

6. Маринич О.М. Фізична географія України / О.М. Маринич, П.Г. Шищенко. – К. : Знання, 2006. – 511 с.
7. Мельник А.В. Українські Карпати: еколого-ландшафтні дослідження / А.В. Мельник. – Львів : Вид-но ЛНУ ім.Івана Франка, 1999. – 286 с.
8. Міщенко Л.В. Геоекологічний аудит техногенного впливу на довкілля та здоров'я населення (на прикладі регіону Покуття) : автореф. дис. канд. геогр. наук / Л.В. Міщенко. – Чернівці, 2003. – 21 с.
9. Руденко Л.Г. Еколого-географічні дослідження території України / Л.Г. Руденко, І.О. Горленко, Л.М. Шевченко. – К. : Наукова думка, 1990. – 32 с.
10. Рудько Г.І. Конструктивна геоекологія : наукові основи та практичне втілення / Г.І. Рудько, О.М. Адаменко. – Чернівці : Маклаут, 2008. – 320 с.
11. Шевчук В.Я. Екологічний аудит / В.Я. Шевчук, Ю.М. Саталкін, В.М. Навроцький. – Київ : Вища школа, 2000. – 344 с.

## ЕКОЛОГІЯ ГІДРОСФЕРИ ТА АТМОСФЕРИ

УДК 504.064 (477.8)

*Архипова Л.М.*

*Івано-Франківський національний  
технічний університет нафти і газу*

### МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОЕКОЛОГІЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ

Запропонована модель гідроекологічного потенціалу для комплексної оцінки якості природних вод, динаміки ступеню екологічної безпеки водних об'єктів в часі і просторі, визначення характеру і направленості функціонування гідроекосистем та інтенсивності процесів самоочищення.

**Ключові слова:** гідроекологічний потенціал, екологічна безпека, якість природних вод.

Предложена модель гидроэкологического потенциала для комплексной оценки качества природных вод, динамики степени экологической безопасности водных объектов во времени и пространстве, определения характера и направленности функционирования гидроэкосистем и интенсивности процессов самоочистки.

**Ключовые слова:** гидроэкологический потенциал, экологическая безопасность, качество природных вод.

The index of hydroecological potential for the complex estimation of quality of natural waters, dynamics of degree of ecological safety of water objects in time and space, determination of character and orientation of functioning of hydroecosystems and intensities of self-wiping processes is offered.

**Key words:** hydroecological potential, ecological safety, quality of natural waters.

**Постановка задачі.** Для сучасного стану гідроекологічного прогнозування характерні чотири основні принципи (Розенберг, 1984; Брусиловский, 1987). Перший з них – це принцип множинності моделей; він був запропонований В.В. Налімовим (1971) і полягає в тому, що для прогнозування конкретної екологічної ситуації можлива побудова декількох, однаково достовірних математичних моделей.

Другий, дуже важливий принцип, – це принцип омніпотентності чинників, також запропонований В. В. Налімовим (1983). Суть його зводиться до того, що існують фактори (вони-то і називаються омніпотентними, тобто всемогутніми), які вчора і сьогодні не грали ніякої значущої ролі у динаміці тієї чи іншої екосистеми, але які можуть чинити на неї визначальний вплив завтра. Класичним прикладом прояву омніпотентності можна вважати всі гідробіологічні прогнози розвитку водосховищ, які “не помітили” ефекту цвітіння водойм, хоча до їх побудови залучалися кращі фахівці.

Наступний принцип був запропонований американським дослідником Дж.Форрестером (1977, 1978), автором системної динаміки (одного з найбільш поширених прийомів імітаційного моделювання) – принцип контринтуїтивної поведінки складних систем. Відповідно до цього принципу, складні системи (у тому числі й гідроекологічні) ведуть себе зовсім не так, як підказує нам наша інтуїція, тобто поведуться контринтуїтивно. Причинами такої поведінки є об’єктивна складність екосистем, суб’єктивність наших знань і вже названий принцип омніпотентності факторів. Прикладів контринтуїтивної поведінки екосистем – величезна кількість. Можна сміливо стверджувати, що екологічна криза сьогодні багато в чому “зобов’язана” цьому принципу. Наприклад, прогноз замулення Вахшського водосховища визначав термін у 1000 років, а він справдився вже через 7-8 років!

Четвертий – це принцип невідповідності точності та складності, який запропонував Л. Заде (1974, 1976) і який формулюється наступним чином: поняття “точності” і “складності” при прогнозуванні структури і поведінки екосистем пов’язані зворотною залежністю – чим глибше аналізується реальна екосистема, тим менш певні наші судження про її поведінку. Несумісність “простоти” моделі та точності рішення задачі виявляється і у висловленні академіка А. А. Самарського (1979): “... дослідник постійно знаходиться між Сциллою ускладненості і Харибдою недостовірності. З одного боку, побудована ним модель повинна бути проста у математичному відношенні, щоб її можна було дослідити наявними засобами. З іншого боку, у результаті всіх спрощень вона не повинна втратити і “раціональне зерно”, суть проблеми”.

Таким чином, незважаючи на те, що правдоподібних моделей однієї і тієї ж екосистеми можна запропонувати кілька (перший принцип), жодній з них не можна беззастережно довіряти (другий принцип), як не можна довіряти і експертам (третій принцип). Більш того, високі вимоги до точності екологічного прогнозування взагалі здаються недосяжними (четвертий принцип). Якщо згадати ще про унікальність екосистем, неможливість редукції їх, складності проведення системних експериментів, значної похибки, нечисленність вимірювань багатьох екологічних параметрів (традиційні тимчасові ряди спостережень в 10-20 значень), неповноту наших знань про механізми функціонування екосистем, то стають зрозумілими намагання фахівців працювати над новими можливостями екологічного прогнозування.

Все це і визначило головну мету цієї роботи: викласти нові підходи до гідроекологічного моделювання і прогнозування.

**Методична частина.** Нами запропонований до використання “Індекс гідроекологічного потенціалу” (ІГЕП) – показник, що означає, наскільки якісний стан водного об’єкту має потенціал чистоти порівняно з допустимими значеннями показників якості води, які адаптовані до Європейських і Українських стандартів [3].

В розрахунках ІГЕП підсумовуються перевищення допустимих значень над фактичними концентраціями та віднімаються перевищення концентрацій над допустимими значеннями. Результат ділиться на кількість використаних показників.

$$\text{ІГЕП} = \sum \frac{\text{НЯ}_i}{\text{С}_i}, \text{ якщо } > 0, \text{ якщо } < 0, \text{ тоді } \sum -\frac{\text{С}_i}{\text{НЯ}_i} / n, \quad (1)$$

де НЯ – норматив якості води для конкретного показника, під яким розуміють допустимі (граничні величини) показників фізико-хімічного і біологічного стану вод та їх властивостей, які відповідають вимогам різних споживачів;

i – показник;

n – кількість показників.

В розрахунках ІГЕП повинні враховуватись різноманітні показники: органолептичні, фізичні та хімічні. Кількість показників, що беруться для розрахунку ІГЕП, повинна бути, на нашу думку, не менше 10-12, незалежно від того перевищують вони допустимими значеннями показники якості чи ні, але обов'язково включати розчинений кисень, ХСК, рН, мінералізацію та БСК<sub>5</sub>.

Параметри для обрахунку індексу гідроекологічного потенціалу обираються, виходячи з даних моніторингових досліджень стандартних параметрів природних вод. Причому в обрахунки обов'язково включаються всі параметри, значення яких виходять за межі безпеки (або дорівнюють значенню ГДК) та з обрахунків виключають забруднюючі речовини, які не присутні у воді в природному стані, якщо їх концентрація менша від ГДК з огляду на те, що потенціал якості природних вод не може характеризуватись кількістю нестачі забруднюючої речовини, взагалі не характерної для природної води (наприклад, СПАР, цезій, стронцій, хром, нафтопродукти).

Для розрахунку ІГЕП обґрунтовані показники з орієнтацією на світові досягнення безпеки води та наявні показники системи моніторингових досліджень [3, 2].

В умовах євроінтеграції постає гостра проблема невідповідності законодавства України до законодавства Європейського Союзу, зокрема у сфері технічного регулювання. Адаптація законодавства у сфері технічного регулювання здійснюється шляхом впровадження технічних регламентів на основі відповідних директив ЄС.

На сьогодні нормативною базою в Україні, яка встановлює критерії безпеки води, є Державні санітарні правила і норми "Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного постачання" та міждержавний стандарт ГОСТ 2874-82 "Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством". Одночасно, в українських нормативах для деяких показників встановлені гранично допустимі концентрації, які знаходяться за межами чутливості методик, що застосовуються, або за межами можливостей технологій для очистки води.

В країнах ЄС питання щодо якості води питної врегульовано Директивою Ради Європейського Союзу №98/83/ЄС від 03.11.1998 р. про якість води, призначеної для споживання людиною. Вимоги цього документу є обов'язковими для всіх країн і повинні бути введені в національне законодавство. Директива встановлює основні параметри, які мають конкретне значення для якості води і здоров'я людей, залишаючи можливість країнам-членам Євросоюзу встановлювати другорядні параметри на власний розсуд.

Аналіз показує, що в Україні до питної води нормується на 28% показників менше, ніж передбачено вказаною Директивою ЄС. Крім цього, вимоги європейські в більшості випадків є більш жорсткими. На цей час єдиним законодавчим актом, який зобов'язує впровадження технічних регламентів у вітчизняне законодавство, є Закон України „Про стандарти, технічні регламенти та процедури оцінки відповідності”.

Зазначена проблема не може бути врегульована шляхом внесення змін до діючих нормативно – правових актів, оскільки у Євросоюзі існують Директиви Європейського Парламенту та Ради Європи та документи Кодекс Аліментаріус, а в Україні обрано шлях на зближення національного законодавства до Європейського.

**Обговорення результатів.** Запропонований показник Індексу гідроекологічного потенціалу дає змогу виконати порівняння якості вод різних водних об'єктів між собою, незалежно від тих забруднюючих речовин, які в них присутні, а головне – виявити якісну складову гідроекологічного потенціалу. Розрахунки ІГЕП складаються в багаторічні ряди значення комплексного показника якості, що виявляє певні закономірності розподілу в часі і в просторі. Виявлення цих закономірностей і їх часовий прогноз є предметом наших подальших досліджень.

Такий підхід дає можливість простежити багаторічну динаміку зміни антропогенного навантаження на водні об'єкти, порівняти в різних гідроекосистемах комплексний показник якості води або вибраних параметрів, за якими ведуться багаторічні спостереження за програмою моніторингу навколишнього середовища на водних об'єктах України, аналізи виконуються в лабораторіях екологічного моніторингу при державних управліннях охорони навколишнього середовища у всіх областях України, результати спостережень наводяться в щорічних звітах про стан навколишнього середовища.

Наприклад, від'ємний показник ІГЕП в створі р.Дністер – с.Розвадів вказує на те, що гідроекологічний потенціал відсутній, використання вод для риборозведення та господарсько-

питного водопостачання не уявляється можливим, скид забруднених вод неприпустимий, ділянка гідроекосистеми потребує негайних водоохоронних заходів.

Розрахований показник індексу гідроекологічного потенціалу є відносною величиною, залежить від рівня антропогенного навантаження. На нашу думку, може використовуватись при оцінці кількісних показників самоочищення рік (за умови, що відбір проб на гідрохімічний аналіз в двох створах буде співпадати в часі з терміном добігання води ріки від одного створу до іншого). Наприклад, проби води на р.Дністер в с.Розвадів та в с.Журавно відбиралися в один день. Відстань між створами 44 км теоретично ріка подолає за півдобу. За розрахунками на даній ділянці ступінь самоочищення Дністра складає 0,038 ІГЕП/км, а перетворююча властивість 0,14 ІГЕП/годину. Відстань між с.Журавно та нижчим за течією створом в м. Галичі – 38 км річка подолає приблизно за 10 годин. Припустимо, що проби води відбирались саме через цей період (швидкість течії р.Дністер під час весняної повені приймаємо 1м/с) після їх відбору в с.Журавно. Тоді ступінь самоочищення або повернення втраченого гідроекологічного потенціалу складатиме 0,037 ІГЕП/км, а перетворююча (відновлююча) властивість 0,139 ІГЕП/годину. Як бачимо властивості гідроекологічного потенціалу у верхній течії р.Дністер між різними створами але в межах одного гідрологічного району практично ідентичні.

Таким чином, показник ІГЕП дає можливість оцінити характер і направленість функціонування гідроекосистем та інтенсивність процесів самоочищення.

Аналізуючи динаміку змін індексу гідроекологічного потенціалу в створі с.Черніїв – р.Бистриця – Надвірнянська (водозабір м.Івано-Франківська), можна зробити висновок, що в цілому якість води протягом останніх трьох років покращується з 3,7 до 6,4 середньорічного ІГЕП. Причому аналогічна ситуація спостерігається в інших створах рік, до яких з басейнів рік не ведеться скидів стічних вод, немає великих промислових підприємств та значного антропогенного навантаження на водозборах вище пунктів відбору проб, а саме р.Свіча до с.Гошів (від 5,8 до 8,8), р.Бистриця-Солотвинська до с.Скобичівка (від 3,4 до 4,27). Цікавим виявляється й те, що підвищення індексу гідроекологічного потенціалу протягом останніх трьох років відбулося і в створах рік, які зазнають скидів стічних вод, а саме: р.Дністер до с.Устечко (від 1,92 до 2,63), р.Свіча до с.Міжріччя (від 5,24 до 8,05), р. Ворона до с.Отинія (від 1,24 до 2,05), р.Сівка в гирлі (від -1,04 до 0,55), р.Саджава до м.Долина (від -8,35 до -2,85), р.Бистриця – до с.м.т. Єзупіль (після скиду стічних вод м.Івано-Франківська) (від 1,18 до 1,72). Однією з причин, вважаємо є водність рік, яка сприяє розбавленню забруднених стоків, підвищення якої спостерігалось останні роки. Отже, індекс гідроекологічного потенціалу виявляє зв'язок кількісної і якісної складової природних вод. У подальших дослідженнях плануємо знайти математичні залежності цього зв'язку.

Як бачимо, навіть дуже забруднені води р.Сівка та р.Саджавка з від'ємними значеннями гідроекологічного потенціалу (в таких випадках більша частина з 16-18 показників, які приймалися до розрахунку, була в декілька разів, або, навіть, десятки разів вища нормативного показника) мають тенденцію до покращення якості та збільшення гідроекологічного потенціалу. Можна зробити висновок, що погіршення якості річок в більшості випадків обумовлено скиданням стічних вод, а не забрудненістю площі водозбору [1].

Однак, не виключено, що покращуються процеси самоочищення у річках, підвищується буферна здатність поверхневої гідросфери у зв'язку із спадом виробництва в Івано-Франківській області. За останні три роки повністю припинили роботу всі 10 заводів Калуського хімічного концерну, з перервами працює й не на повну потужність Надвірнянський нафтопереробний завод.

Отже, головним висновком є те, що ріки Івано-Франківської області, праві карпатські притоки Дністра, не зважаючи на стан їх забруднення або чистоти на даний момент, не втратили здатності до відновлення якості, не припинились процеси самоочищення і в цілому спостерігається позитивна направленість функціонування гідроекосистем.

Цікавим виявився аналіз якості води за індексом гідроекологічного потенціалу з точки зору внутрішньорічного розподілу. На графіку внутрішньорічного розподілу ІГЕП для р.Бистриця-Надвірнянська – с.Черніїв (водозабір м.Івано-Франківська), де апріорно контролюється забруднення на водозбірній площі і якість природних вод можна вважати фоновою для гідроекосистем північно-східного макросхилу Карпат, виявляються наступні закономірності (рис. 1, табл. 1):

- гідроекологічний потенціал річкових вод поступово зменшується з весни до зими, причому незалежно від втручання людини. Виявлена залежність зміни фонові якості річкових вод з весни до зими для різних створів рік Прикарпаття обґрунтована математично. Цей факт здається нам цілком логічним з огляду на визначаючу роль живих організмів у створенні якісного потенціалу природних вод. Навесні життєдіяльність гідробіонтів активізується, а для значної кількості однорічних гідробіонтів до початку зими із закінченням вегетаційного періоду завершується;
- протягом останніх трьох років фонові середньорічна якість води покращувалась, гідроекологічний потенціал збільшувався;
- найбільша амплітуда коливань ІГЕП характерна для весни і для літа, що, на нашу думку, пов'язано з різкими змінами водності (водопіллям, паводками) у ці сезони року;
- під час максимальної водності потенціал якості природних вод зменшується, що пояснюється змиванням забруднюючих речовин з поверхні водозбірної площі поверхневим (схиловим) стоком;
- після проходження паводку (повені), навіть катастрофічного характеру, як це спостерігалось улітку 2008 р., гідроекологічний потенціал вже у другий половині серпня – вересні місяці відновлювався до середньобагаторічних сезонних значень.

Цікаві результати були нами отримані при дослідженнях зв'язку між рядами значень індексу гідроекологічного потенціалу в різних пунктах спостережень. Для прикладу був розрахований коефіцієнт кореляції між рядами індексів гідроекологічного потенціалу, розрахованими за 2008 рік між різними річками північно-східного мегасхилу Карпатських гір. Цікавим виявився факт високої залежності двох рядів ІГЕП на рівні  $K=0,83$  між сусідніми басейнами рік Бистриці-Надвірнянської та Бистриці-Солотвинської, які мають приблизно однакові площі водозборів, фізико-географічні умови басейнів та порівняну водність. При цьому потенціал якості Бистриці Солотвинської в абсолютних значеннях є нижчим.

А ось коефіцієнт кореляції індексу гідроекологічного потенціалу між р.Вороною та р.Бистрицею, в яку вона несе свої води, виявився рівним одиниці. Створи відбору проб розташовані один за одним по течії. Тобто за умов відбору проб води на аналіз протягом декількох днів для природних показників річок заповідної зони цей факт був би нормою. Зауважимо, що моніторинг на даних водних об'єктах проводився в різні місяці одного сезону (раз в квартал), а також те, що обидва створи розташовані після скидання основної кількості стічних вод, до того ж ріка Ворона вважається однією з найбрудніших на Прикарпатті (такі показники як прозорість води, колір води, вміст амонійного азоту, фосфатів практично в кожній пробі не відповідають стандартам), а на р.Бистриця моніторинг проводиться після скидання стічних вод обласного центру (такі показники як прозорість води, колір води, вміст амонійного азоту, фосфатів, нітритів, а також показники БСК та ХСК в більшості проб не відповідають стандартам). Отже, з цього випливає, що внутрішньорічна зміна індексу гідроекологічного потенціалу визначається природною складовою, параметрами гідроекосистеми.

Вибір стратегії та методів обробки і аналізу рядів динаміки індексу гідроекологічного потенціалу залежить від кінцевої мети досліджень. У нашому випадку на початку це часовий прогноз гідроекологічного потенціалу. Тому першим етапом буде оцінка тренду часового ряду. Будь-який ряд динаміки, у тому числі індексу гідроекологічного потенціалу може бути розділений на три компоненти:

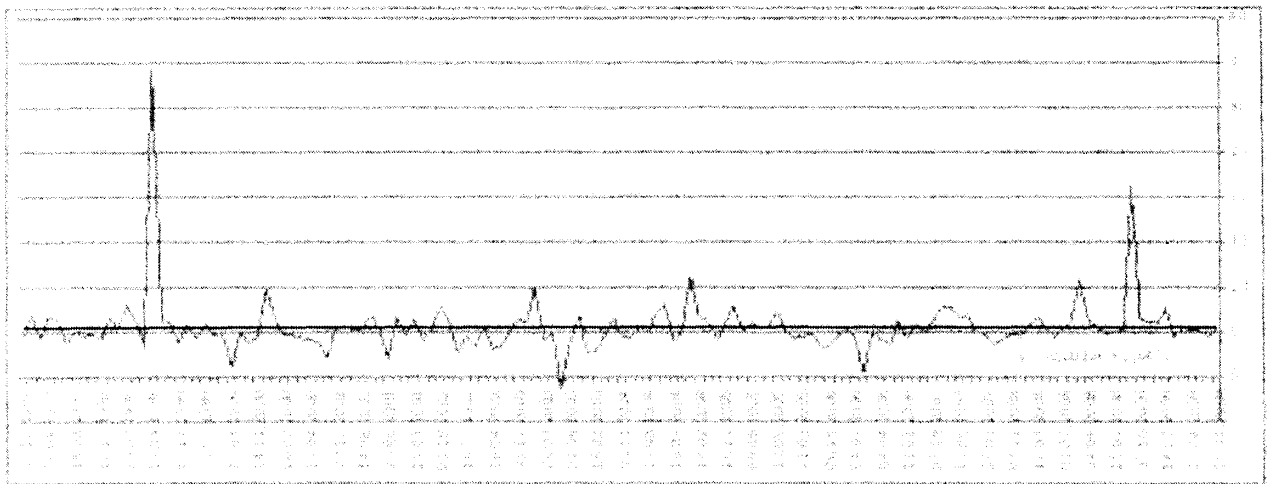
$$x(t) = f(t) + g(t) + h, \quad (2)$$

де  $f(t)$  – детермінована компонента, яка являє собою деяку аналітичну функцію, що виражає тенденцію в ряду динаміки;

$g(t)$  – стохастична компонента, яка моделює характер періодичної і квазіперіодичної варіації досліджуваного явища;

$h$  – випадкова компонента типу “білий шум”.

Результати експоненціального згладжування ряду індексу гідроекологічного потенціалу по р.Бистриця-Надвірнянська – с.Черній (лінійна модель), представлені на рисунку 1, таблиця 1. Для коротких часових рядів найбільш доцільні параметричні методи виділення тренду.



**Рис. 1. Лінійна модель динаміки зміни індексу гідроекологічного потенціалу по р. Бистриця-Надвірнянська – с. Черпіїв з рівнянням лінії тренду, за яким може здійснюватись гідроекологічний прогноз**

*Таблиця 1*

**Обґрунтування показників для розрахунку індексу гідроекологічного потенціалу на основі порівняння національних стандартів та світових досягнень безпеки води**

Показник	Прийнятий для розрахунку ІГЕП	Україна	ВООЗ	ЄС	NPDWP NSDWP (США)
Запах в балах	2	2	Прийнятний для споживачів без аномальних відхилень		3
Кольоровість	15 ед.	20 град.	15 ед.	Прийнятний для споживачів без аномальних відхилень	15 ед.
Прозорість по Снелену, см	20	20	-	-	-
pH	6,5-8,5	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5	6,5 – 9,5	6,5 – 8,5
Лужність, мг-екв/л	0,5-6,5	0,5-6,5	-	-	-
Вміст солей, загальна мінералізація (сухий залишок), мг/л	100-1000	100-1000	-	Вода не повинна бути агресивною	500
Магній, мг/л	10-80	10-80	-	-	-
Залізо, мг/л	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3
Азот амонійний, мг/л	0,5	2	1,5	0,5	-
Нітрити, мг/л	0,5	3,3	3	0,5	1
Нітрати, мг/л	45	45	50	50	44,3
Хлориди, мг/л	250	350	250	250	250
Сульфати, мг/л	250	500	250	250	250
Окислення перманганатне, мгО/л	4	4	-	5	-
Розчинений кисень, мг/л	6	6	-	80-120%	-
БСК-5, мг/л	3	3	3	3	-
ХСК, мг/л	15	15	-	-	-
Феноли, мг/л	0,001	0,001	-	0,005	0,001
Марганець, мг/л	0,05	0,1	0,1	0,05	0,05
Хром (заг), мг/л	0,05	0,5	0,05	0,05	0,1
Мідь, мг/л	1	1	1	1	1,3
СПАР, мг/л	0,3	-	-	0,3	0,5
Нафтопродукти, мг/л	0,3	0,3	-	-	-

**Висновки.** Таким чином, запропонований показник індексу гідроекологічного потенціалу дає змогу:

- оцінити вплив народногосподарських об'єктів на водне середовище;
- виконати порівняння якості вод одного і того ж водного об'єкту вище і нижче місця скиду стічних вод (по течії);
- виконати порівняння якості вод різних водних об'єктів між собою, незалежно від тих забруднюючих речовин, які в них присутні;
- оцінити динаміку змін якості водних об'єктів в часі;
- виявити якісну складову гідроекологічного потенціалу;
- оцінювати фонові якісні показники природних водних об'єктів;
- порівнювати якісний стан поверхневих вод різної чистоти, у тому числі заповідних, рекреаційних, рибогосподарських та іншого призначення водних об'єктів;
- виявляти багаторічні тенденції змін якості природних вод, базуючись на даних державного екологічного моніторингу;
- оцінювати внутрішньорічну динаміку природних змін якості водних об'єктів, узгоджувати динаміку антропогенного навантаження;
- розраховувати рівень самоочищення водних об'єктів, їх здатність до перетворення забруднюючих речовин в умовах постійного техногенного навантаження;
- визначати величину максимально можливого антропогенного навантаження;
- здійснювати гідроекологічний прогноз;
- моделювати та картувати гідроекологічну ситуацію та ін.

Запропонований показник дає можливість використання простого методу встановлення пріоритетів, тобто певні райони чи ділянки гідроекосистем, які відповідають визначеним стандартам якості навколишнього середовища, без подальшого втручання можуть вважатись еталонними, у той час як інші ділянки гідроекосистем можуть ранжуватись і оцінюватись в залежності від знаку і величини ІГЕП.

### Література

1. Архипова Л.М. Оцінка гідроекологічного потенціалу басейну ріки Свіча в районі розробки нафтогазових родовищ / Л.М. Архипова // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2008. – № 2(18). – С.17-20.
2. Архипова Л.М. Екологічні аспекти оцінки якості природних вод / Л.М. Архипова // II-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю (Екологія/Ecology-2009) : зб. наук. ст., Вінниця, 23-26 вересня 2009 року. – Вінниця : ФОП Данилюк, 2009 – 103-107 с.
3. Справочник по гидрохимии / под ред. д-ра геол.-минер. наук А.М.Никанорова. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 391 с.