників температурно-льодового режиму річок, як товщина льоду підпертої ділянки водотоку, затори і зажори з можливим виходом води на надзаплавну терасу річок і подальшим затопленням.

Товщина льоду на зрегульованих ділянках водотоків визначалась за залежністю [6]:

$$h_n = \sqrt{\left(h_n^0 + \frac{\lambda_n}{\alpha} + h_c \frac{\lambda_n}{\lambda_c}\right) - \frac{2\lambda_n(\overline{T_2})}{L_n \rho_n} \tau - \left(\frac{\lambda_n}{\alpha} - h_c \frac{\lambda_n}{\lambda_c}\right)}, \quad (13)$$

де h_n^0 – початкова можлива товщина льоду на річці у незарегульованому стані; h_c – товщина снігового покриву; λ_n і λ_c – коефіцієнти теплопровідності льоду і снігу, α – коефіцієнт теплообміну льоду із повітрям; $(\overline{T_2})$ – середня за розрахунковий (холодний) період року температура повітря; L_n – гранична теплота льодоутворення; ρ_n – густина льоду; τ – середній період постійного льодоставу.

Затори льоду у створах гідровузлів можуть виникати при обмеженні транспортування льоду по ширині водотоку, коли витрати льоду G у створі гідровузла становлять [6]:

$$G = BV_n m_n h_n, \quad (14)$$

та будуть більшими льодопрпускнуої здатності річки у створі гідровузла G_0 :

$$G_0 = B_0 V_n h_n \cos \alpha, \quad (15)$$

де B_0 – ширина водного потоку у досліджуваній локалізації накопичення льоду з глибиною води, що більше $2,5h_n$; V_n – швидкість руху льоду; m_n – коефіцієнт густоти льодоходу; α – кут між поперечним профілем річки у локалізації накопичення льоду.

Якщо $G_0/G < 1$, тоді небезпека заторів зростає у нижніх б'єфах ГЕС, якщо $G_0 = 0$, тоді небажані накопичення льоду прогноуються у створі гідровузла.

В якості критерію небезпеки виникнення зажорів у створах гідровузлів використали значення підйому рівня води, що може виникати внаслідок зниження пропускнуої здатності русла при накопиченні шуги та льоду [8]:

$$h_{заж} = \mu \cdot I_{Q_{заж}}^{0,3} \cdot h_{Q_{заж}}, \quad (16)$$

де μ – коефіцієнт зажорності ділянки і форми русла водотоку у створі гідровузла, 27,6; $I_{Q_{заж}}^{0,3}$ і $h_{Q_{заж}}$ – ухил і середня глибина ділянки водотоку, де створюється зажор.

Результати розрахунків трансформації параметрів температурно-льодового режиму водотоків в районі експлуатації проекрованої та діючих греблевих ГЕС наведені у табл. 3.

Таблиця 3

Результати розрахунків трансформації температурно-льодового режиму річок

Назва об'єкта	Товщина льоду незарегульованих ділянок річки h_n^0 , см	Товщина снігового покриву h_c , см	Середній період постійного льодоставу річки, ліб	Товщина льоду у водоймі h_n , см	Витрати льоду G , кг/с	Льодопрпускуна здатність річки у створі гідровузла G_0 , кг/с	G_0/G	Підйом рівня води внаслідок зажору льоду $h_{заж}$, см
Снятинська ГЕС	25	20	75	56	5,6	3,6	0,64	54,6
Золотолипська ГЕС	15	10	45	28	1,8	2,5	1,38	35,6
Проектована ГЕС	30	35	61	67	4,8	1,3	0,27	64,8

За результатами трансформації температурно-льодового режиму зарегульованих ділянок річок можна зробити наступні висновки: 1) товщина льоду на водоймах ГЕС

значно відрізняється від товщини незарегульованих ділянок водотоків, зокрема, трансформація льодового покриву характерна для водосховища Снятинської ГЕС; 2) найбільша імовірність розвитку заторних явищ у нижніх б'єфах характерна для проектованої ГЕС; 3) вихід води на надзаплавну терасу річок у місцях небезпечних накопичень льоду не передбачається; 4) для безпечного пропуску льоду слід передбачати льодокольні роботи.

Основними факторами трансформації параметрів гідрохімічного режиму водотоків є інтенсивне освоєння берегової лінії водою місцевим населенням, поверхневий стік з прилеглих територій та рекреація. Поряд з цим в результаті перерозподілу твердого стоку у створах гідровузлів може змінюватися концентрація завислих частинок у воді за рахунок їх осідання у водосховищі та скиду відносно освітленої води у нижній б'єф.

Концентрація завислих частинок C у нижніх б'єфах визначалась за залежністю [9]:

$$C = C_{\phi} \exp^{-kt}, \quad (17)$$

де C_{ϕ} – фонові концентрації завислих частинок у незарегульованих ділянках водотоків; k – коефіцієнт швидкості самоочищення води; t – показник водообміну водою.

Результати розрахунків трансформації параметрів гідрохімічного режиму водотоків, що викликані наслідками їх підпору ГЕС, наведені у табл. 4.

Таблиця 4

Результати визначення концентрації завислих частинок у нижніх б'єфах ГЕС

Назва об'єкта	Фонові концентрації завислих частинок C_{ϕ} , мг/дм ³	Коефіцієнт швидкості самоочищення води k , 1/добу	Показник водообміну водою, діб	Концентрація завислих частинок у нижньому б'єфі C , мг/дм ³
Снятинська ГЕС	32	0,23	2,5	18
Золотолипська ГЕС	25	0,12	0,5	23
Проектована ГЕС	54	0,35	1,2	35

Таким чином, у нижніх б'єфах ГЕС спостерігатиметься тенденція до зменшення концентрації завислих частинок у воді. Слід зазначити, що для побутового гідрохімічного режиму водотоків Прикарпаття характерна завищена концентрація завислих частинок, що не відповідає екологічним вимогам до якості поверхневих вод.

Найбільш уразливим ресурсом при наповненні та подальшій експлуатації водою ГЕС є підвищення (падіння) рівня залягання ґрунтових вод [8, 9]. В межах корінної заплави водотоків середнє положення рівня ґрунтових вод h у зоні берегової лінії на відстані x ($x = 5$ м) від урізу води розраховувалось за залежністю [2]:

$$h = h_0 + (\omega Lx / kh_c)(1 - \bar{x}) + S_n [1 - F_{26}(\bar{x}, f_0)], \quad (18)$$

де h_0 – існуючий середній рівень залягання ґрунтових вод в межах берегової лінії; k – коефіцієнт фільтрації; ω – додаткові інфільтраційні витрати води, що поступають на одиницю площі вільної поверхні берегової лінії; L – ширина ділянки берегової лінії, що підлягає підтопленню; h_c – середній рівень геологічного пласту, що може підтоплюватися; $\bar{x} = x/L$; $F_{26}(\bar{x}, f_0)$ – функція, значення якої визначається в залежності від величини \bar{x} .

Таким чином, рівень залягання ґрунтових вод на відстані 5 м від урізу поверхні води водою проектованої, Снятинської та Золотолипської ГЕС становитиме, відповідно, 8,7, 4,5, 3,7 м. Відкритим питанням залишається обґрунтування безпечних рівнів залягання ґрунтових вод для територій різного характеру. Безпечний рівень залягання ґрунтових вод, який не створює підтоплення сільськогосподарських угідь та житлової забудови, не порушує роботу народногосподарських об'єктів, інженерних мереж життєзабезпечення населених пунктів може виступати критерієм безпечної експлуатації

ГЕС [2]. Зокрема, у роботі [9] за такий рівень для селітебних сільських територій прийнята величина не менше 2,5 м. Таким чином, рівень залягання ґрунтових вод буферних територій в районі водойм ГЕС не призводить до підтоплення буферних територій.

Масштаби та інтенсивність трансформації природних ресурсів, наведені вище, визначають умови існування представників флори та фауни наземних і водних екосистем. Незначна площа затоплень при створенні водосховища ГЕС буде сприяти трансформації кореневих систем кущової та деревовидної рослинності, що зростає в межах прибережної захисної смуги водотоку [5]. Під час наповнення водосховища в ареали затоплень можуть потрапити ареали зооценозів безхребетних видів тварин, хребетні види тварин будуть мати змогу адаптуватись до змін середовища та освоїти нові ареали для існування [1].

Складною проблемою безпечної експлуатації малих ГЕС Прикарпатського регіону залишаються зміни умов міграції іхтіофауни. Якщо ділянки річок Прут та Золота Липа у створах існуючих ГЕС з іхтіологічної точки зору є звичайними ділянками гірських водотоків, то досить велика частина водотоку р. Білий Черемош вважається гідрологічним заказником. На думку експертів та природоохоронних інстанцій через р. Білий Черемош можуть мігрувати дунайський лосось (*Hucho hucho*) та марена звичайна (*Barbus barbus*), що занесені до Червоної книги України та Європейського Червоного списку. Крім того, через ділянку водотоку, де планується звести проєктовану ГЕС, спостерігається весняна та осіння переднерестова міграція струмкової форелі (*Salmo trutta morpha fario*). Вище проведені дослідження показали, що планована діяльність не передбачає суттєвих трансформацій режиму водотоку. Таким чином, створення підпору проєктованою ГЕС не впливатиме на процеси зимування та нересту іхтіофауни. Враховуючи значне іхтіологічне значення р. Білий Черемош передбачається облаштування рибопрохідної споруди для безперешкодної міграції іхтіофауни та відлякуючої рибозахисної установки з метою уникнення загибелі молоді риби при її можливому потраплянні у гідроагрегати ГЕС. Облаштування рибозахисних та рибопропускних елементів у конструкціях ГЕС на думку експертів [1,5,8,9] сприяє частковому захисту рибних запасів та міграції аборигенної іхтіофауни.

На практиці гідротехнічного будівництва основні втрати рибних запасів передбачаються у період будівельних робіт [1].

Кількість молоді риб, що могла б проживати на акваторії H_n , становитиме [4]:

$$H_n = 100\Pi\Gamma / Bp, \quad (19)$$

де Π – природна продуктивність водойм, що не пристосовані для риборозведення; Γ – площа водної поверхні водосховища; B – середня вага цьоголіток при осінньому облові; p – відсоток вилову цьоголіток, який, зокрема, враховує природну загибель цьоголіток.

Втрати молоді риб від загибелі фіто- та зоопланктону становитимуть [4]:

$$N_{\phi n} = (BW_{\phi yd} P / BK_1 10^{-6} t) / (K_2 100), \quad (20)$$

де B – питома біомаса фіто- та зоопланктону; $W_{\phi yd}$ – об'єм водосховища; P/B – коефіцієнт переведення кормових об'єктів у продукцію кормових організмів; K_1 – показник гранично можливого використання кормової бази рибами; K_2 – коефіцієнт переведення продукції кормових організмів у рибну продукцію; t – період негативного впливу.

Втрати молоді риб при порушенні нерестилищ N_{np} становитимуть [4]:

$$N_{np} = S_{np} Pt, \quad (21)$$

де S_{np} – площа ділянки нерестилищ; P – середня рибопродуктивність нерестилищ; t – період негативного впливу.

Втрати молоді риб від негативного впливу хмари замуленості N_{mp} становитимуть [4]:

$$N_{mp} = \Pi_i M_i 10^{-3}, \quad (22)$$

де M_i – середня маса дорослої особини; Π_i – кількість риб окремого виду, яка загине.

Втрати рибопродуктивності мають тимчасовий характер та обмежені періодом будівництва і наповнення водойм ГЕС. Зокрема, для проєктованої ГЕС можливі наступні

втрати рибних запасів: 0,0001 т/рік молоді риб внаслідок загибелі фітопланктону; 0,0005 т/рік молоді риб внаслідок загибелі зоопланктону; 0,0009 т/рік молоді риб внаслідок порушення нерестилищ; 0,08 т/рік дорослих особин внаслідок негативного впливу хмари замуленості.

При експлуатації проектованої, Снятинської та Золотолипської ГЕС коливання рівнів води у верхньому та нижньому б'єфах ГЕС може порушувати активність та міграцію іхтіофауни. Окрім режиму рівнів умови існування та ареали поширення флори та фауни руслових та узбережних біотопів можуть змінюватися в результаті пропуску паводку. Таким чином, при експлуатації ГЕС формуються зони тимчасового затоплення, верхня межа якої співпадає із встановленим форсованим підпертим рівнем води.

Висновки. Визначення рівня трансформації природних ресурсів при експлуатації малих ГЕС є достатньо складною процедурою, оскільки зміни природних процесів та явищ відбуваються поступово, з різною інтенсивністю та через різні проміжки часу, сильно прив'язані до фонового стану довкілля. Основні трансформації природних ресурсів буферних територій греблевих ГЕС Прикарпатського регіону пов'язані із створенням підпору води. Русловий характер водойм ГЕС призводить, як правило, до трансформації водних ресурсів зарегульованих ділянок водотоків – параметрів гідравлічного, руслового, температурно-льодового та гідрохімічного режимів води. За рахунок значного гідравлічного ухилу гірських водотоків, що мають каньйоноподібну малорозвинену заплаву, виникає можливість створення руслових водосховищ, режим експлуатації яких дозволяє сформувавши необхідний гідравлічний напір з мінімальними трансформаціями природних ресурсів. Масштаб поширення підпору води визначає межі поширення цих трансформацій.

Не має сумніву, що більш безпечним способом гідроенергетичного освоєння річок Прикарпаття є зведення ГЕС із греблевою схемою генерації напору, але порушення регламенту експлуатації таких об'єктів, зокрема, недотримання встановлених рівнів води у верхньому та нижньому б'єфах ГЕС, може викликати додаткові трансформації природних ресурсів поряд із трансформаціями, що були розглянуті вище. Раціональне освоєння гідроенергетичних ресурсів Прикарпаття за рахунок зведення таких гідроенергетичних об'єктів можливе лише за умови правильного вибору створу ГЕС для проєктованих ГЕС, та уточнення (корекції) режимів експлуатації водойм діючих ГЕС з метою уникнення додаткових втрат якості природних ресурсів.

Література

1. Авакян А.Б. Влияние водохранилищ на животный мир / А.Б. Авакян // Гидротехническое строительство. – 2002. – № 6. – С. 36–40.
2. Атаев С.В. Оцінка масштабів підтоплення прилеглих територій при створенні руслових водосховищ / С.В. Атаев // Збірник матеріалів II Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Безпекознавство: теорія та практика», м. Луганськ. – 2014. – С. 65–67. режим доступу <http://thesis.at.ua/>.
3. Беркович К.М. Русловые процессы на реках в сфере влияния водохранилищ / К.М. Беркович. – М.: Географический факультет МГУ, 2012. – 163с.
4. Временная методика оценки ущерба, наносимого рыбным запасам в результате строительства, реконструкции и расширения предприятий, сооружений и других объектов и проведения различных видов работ на рыбохозяйственных водоемах. – М. : Министерство рыбного хозяйства, 1989. – 42 с.
5. Гидроэнергетика и окружающая среда / Под общ. ред. Ю. Ландау и др. – К.: Либра, 2004. – 484с.
6. Ледовые процессы и явления на реках и водохранилищах. Методы математического моделирования и опыт их реализации для практических целей (обзор современного состояния проблемы): монография / В.А. Бузин, А.Т. Зиновьев. – Барнаул: Изд-во ООО «Пять плюс», 2009. – 168с.

7. Максимчук В.Л. Рациональное использование и охрана берегов водохранилищ / В.Л. Максимчук. – К.: Будівельник, 1981. – 112с.
8. Малая гидроэнергетика / Л.П. Михайлов, Б.Н. Фельдман, Т.К. Марканова и др.; под ред. Л.П. Михайлова. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 184с.
9. Малі річки України: Довідник / А.В Яцик, Л.Б. Бишовець та ін. За ред. А.В. Яцика. – К.: Урожай, 1991. – 296с.
10. Огляд енергетики, енергоефективності та відновних джерел енергії Івано-Франківської області. Аналіз, висновки та рекомендації. Звіт за договором № 1С/2012/093, 2013 – 136 с.
11. Рекомендации по оценке и прогнозу размыва берегов равнинных рек и водохранилищ для строительства / ПНИИИС. – М.: Стройиздат, 1987. – 72с.

Поступила в редакцію 7 грудня 2014 р.

Рекомендувала до друку д.т.н. Л.М. Архипова