

УДК 621.22+556.06

О.Г. ОБODOVСЬКИЙ, д. геогр. н., проф., проф.,
Київський національний університет ім. Тараса Шевченка,
просп. Академіка Глушкова, 2, Київ, 03022, Україна,

К.Ю. ДАНЬКО, к. геогр. н., зав. лабораторії,
Український гідрометеорологічний інститут,
просп. Науки, 37, Київ, 03028, Україна
ORCID 0000-0002-6060-9657

О.О. ПОЧАЄВЕЦЬ, інж.,
Київський національний університет ім. Тараса Шевченка,
просп. Академіка Глушкова, 2, Київ, 03022, Україна,
e-mail: hydrolab.kyiv@gmail.com
ORCID 0000-0003-4521-9922

В.В. ОНИЩУК, к. тех. н., ст. наук. співроб.,
Київський національний університет ім. Тараса Шевченка,
просп. Академіка Глушкова, 2, Київ, 03022, Україна

С.І. СНИЖКО, докт. геогр. н., проф.,
Київський національний університет ім. Тараса Шевченка,
просп. Академіка Глушкова, 2, Київ, 03022, Україна
ORCID 0000-0002-2696-687X

О.І. ЛУК'ЯНЕЦЬ, к. геогр. н., доцент,
Київський національний університет ім. Тараса Шевченка,
просп. Академіка Глушкова, 2, Київ, 03022, Україна
ORCID 0000-0002-8903-130X

МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ ГІДРОЕКОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ ГІДРОЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ РІВНИННИХ РІЧОК ПРАВОБЕРЕЖЖЯ ДНІПРА

У методичному плані розглянуто основні положення гідроенергетичного потенціалу річок та його складових, а саме — загального, екологічно допустимого і технічно можливого. Роботи виконувались із залученням геоінформаційних систем, що суттєво підвищило достовірність отриманих результатів. Запропонована загальна схема визначення гідроенергетичного потенціалу, реалізована для річок правобережжя Дніпра у межах України. До розрахунку були залучені 508 річок з площею водозбору понад 50 км² та довжиною понад 10 км. Встановлено, що загальний гідроенергетичний потенціал досліджуваних водних об'єктів становить 336,1 МВт, екологічно допустимий — 111,0 МВт, технічно можливий — 35,2 МВт.

Ключові слова: методичні аспекти, гідроенергетичний потенціал, гідроекологічна оцінка, рівнинні річки, правобережжя Дніпра.

Ц и т у в а н н я: Ободовський О.Г., Данько К.Ю., Почаєвець О.О., [Онищук В.В.], Сніжко С.І., Лук'янець О.І. Методичні аспекти гідроекологічної оцінки гідроенергетичного потенціалу рівнинних річок правобережжя Дніпра. *Гідробіол. журн.* 2020. № 2 (332). С. 83—102.

Зростання вартості традиційних енергоресурсів та їх вичерпність спонукає до збільшення питомої ваги альтернативних відновлюваних енергоджерел, що є актуальним для зміцнення енергонезалежності та енергобезпеки держави. З огляду на це і враховуючи положення Програми КМ України щодо розвитку гідроенергетики на період до 2026 р., зростає потреба у диверсифікації гідроенергетичних комплексів України, зокрема за рахунок малої гідроенергетики, на яку встановлюється «зелений» тариф. Тому використання енергетичного потенціалу річок басейну Дніпра є одним з ключових напрямків забезпечення енергетичних потреб економіки. Кінцевий результат полягає у визначенні загального енергетичного, екологічно допустимого і технічно можливого потенціалів правобережних річок басейну Дніпра з виділенням найбільш перспективних у даному контексті водотоків і з урахуванням екологічних ризиків. Залучення геоінформаційних систем і моделювання суттєво підвищує достовірність отриманих результатів.

З огляду на розуміння проблеми важливим є визначення терміну «гідроенергетичний потенціал» та його складових. У літературі є декілька підходів до його тлумачень [8, 18, 20, 21], у наших дослідженнях виділено три категорії гідроенергетичного потенціалу [13, 16].

Загальний гідроенергетичний потенціал (ЗГП). Найбільш узагальнюючим і важливим є визначення ЗГП як повної теоретичної енергії річкового стоку. Для розрахунку цієї величини рекомендовано використовувати лише потенціал річкового стоку води, оскільки потенціал поверхневого стоку (який включає в себе схиловий стік) не має апробованих методичних підвалин і доволі складний у технічному визначенні.

На думку деяких авторів [8, 16] найбільш коректні і об'єктивні результати дає метод поділянкового обліку [5] для встановлення ЗГП. Його сутність полягає у тому, що проводиться оцінка загальної потужності всіх ділянок річки, які потенційно можна використати енергетично. Основними критеріями для вибору ділянок є наявність більш-менш однорідного похилу або значна бокова приточність, яка змінює гідравлічні умови річки. Для кожної ділянки визначається її загальна потужність (N , кВт) за формулою:

$$N = g \cdot \left(\frac{Q_1 + Q_2}{2} \right) \cdot (H_1 + H_2), \quad (1)$$

де g — прискорення вільного падіння, $9,81 \text{ м/с}^2$; Q_1 і Q_2 — витрати води на початку і у кінці ділянки, $\text{м}^3/\text{с}$; H_1 і H_2 — абсолютні відмітки висоти на початку і у кінці ділянки, м.

Сумарна гідроенергетична потужність усіх ділянок складає загальний гідроенергетичний потенціал річки і визначається як:

$$N_{\text{заг}} = N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_n = \sum_{i=1}^n N_i, \quad (2)$$

де $N_1, N_2, N_3, \dots, N_n$ — потужності кожної з ділянок, n — кількість ділянок.

Варто також відзначити, що для кожної ділянки річки можна визначити потенціальні запаси гідроенергії (E , кВт·год):

$$E = T \cdot g \cdot \left(\frac{Q_1 + Q_2}{2} \right) \cdot (H_1 - H_2), \quad (3)$$

де T — кількість годин у році. Вираз $T \cdot g$ у розрахункових потенціальних запасах гідроенергії зазвичай приймається рівним 85 900 [5].

Для умов річок правобережної частини басейну Дніпра кількість ділянок на річці може варіювати у значних межах залежно від орографії басейну, впливу господарської діяльності, водності річки та її зарегульованості греблями.

Розрахунки ЗГП проводяться для середніх за водністю років за картами ізоліній середньорічного стоку води. Опорними пунктами для побудови таких карт є наявні гідрологічні пости, які мають багаторічні спостереження за стоком. Тому при виборі ділянок створи гідрологічних постів мають бути означені на них для перевірки отриманих результатів по середній водності на малих ділянках.

Стосовно технологічних аспектів встановлення ЗГП, то вихідними даними для досліджуваного басейну є:

— відомості про рельєф. При цьому використані цифрові моделі рельєфу SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) з роздільною здатністю 30 м на піксель і топографічні карти масштабу 1:10 000, 1:50 000 та 1:100 000;

— інформація про витрати води на гідрологічних постах та на виділених ділянках річок.

Для розрахунку гідроенергетичного потенціалу однією із задач є побудова модельної річкової мережі, яка була створена на основі результатів математичної обробки даних про цифрову модель рельєфу (ЦМР) з використанням прикладних розрахункових програм на базі ПС-технологій, а саме QGis (рис. 1) [16, 21, 22].

Модельна річкова мережа, створена на основі ЦМР, має деякі недоліки, зумовлені локальними особливостями рельєфу території. Тому лише поєднання паперового картографічного матеріалу, ЦМР і даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) інших відкритих ресурсів дає досить високу точність оцінювання річкової мережі.

Для розрахунків загального енергетичного потенціалу всі річки були розбиті на ділянки. За основні параметри для цього, як вже було сказано, використано зміни похилу річки та її водності (впадіння великої притоки). Похили річок були визначені на підставі їх повздовжніх профілів. Вони були побудовані за висотними відмітками топографічних карт, уточнені за довідниковими джерелами та даними ДЗЗ (рис. 2).

З використанням модулі в QGis та SAGA (Spatial Analyst Tools — Hydrology, Conversion Tools, Data Management Tools) були розраховані площі

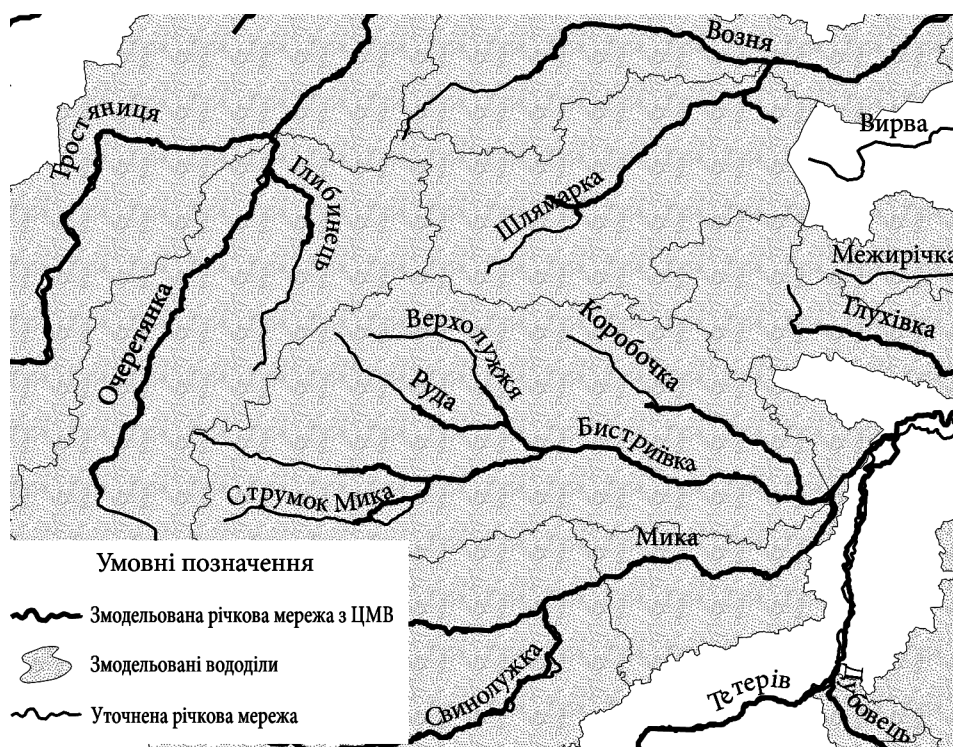


Рис. 1. Порівняння модельної річкової мережі і мережі річок з топографічних карт у межах басейнів та суббасейнів

субділянок і визначені відповідні їм центри водозборів. Визначення центрів субділянок необхідне для розрахунку модуля стоку (рис. 3).

З огляду на недостатню мережу спостережень на річках досліджуваної території, для визначення витрат води на окремих розрахункових ділянках була використана карта середнього річного модуля стоку води, за допомогою якої встановлені його показники для виділених ділянок (рис. 4). З урахуванням площ водозборів цих ділянок модулі стоку були переведені у витрати води, за якими визначався їх ЗГП.

Загальний гідроенергетичний потенціал річок не може бути використаний у повному обсязі, що пов'язано з наступними обставинами [19]:

- суттєве затоплення територій у результаті спорудження водосховищ ГЕС;
- екологічно не вигідне спорудження та використання електроенергії нерентабельних ГЕС на низці річок;
- втрати енергії при її виробництві (внутрішнє тертя, гідромеханічні втрати, втрати в енергетичному обладнанні);
- природні і техногенні втрати води з водосховищ (випаровування, забори);
- втрати напору у гідравлічних спорудах;
- гідравлічні втрати напору на кривій підпорі;

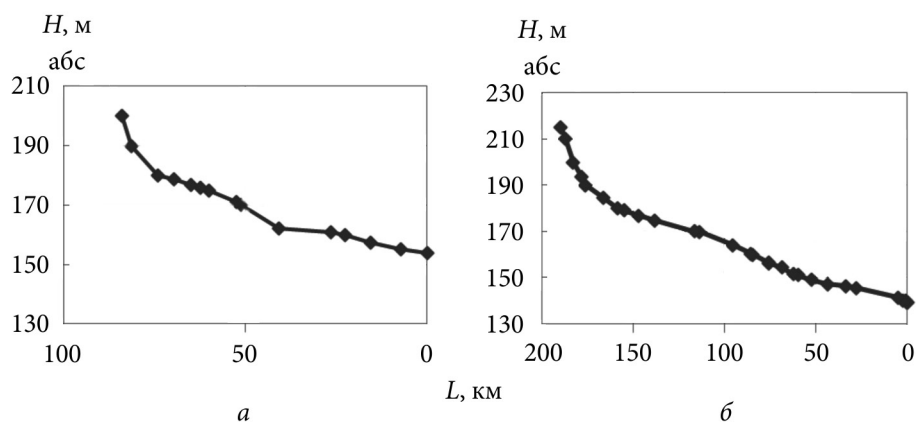


Рис. 2. Поздовжній профіль р. Вижівка (а) і р. Стохід (б)



Рис. 3. Растрове та векторне зображення площ досліджуваних ділянок р. Тетерів

— неможливість енергетичного використання верхів'їв і нижніх (пригирлових) ділянок річок;

— неможливість (недоцільність) енергетичного використання річок, пов'язана з ендегенними і екзогенними процесами та орографією басейну.

Вказані обставини підсилюються, особливо у сучасний період, екологічними проблемами, які виникають при гідроенергетичному використанні річок. Насамперед це стосується рівнинних річок, де необґрунтоване з екологічних позицій енергетичне використання водних ресурсів може призвести до негативних змін їхніх екосистем. Тому запропоновано виділяти екологічно допустимий гідроенергетичний потенціал річок [16].

Екологічно допустимий гідроенергетичний потенціал (ЕкГП). Ця категорія гідроенергетичного потенціалу є надзвичайно важливою, доцільною і необхідною для річок досліджуваної території. Його введення дик-

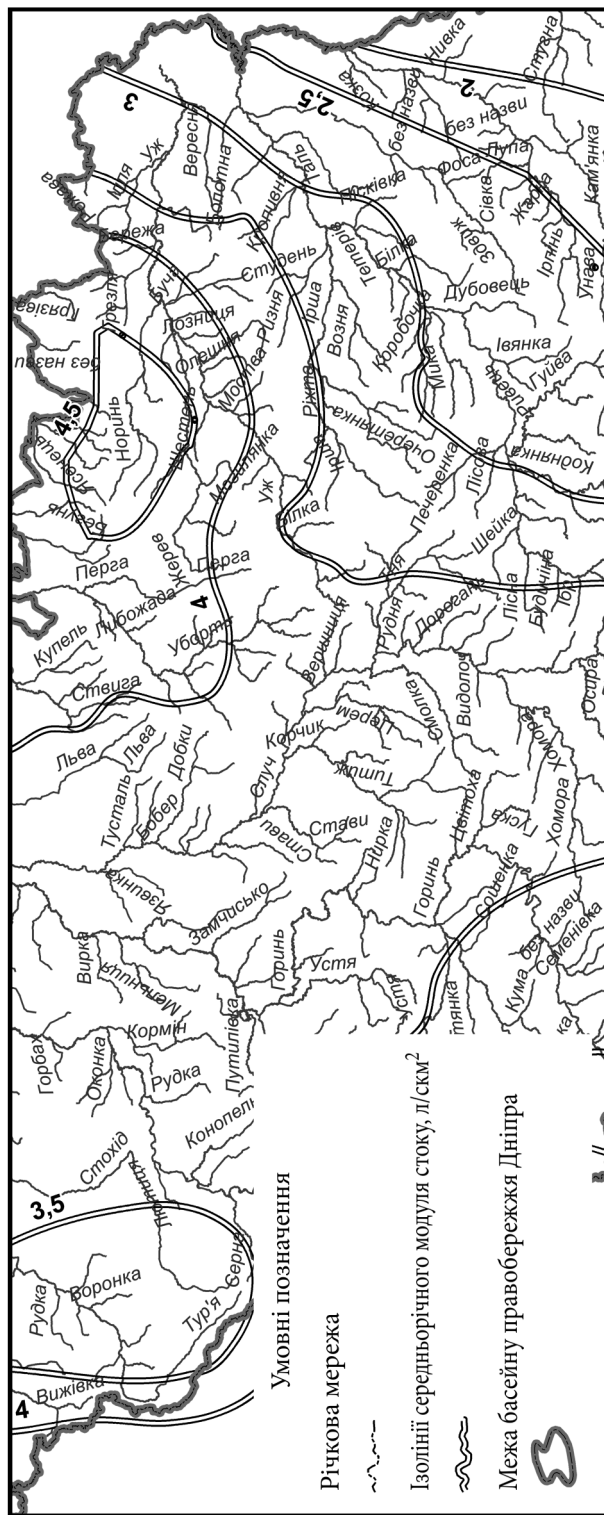


Рис. 4. Ізолінії модуля середнього річного стоку води у межах ділянок басейну р. Тетерів

тується насамперед збереженням річкових водних об'єктів і вимогами Водної Рамкової Директиви ЄС [9]. Поряд з цим варто також враховувати основні положення Директиви № 2007/60/ЄС «Про оцінку і управління ризиками, пов'язаними з повеннями» [10].

Основними критеріями для встановлення ЕкГП є:

- наявність на території річкового басейну територій різної категорії охорони, у тому числі природно-заповідного фонду (ПЗФ);
- значення середньорічної витрати води, яка є меншою від $0,3 \text{ м}^3/\text{с}$. Такі витрати притаманні для верхів'їв річок або для дуже малих водотоків.

Що стосується першого критерію при встановленні екологічно допустимого потенціалу, то виключення із загальної оцінки охоронних зон забезпечить меншу зарегульованість річки, мінімізує втрати у річковій екосистемі.

Стосовно другого критерію, то для конструкцій високоекологічних малих гідроелектростанцій (МЕГЕС) встановлюються значення середньорічних витрат води не менше $0,03 \text{ м}^3/\text{с}$ (або 30 л/с), що дає можливість забезпечити виробництво електроенергії. Таким чином більшість верхів'їв річок і дуже малі за водністю річки не можуть бути використані у гідроенергетичних цілях. Це у цілому зберігає їх гідроекологічний стан [1—3, 11—17]. Подібні підходи декларуються у публікаціях зарубіжних авторів [6, 7]. Деякі [16] долучають екологічний потенціал до складу технічного потенціалу, тим самим «затіняючи» його роль і значення у ЗГП.

Встановлення ЕкГП подібне до встановлення ЗГП і виконується за такими блоками:

- цифрова модель рельєфу;
- модельна річкова мережа;
- площі ділянок;
- центри водозбірних площ у межах визначених ділянок;
- карти середньорічного модуля стоку води;
- об'єкти ПЗФ.

Виділення меж і визначення площ ділянок за встановленими критеріями проводилось на основі ГІС-технологій із застосуванням геопросторового аналізу шляхом накладання шарів меж субділянок за співвідношенням стокових показників і меж територій ПЗФ (рис. 5). У результаті були виділені потенційно неможливі для використання ділянки та визначені їх площі. Гідроенергетичний потенціал цих ділянок виключений з розрахунків.

Технічно можливий гідроенергетичний потенціал (ТМГП). Під ним можна розуміти ту частину гідроенергетичного потенціалу, яка є технічно можливою для використання. За [20], ТМГП визначають виходячи з потенціалу водних ресурсів, які варто зменшити як ризики від втрат, пов'язаних з фільтрацією і випаровуванням при створенні значних за площею водосховищ, неможливістю повного використання стоку води річки (його слабке зарегулювання, можливі відбори води, відсутність кому-

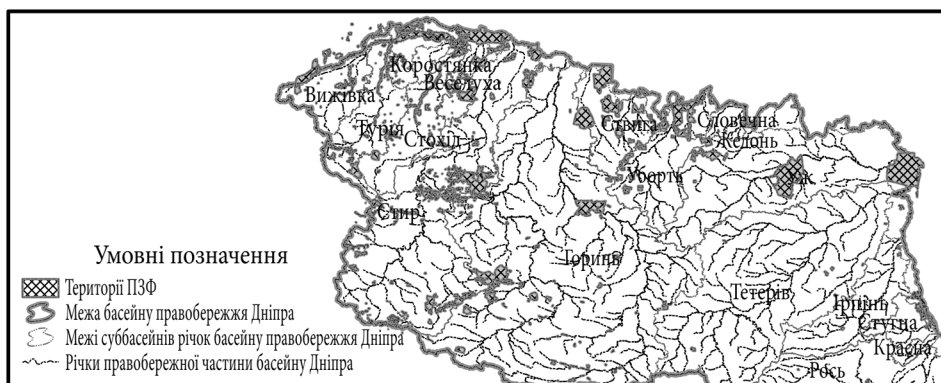


Рис. 5. Розташування об'єктів ПЗФ у межах басейну р. Прип'яті

нікацій і ЛЕП тощо). Його значення залежить також від геологічних умов (середовища) — тектонічних розломів, тектонічних рухів, землетрусів (8—9 балів і вище), карстів, зсувів і селів; гідрогеологічних умов — рівня залягання підземних вод; орографії басейну — крутизни схилів і похилів річок, фізичних властивостей ґрунтів — суфозії, просідання, набрякання тощо. До чинників, які безумовно суттєво знижують ТМГП річок, слід віднести і ЕкГП. У такому разі загальна схема (формула) встановлення ТМГП є наступною:

$$E_{\text{ТМГП}} = E_{\text{ЕкГП}} - E_{\text{ВТРАТ}}, \quad (4)$$

де $E_{\text{ТМГП}}$ — енергія ТМГП; $E_{\text{ЕкГП}}$ — енергія ЕкГП; $E_{\text{ВТРАТ}}$ — енергія ризиків втрат, пов'язаних із втратами водних ресурсів, небезпечними геологічними і гідрогеологічними процесами, небезпечною екзогенною діяльністю, антропогенним впливом тощо.

Для річок колишнього СРСР втрати енергії, пов'язані із втратами водних ресурсів (втрати напору і втрати стоку), зазвичай змінювалися у межах 3—10 %. При цьому максимальні значення характерні для дериваційних ГЕС. Разом з тим, механічні втрати при перетворенні гідравлічної енергії в електричну становили 11—13 %. Разом величина цих втрат становила максимум 22—24 %. При старих конструкціях ГЕС і їх турбін вони неминучі. Отже, мінімальне реальне використання ЗГП становить орієнтовно 87 % [4], а в окремих випадках може досягати 75 %.

У своїх розрахунках ТМГП ми пропонуємо користуватися експертною оцінкою основних ризиків, які можуть знижувати загальне виробництво гідроелектроенергії. Серед показників (як природних, так і антропогенних), які визначають ризики для річок правобережної частини басейну Дніпра, запропоновані наступні:

- наявність розгалужених типів русел річок ($E_{\text{РУСЛ}}$);
- похили річок і ширина заплави ($E_{\text{ЗАП}}$);
- ерозія ґрунтів, заболоченість (екзогенні процеси), ($E_{\text{ЕКЗО}}$);

- карст ($E_{\text{КАРСТ}}$);
- зарегульованість стоку і меліорація територій ($E_{\text{ЗМ}}$);
- відсутність комунікацій та ЛЕП ($E_{\text{КЛЕП}}$);
- селитебне навантаження та інша господарська діяльність ($E_{\text{СНГД}}$).

Перші чотири показники можна віднести до природних, наступні три є антропогенними. «Питома вага» кожного з цих показників у ризику зменшення ЗГП для річок, які протікають в різних природних умовах, є різною [15, 17]. Тому для них введені відсоткові значення зниження ЗГП, які можна використовувати як для басейнового ЗГП, так і для відповідних ділянок річок (табл. 1).

Перший із природних показників стосується зміни умов руслоформування і, як наслідок, наявності розгалужених типів русел річок ($E_{\text{РУСЛ}}$). При переході з врізаного меандруючого русла (або з русла з розвинутими алювіальними формами) до розгалуженого русла (руслова або заплавна багаторукавність) зменшуються похили річок і падає їх транспортувальна (енергетична) здатність [15]. З іншого боку, на ділянках з багаторукавним руслом виникають певні складнощі з проектуванням і будівництвом МЕГЕС. Такі ділянки русел поширені на території досліджуваного басейну незначно.

Наступним «природним» екзогенним чинником, який потенційно зменшує ЗГП річок, є відповідні похили річок та ширина їх заплави ($E_{\text{ЗАП}}$). З огляду на те, що територія правобережжя Дніпра є неоднорідною за рельєфом, вказані показники можуть суттєво зменшувати ЗГП. Насамперед, йдеться про таку складову, як похил річки. При малих похилах, особливо на річках Волинського, Житомирського і Київського Полісся (водозбори річок Прип'яті, Турії, Вижівки, Случі, Горині, Уборті, Ірпеня та ін.) і водночас за наявності широких, подекуди заболочених заплав [15, 17], використання ЗГП стає доволі проблематичним і має суттєві обмеження, наведені у показниках табл. 1.

Ще один показник стосується екзогенних процесів — ризиків від ерозії ґрунтів і заболоченості території ($E_{\text{ЕКЗО}}$) (див. табл. 1). Вплив ерозії ґрунтів і заболоченості на ЗГП може бути дещо меншим, ніж попереднього чинника, але вони взаємопов'язані. Так, ерозія ґрунтів може виражатися через похили річки, а відносна ширина заплави може бути зумовлена її висотою і заболоченістю. Такі ділянки притаманні верхів'ям Прип'яті, нижнім течіям річок Случі, Горині, Уборті. На вказаних ділянках річок величини ЗГП можуть бути суттєво зменшені.

Розповсюдження карсту на території досліджуваного басейну також може зменшувати ЗГП ($E_{\text{КАРСТ}}$) (див. табл. 1). Вплив карсту може проявлятися у просіданні території, а також інженерних споруд, розташованих на ній, перерозподілі стоку річок, активізації небезпечних екзогенних процесів у межах залягання карсту. На досліджуваній території карст розповсюджений у басейнах Вижівки, Турії, Стоходу, Стиру і Горині. Загалом ризики від впливу карсту на ЗГП на території досліджуваного басейну незначні.

Таблиця 1

Показники ризиків змін гідроенергетичного потенціалу

Дія на ЗГП	Зменшення (ризик впливу на ЗГП) у %						
	Наявність розгалужених типів русел (Брусл)	Показники похилів і ширини заплави (ЕЗАП)	Ризиків від ерозії ґрунтів і заболоченості території, (ЕКСО)	За показником карст (ЕКАРСТ)	За показником зарегульованості стоку та меліорації земель (ЕЗМ)	За показниками відсутності комунікацій та ЛЕП (ЕКЛЕП)	Селитебного навантаження та іншої господарської діяльності
Відсутня	0	$(B_{зап}/B_p < 3, I > 0,0005)$	0	0	0	0	0
Слабка	0,1—1	$(B_{зап}/B_p < 5, 0,005 > I > 0,003)$	0,1—7,5	0,01—5	0,1—7,5	0,1—5	0,1—5
Помірна	1—5	$(B_{зап}/B_p < 10, 0,003 > I > 0,0015)$	7,5—15	5—10	7,5—15	5—10	5—10
Сильна	>5	$(B_{зап}/B_p < 15, I < 0,0015)$	>15	>10	>15	>10	>10

* $B_{зап}$ ширина заплави (м); B_p ширина русла (м).

Серед чинників, зумовлених антропогенним впливом, можна виділити зарегульованість стоку і меліорацію земель (ЕЗМ) (див. табл. 1). В умовах зарегулювання стоку і, особливо, за наявності меліорованих територій у межах водозбірних площ річок, можливе суттєве зменшення ЗГП. Воно пов'язане насамперед із порушеннями гідравлічних параметрів потоку річок, їх похилів (напорів) та умов функціонування системи «потік — русло», викликаних перерозподілом витрат води. На території досліджуваного басейну зарегульованих ділянок небагато, у той же час меліоровані території значні. Особливо це стосується Поліської низовини, нижньої течії Росі, Вільшанки і Тясмину.

Наступним антропогенним чинником, який може зменшити ЗГП, є відсутність комунікацій і ЛЕП у межах водозбірних басейнів та вздовж річок (ЕКЛЕП) (див. табл. 1). Виробництво електроенергії на МГЕС доцільне за умови малої відстані до енергоспоживача (0,5—2,5 км). При цьому мають бути облаштовані різні комунікації (дороги, мости, інші інженерні споруди). Крім цього, важлива наявність існуючих ліній електромереж, до яких можуть бути під'єднані нові потужності. Разом з тим,

оптимізація місць спорудження МЕГЕС має враховувати небажаність створення великих за площею водосховищ і високих гребель ГЕС, які суттєво порушують умови функціонування річкової екосистеми.

Серед інших антропогенних чинників, що потенційно зменшують ЗГП, можуть враховуватися щільність селитебного навантаження (особливо у русло-заплавному комплексі річок), знеліснення територій, видобуток корисних копалин у русло-заплавному комплексі і на водозборі тощо (Еснґд) (див. табл. 1). Населені пункти на досліджуваній території у багатьох випадках розташовані вздовж долин (русел) річок, причому їх протяжність може досягати кількох кілометрів. У цих зонах розміщувати МЕГЕС, як правило, проблематично. У свою чергу, надмірне розорювання території може призвести як до зростання кількості наносів, що надходять у річку і змінюють гідравлічну структуру потоку, так і до активізації ерозійної діяльності на схилах (екзогенні процеси). Видобування будівельних матеріалів, шахтне і відкрите розроблення корисних копалин, розроблення нафтових та газових родовищ можуть призвести до активізації екзогенних процесів. Також до цього переліку варто долучити забір руслового і заплавного алювію на ділянках річок та їх руслах. Це може призвести до просідання рівнів води, зміни похилів водної поверхні та зменшення напору, що збільшує ризики скорочення гідравлічних ресурсів річки або її ділянки. Такі ділянки річок мають локальний характер.

Провівши певний експертно-критеріальний аналіз можливого ризику від впливу різних природних та антропогенних чинників на зменшення ЗГП, можна встановити загальну сумарну кількість його втрат і ризиків їх впливу на зменшення ЗГП:

$$\sum E_{\text{ВТРАТ}} = E_{\text{РУСЛ}} + E_{\text{ЗАП}} + E_{\text{ЕКЗО}} + E_{\text{КАРСТ}} + E_{\text{ЗМ}} + E_{\text{КЛЕП}} + E_{\text{СНГД}}. \quad (5)$$

Максимальні теоретичні (гіпотетичні) втрати за формулою (5) при сильній дії (або превалюючому визначеному впливі одного із них) можуть взагалі становити 100 % ЗГП і використання гідроенергії на певній ділянці річки є неможливим. Але на практиці сумарні втрати при сильному впливі на ЗГП річок досліджуваного басейну за всіма вказаними ризиками можуть досягати 70—85 %.

Загальні втрати в ТМГП були обраховані для 15 суббасейнів водотоків перших порядків чотирьох головних річок. Для кожного із суббасейнів за відповідними літературними джерелами і картографічними матеріалами були встановлені природні і антропогенні показники (за формулою 5), які зумовлюють зменшення ЗГП основних річок цих суббасейнів. Далі (за формулою 4) були обраховані значення їх ТМГП і встановлена загальне значення $E_{\text{ТМГП}}$ для річок досліджуваного басейну.

Деякі автори [20] виділяють економічно обґрунтований гідроенергетичний потенціал (ЕОГП). Економічна доцільність використання гідроенергетичного потенціалу річок залежить від низки досить мінливих чинників. До них відносять насамперед необхідність виробництва та умови

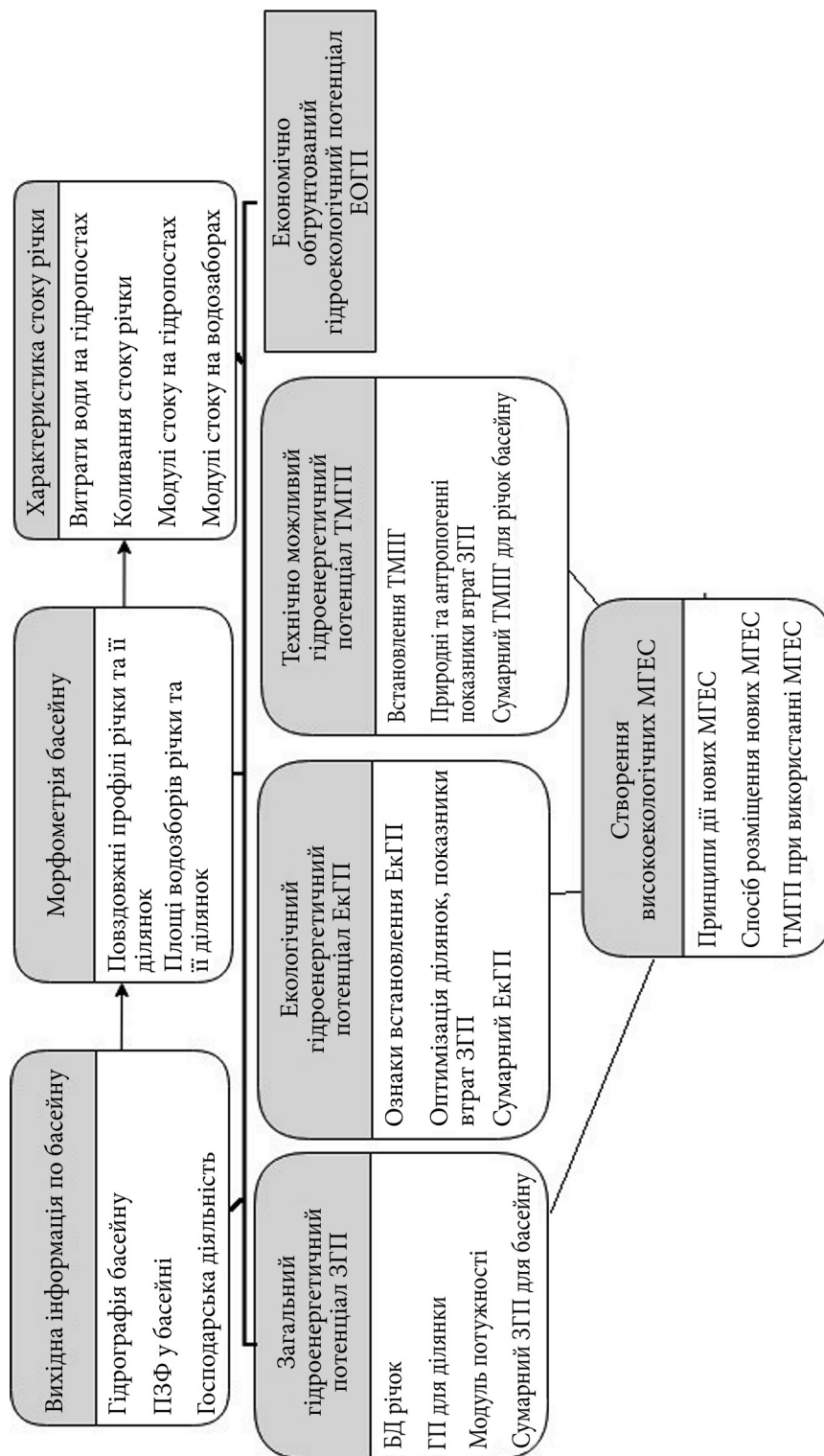


Рис. 6. Алгоритм встановлення і прогнозу гідроенергетичного потенціалу річок правобережної частини басейну Дніпра (у межах України)

використання гідроенергії. Разом з тим для виконання вказаних положень слід розробити детальне економічне обґрунтування виробництва та використання гідроенергії як на сьогодні, так і у довгостроковій перспективі, з урахуванням планів розвитку регіону. Однак визначення ЕОГП річок Правобережжя Дніпра залежить від поточних і перспективних планів його розвитку і не є завданням даної роботи.

Варто також зазначити існування нових підходів до виробництва гідроенергії. Це стосується нової високоекологічної малої гідроелектростанції [3], принцип дії якої базується на використанні гідроенергії річок без спорудження греблі на річці. Такий підхід залишає майже без змін гідрологічний режим річки і відповідає екологічним вимогам збереження біорізноманіття у річковій системі, а забір води на виробництво гідроенергії — вимогам мінімального стоку річок Правобережжя Дніпра.

Схема встановлення гідроенергетичного потенціалу. Аналітична послідовність виконання робіт по встановленню різних видів гідроенергетичного потенціалу досліджуваних річок дала можливість розробити алгоритм виконання всіх розрахунків та узагальнень (рис. 6). Схема проведення всіх операцій, представлених в цьому алгоритмі, проста і логічна, вона не потребує значних додаткових економічних ресурсів для її реалізації [14, 16]. Одним із основних блоків цієї схеми є екологічне обґрунтування і реалізація екологічно безпечних технологій виробництва гідроенергії.

Для розрахунку ЗГП річок Правобережжя Дніпра у межах України було розглянуто 508 річок з площею водозбору понад 50 км² і довжиною понад 10 км. Згідно методики розрахунку ЗГП [16], досліджувані річки були диференційовані на 884 ділянки (табл. 2).

Всього з 508 річок Правобережжя Дніпра у межах України було досліджено ЗГП р. Дніпро і річок суббасейнів його основних приток

Таблиця 2

Значення загального гідроенергетичного потенціалу річок правобережжя басейну Дніпра в межах України по суббасейнах

Басейн (суббасейн)	Кількість річок	Езгп, кВт	Езгп, МВт	Езгп, млрд. кВт·год/рік	% сумарного Езгп річок
р. Дніпро					
Річки правобережжя Дніпра					
Прип'ять (правобережжя в межах України + вся р. Прип'ять)	259	241 557	241,6	2,116	71,9
Річки басейну Дніпра	249	94 587	94,59	0,828	28,2
Сумарний ЗГП річок правобережжя басейну Дніпра (без врахування р. Дніпро)	508	336 143	336,1	2,947	100

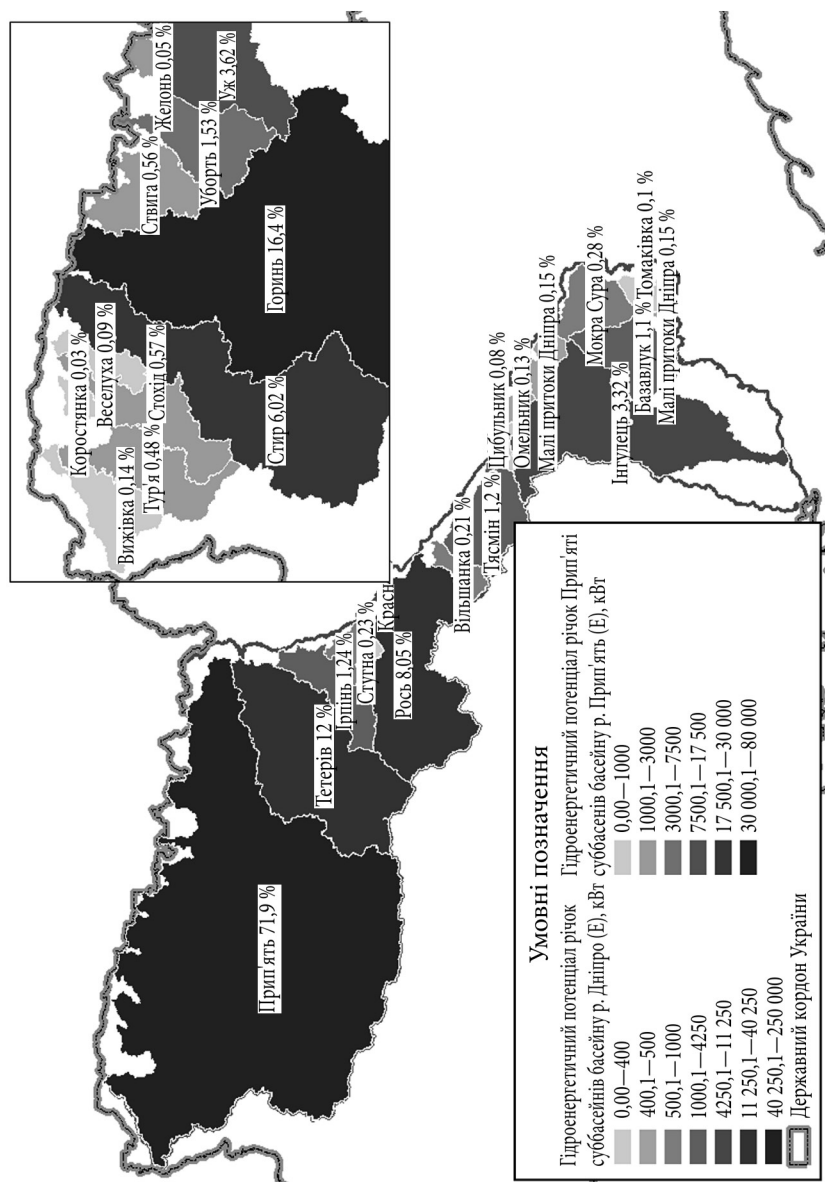


Рис. 7. Карта загального гідроенергетичного потенціалу річок правобережної частини басейну Дніпра у межах України за суббасейнами (значення у % від сумарного ЗГП)

(р. Прип'яті — 259 річок, р. Тетерева — 63, р. Ірпеня — 17, р. Стугни — чотири, р. Красної — три, р. Росі — 57, р. Вільшанки — шість, р. Тясмину — 18, р. Цибульника — дві, р. Омельника — чотири, р. Мокрої Сури — 11, р. Томаківки — шість, р. Базавлуку — 16, р. Інгульця — 38 річок) та інших поодиноких малих приток Дніпра (чотири річки).

Сумарний ЗГП річок правобережжя Дніпра (без врахування р. Дніпро) становить 336143 кВт або 336,1 МВт. Сумарна річна потужність цих водотоків становить відповідно 2,947 млрд. кВт·год/рік, що становить близько 17 % від усього сумарного економічно ефективного гідроенергетичний потенціалу річок України [18].

Відповідно до алгоритму встановлення гідроенергетичного потенціалу водотоків, наступним кроком його оцінки є визначення ЕкГП. Для обчислення його значень було проаналізовано два принципово важливих дескриптори — охоронні території та об'єкти ПЗФ і ділянки річок з середньорічною витратою води 0,3 м³/с або менше. Враховуючи те, що ЕкГП є складовою частиною ЗГП, то при його розрахунку були вилучені ділянки у межах ПЗФ або мають витрату води меншу за 0,3 м³/с [16]. 3 884

Таблиця 3

Значення екологічного гідроенергетичного потенціалу річок правобережжя басейну Дніпра у межах України по суббасейнах

Басейни, суббасейни	Кількість річок	$E_{\text{ЕкГП}}$, кВт	$E_{\text{ЕкГП}}$, млрд. кВт·год/рік	% від сумарного $E_{\text{ЕкГП}}$	% від сумарного $E_{\text{ЗГП}}$
Прип'ять (правобережжя в межах України + вся р. Прип'ять)	146	63334	0,5548	57,0	18,8
Річки басейну Дніпра	64	47707	0.4181	42.97	14.16
Сумарний ЕкГП річок правобережжя басейну Дніпра (без врахування р. Дніпро)	210	111042	0,9727	100	33,0

Таблиця 4

Значення технічно можливого гідроенергетичного потенціалу річок правобережжя басейну Дніпра у межах України по суббасейнах

Басейни, суббасейни	Кількість річок	$E_{\text{ТМГП}}$, кВт	$E_{\text{ТМГП}}$, млрд. кВт·год/рік	% від сумарного $E_{\text{ТМГП}}$	% від сумарного $E_{\text{ЗГП}}$
Прип'ять (правобережжя в межах України + вся р. Прип'ять)	146	21 182	0,1856	60,1	6,30
Річки правобережжя Дніпра	64	14 049	0.12	39.91	4.19

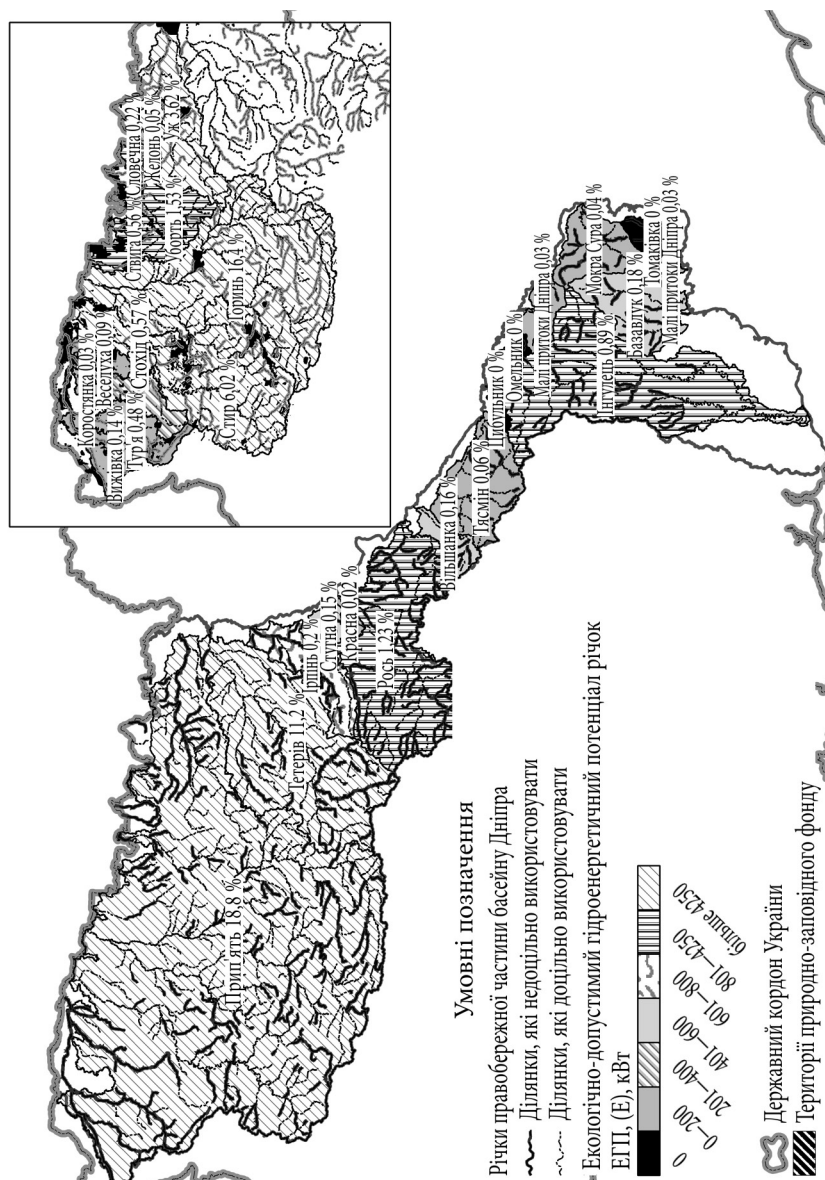


Рис. 8. Карта екологічного гідроенергетичного потенціалу річок правобережної частини басейну Дніпра в межах України за суббасейнами (значення у % від сумарного ЗГП)

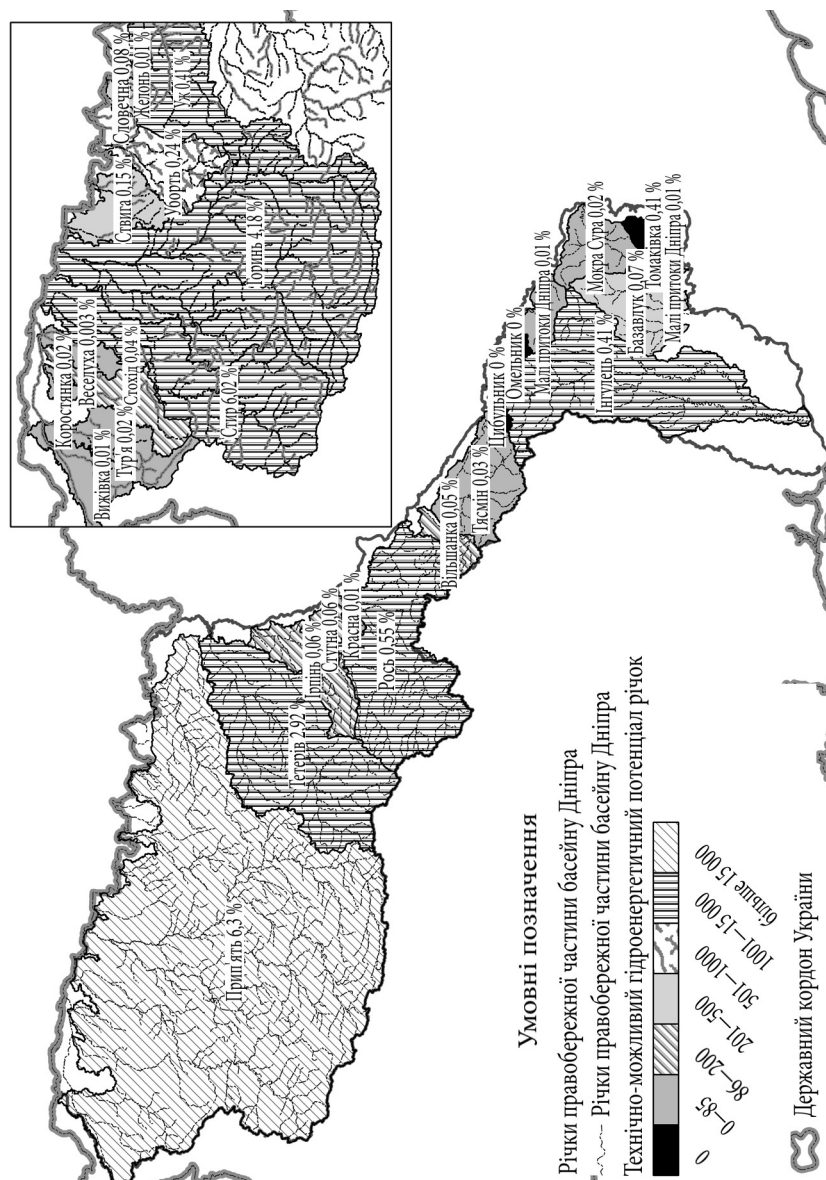


Рис. 9. Карта технічно можливого гідроенергетичного потенціалу річок правобережної частини басейну Дніпра у межах України по суббасейнам (значення у % від сумарного загального гідроенергетичного потенціалу)

ділянок 508 річок при розрахунку ЕкГП були враховані гідроенергетичні потужності 316 ділянок 210 річок (рис. 8), тобто 568 були виключені. Слід відмітити, що при розрахунку ЕкГП гідроенергетичний потенціал р. Дніпро взагалі не враховувався. За розрахунками сумарний ЕкГП досліджуваних річок становить лише 33,0 % (111042 кВт або 111,0 МВт) від сумарного ЗГП всіх досліджуваних річок (336143 кВт) (див. табл. 2, табл. 3). При цьому більше половини сумарного ЕкГП забезпечують водотоки (146) басейну Прип'яті (57 % , тобто 63334 кВт).

Незважаючи на те, що сумарний ЕкГП річок правобережної частини басейну Дніпра у межах України становить лише 33,0 % від сумарного ЗГП, відповідно до алгоритму встановлення гідроенергетичного потенціалу водотоків слід розрахувати ТМГП річок, які можна освоювати у гідроенергетичному плані. Враховуючи те, що ТМГП являє собою частину ЗГП за винятком екологічних та потенційних втрат потужності водотоку за рахунок природно-антропогенних особливостей території, яка реально може бути використана в гідроенергетичних цілях [9], при його обчисленні були проаналізовані чинники, вказані у таблиці 1. Результати представлені у табл. 4 і на рис. 9.

Розрахунки показали, що сумарний вплив зазначених дескрипторів на ТМГП складає близько 38 %. Таким чином, виходячи з формули (5), сумарний ТМГП становить лише 10,5 % (35232 кВт або 35,2 МВт) сумарного ЗГП річок правобережної частини басейну Дніпра у межах України.

Висновки

Запропоновані методичні підходи до оцінки гідроенергетичного потенціалу рівнинних річок на прикладі річок правобережжя Дніпра, яка складається з встановлення загального (ЗГП), екологічно допустимого (ЕкГП) і технічно можливого (ТМГП) потенціалів. В основу оцінки ЗГП покладено використання технологічних аспектів, а саме цифрові моделі рельєфу і дані ДЗЗ з використанням прикладних розрахункових програм на базі ГІС-технологій (QGIS).

Основними критеріями для встановлення ЕкГП є наявність територій різної категорії охорони, у тому числі об'єктів ПЗФ і значення середньої витрати води.

Для встановлення ТМГП запропоновано користуватися експертною оцінкою основних ризиків, які можуть знижувати загальне виробництво електроенергії, а саме наявності розгалужених типів русел, похилів річок і ширини заплави, ерозії ґрунтів, заболоченості (екзогенні процеси), карсту, зарегульованості стоку і меліорації територій, відсутності комунікацій і ЛЕП, селитебного навантаження та іншої господарської діяльності.

Послідовність встановлення різних видів гідроенергетичного потенціалу дала можливість розробити алгоритм всіх розрахунків та узагальнень.

Для розрахунку ЗГП річок Правобережжя Дніпра було розглянуто 508 річок з площею басейну понад 50 км² і довжиною більше 10 км. Загальний гідроенергетичний потенціал досліджуваних водних об'єктів ста-

новить 336,1 МВт, екологічний — 111,0 МВт, технічно можливий — 35,2 МВт.

Список використаної літератури

1. А. с. № 115332. Універсальний гідравлічний сифон. Корисна модель. В.В. Онищук, О.Г. Ободовський. 2017. Бюл. № 7.
2. А. с. № 121730. Високоекологічна гідроелектростанція. Корисна модель. В.В. Онищук, О.Г. Ободовський. 2017. Бюл. № 23.
3. А. с. № 100050. Спосіб розміщення високоекологічної малої ГЕС. Корисна модель. О.Г. Ободовський, В.В. Онищук. 2015. Бюл. № 13.
4. Авакян А.Б., Баранов В.А., Бернштейн Л.Б. и др. Энергетические ресурсы СССР: Гидроэнергетические ресурсы. М.: Наука, 1967. 599 с.
5. Адаменко Я.О. Оцінка впливів техногенно небезпечних об'єктів на навколишнє середовище: науково-теоретичні основи, практична реалізація: автореф. дис. ... докт. техн. наук. Ів.-Франківськ, 2006. 40 с.
6. Альтернативная энергетика в Китае. <http://www.biowatt.com.ua/analitika/alternativnaya-energetika-v-kitae/>
7. Альтернативні палива та інші нетрадиційні джерела енергії. За ред. В. Лютко. Ів.-Франківськ: Полум'я, 2000. 256 с.
8. Баденко Н.В., Бакановичус Н.С., Воронков О.К. и др. Разработка методологического обеспечения процесса автоматизированного вычисления гидроэнергетического потенциала рек с использованием геоинформационных систем. *Инж.-строит. журн.* 2013. № 16. С. 62—76.
9. Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС: основні терміни та їх визначення. К., 2006. 240 с.
10. Директива 2007/60/ЕС об оценке и управлении рисками наводнений. http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/994_b29.
11. Ковальчук І. Регіональний еколого-геоморфологічний аналіз. Львів, 1997. 440 с.
12. Латориця: гідрологія, гідроморфологія, руслові процеси. За ред. О.Г. Ободовського. К.: Київський університет, 2012. 319 с.
13. Ободовський А.Г., Данько К.Ю., Снежко С.И. и др. Гидрологические исследования и прогноз гидроэнергетического потенциала рек Украинских Карпат в условиях изменения климата. *Водные ресурсы и климат : материалы докладов V Международного Водного Форума*. Минск : БГТУ, 2017. Ч. 2. С. 245—249.
14. Ободовський О.Г. Гідроекологічна оцінка та прогноз енергетичного потенціалу річок Українських Карпат. *Українська географія: сучасні виклики: Матеріали XII з'їзду УГТ*. 2016. Т. III. С. 118—121.
15. Ободовський О.Г. Гідролого-екологічна оцінка руслових процесів (на прикладі річок України). К.: Ніка Центр, 2011. 273 с.
16. Ободовський О.Г., Данько К.Ю., Почаєвець О.О., Ободовський Ю.О. Методика встановлення гідроенергетичного потенціалу річок (на прикладі річок Українських Карпат). Вісн. КНУ ім. Тараса Шевченка. Географія. 2016. Вип. 1. С. 5—12.
17. Ободовський О.Г. Руслові процеси. К.: Київський університет, 2017. 511 с.
18. Розпорядження Кабінету міністрів України Про схвалення Програми розвитку гідроенергетики на період до 2026 р. від 13 липня 2016 р. № 552-р // Офіц. вісн. України. 2016. № 60. С. 175.
19. Рудько Г.І., Консевич Л.М. Наукові засади екологічної оцінки та оптимального використання гідроресурсів Карпатського регіону. К.: Знання, 1998. 137 с.
20. Цепенда М.М. Методичні особливості економіко-географічної оцінки гідроенергетичного потенціалу Середнього Придністров'я. *Наук. записки Вінницького держ. пед. ун-ту. Серія Географія*. 2009. Вип. 18. С. 211—219.

21. Obodovskiy O., Danko K., Pochaievets O. Assessment of hydropower potential of the Tisza river basin. *J. Educ. Health Sport*. 2017. Vol. 7, N 5. P. 497—504.

22. Obodovskiy O., Danko K. Conditions of sediment transport of Styr basin rivers. *Environ. Res., Eng. Manag.* 2016. Vol. 72, N 1. P. 18—26.

Надійшла 26.02.2019

O. Obodovskiy, Dr. Sci (Geogr.), Prof., Prof.,
Taras Shevchenko National University of Kyiv,
2 Glushkova Ave, Kyiv, 03022, Ukraine

K. Danko, PhD (Geogr.),
Taras Shevchenko National University of Kyiv,
2 Glushkova Ave, Kyiv, 03022, Ukraine

O. Pochaievets, Researcher,
Taras Shevchenko National University of Kyiv,
2 Glushkova Ave, Kyiv, 03022, Ukraine
e-mail: hydrolab.kyiv@gmail.com
ORCID 0000-0003-4521-9922

V. Onyschuk, PhD (Engin.), Senior Researcher
Taras Shevchenko National University of Kyiv,
2 Glushkova Ave, Kyiv, 03022, Ukraine

S. Snizhko, Dr. Sci (Geogr.), Prof., Head of Department
Taras Shevchenko National University of Kyiv,
2 Glushkova Ave, Kyiv, 03022, Ukraine
ORCID 0000-0002-2696-687X

O. Lukianets, PhD (Geogr.), Asst. Prof.,
Taras Shevchenko National University of Kyiv,
2 Glushkova Ave, Kyiv, 03022, Ukraine
ORCID 0000-0002-8903-130X

METHODIC ASPECTS OF HYDROECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE
HYDROPOWER POTENTIAL OF THE PLAIN RIVERS OF THE RIGHT-BANK PART
OF THE DNIEPER RIVER BASIN

The article deals with the main provisions of the rivers' hydropower potential and its components - the total, ecologically and technically possible potentials. Calculations were carried out using the geoinformation systems, which enabled to significantly increase reliability of the results. The general scheme of the hydropower potential determination is proposed. The implementation of the indicated methodological provisions is carried out for establishing the hydropower potential of the rivers of the right bank of the Dnieper within Ukraine. The calculation included 509 rivers of the catchment area of more than 50 km² and of more than 10 km long. Total hydropower potential of the studied water bodies amounts to 336.1 MW, the ecological — 111.0 MW, technically possible — 35.2 MW.

Keywords: *methodical aspects, hydroenergetic potential, hydroecological assessment, lowland rivers, right bank of the Dnieper River.*