

УДК 556.114

В.І. ВИШНЕВСЬКИЙ, С.А. ШЕВЧУК

КОРОТКОТЕРМІНОВЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ЯКІСНОГО СТАНУ ВОДИ В НИЖНІЙ ТЕЧІЇ Р. ІНГУЛЕЦЬ

***Анотація.** Якість води в нижній течії р. Інгулець найбільш залежить від водності річки та скидання в неї високомінералізованих шахтних вод з балки Свистунова. При цьому однозначна залежність між витратою води та її мінералізацією відсутня. Для розрахунку мінералізації води запропоновані залежності, в яких врахована попередня водність річки.*

***Ключові слова:** якість води, річка Інгулець, концентрація хлоридів, прогноз.*

Постановка проблеми

Річка Інгулець є однією з найпроблемніших, а можливо, найбільш проблемною з досить великих річок України. Такий стан річки насамперед зумовлений тим, що в басейні Інгульця розташоване одне з найбільших у світі родовищ залізної руди. Його існування спричинило утворення потужного гірничо-металургійного комплексу, до складу якого належить кілька залізорудних кар'єрів, шахт, гірничозбагачувальних комбінатів, металургійний комбінат «АрселорМіттал Кривий Ріг», велика кількість інших споріднених підприємств. До цього потрібно додати і саме місто Кривий Ріг, населення якого сягає 650 тис. осіб.

Важливою особливістю видобутку залізної руди в Кривому Розі є утворення великого обсягу шахтних вод, що мають дуже високу мінералізацію, яка в багатьох випадках більша за солоність морської води.

Скидання цих вод у р. Інгулець, а також відведення в річку інших стоків зумовлює те, що якість води нижче м. Кривий Ріг звичайно невисока. Водночас у нижній течії вода з річки забирається для потреб зрошення. Якість цієї води має бути контрольованою і відповідати іригаційним вимогам. У цьому разі важливим є прогнозування якості води, що дає змогу вносити корективи в регламент її забору.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблема водозабезпечення господарського комплексу в басейні Інгульця та якості води в цій річці перебувала і продовжує перебувати в полі зору багатьох дослідників [1–7]. Звичайно в цій проблемі виділяють дві складові. Першою є проблема забезпечення якісною водою м. Кривий Ріг, другою – проблема якості води на водозаборі Інгулецької зрошувальної системи. Зокрема, питанням якості води в м. Кривий Ріг присвячено колективну монографію фахівців Інституту геологічних наук НАНУ [2]. Значну увагу в цій праці приділено підземним водам, зокрема, їх впливу на Карачунівське водосховище. Близькими за об'єктом вивчення є праці [6–7]. У свою чергу, питанням якості води в нижній течії Інгульця присвячені праці [3–5].

Попри те, що увага до якості води в р. Інгулець значна, далеко не всі питання достатньо опрацьовані. З-поміж них насамперед потрібно виділити проблему прогнозування якості води в нижній течії річки. Важливо зазначити, що новий регламент її промивки, розпочатий у 2011 р., зумовив те, що раніше отримані результати вже не відповідають сучасним умовам.

Мета та завдання статті

Метою цього дослідження є розробка алгоритму прогнозу якості води в нижній течії р. Інгулець залежно від основних чинників. Основними завданнями є з'ясування особливостей водного режиму річки, регламенту скиду в неї рудникових вод, характеристик якості води тощо.

Вихідні дані

Інформаційною базою цього дослідження в основному слугували дані спостережень Державного агентства водних ресурсів і гідрометслужби за якістю та витратами води. Перелік постів спостережень, які існують на річці, подано в таблиці.

Мережа моніторингу за якістю води в басейні р. Інгулець

Пост	Підпорядкування	Відстань від гирла, км
с. Марто-Іванівка	Держводагентство	483
с. Олександро-Степанівка	Гідрометслужба	457
смт Петрово	Держводагентство	393
с. Іскрівка	Гідрометслужба	385
нижче впадіння р. Жовта	Держводагентство	373
Карачунівське водосховище	Держводагентство	336
м. Кривий Ріг	Гідрометслужба	332
вище впадіння балки Грушевата	Держводагентство	301
гирло обвідного каналу	Держводагентство	298
с. Андріївка	Держводагентство	269
с. Архангельське	Держводагентство	210
с. Калінінське	Держводагентство, Гідрометслужба	124
Інгулецька ЗС	Держводагентство	83

Особливістю наявної мережі є те, що в нижній течії р. Інгулець, де забирається вода для зрошення, витрати води не визначаються. Причиною є наявність підпору від моря, помітний вплив вітру, який спричинює згінно-нагінні явища. Інколи течія води тут зовсім відсутня.

Основою для досліджень стали дані про якісні характеристики і витрати води протягом 2011–2014 рр., тобто періоду реалізації нового регламенту промивки р. Інгулець та забору води в Інгулецьку зрошувальну систему.

Виклад основного матеріалу

Розгляд проблеми якості води в нижній течії р. Інгулець потребує висвітлення наявного в басейні річки водогосподарського комплексу.

Основним регулятором водного режиму р. Інгулець є Карачунівське водосховище, створене біля м. Кривий Ріг. Подача води до міста здійснюється двома каналами: Дніпро–Кривий Ріг і Дніпро–Інгулець. Особливістю їх експлуатації є необхідність підйому води на досить велику висоту, що потребує великої кількості електроенергії. Через це вода подається переважно для господарських потреб і лише частково для поліпшення екологічного стану річки.

Окрім того, що великий обсяг води подається до р. Інгулець, досить значний і забирається. Не рахуючи водозаборів у м. Кривий Ріг, найбільше забирається води Інгулецькою зрошувальною системою, водозбір якої розташований біля м. Снігурівка (рис. 1).



Рис. 1 – Основні об'єкти водогосподарського комплексу в басейні Інгульця:

1 – канал Дніпро–Інгулець, 2 – Карачунівське водосховище, 3 – Південне водосховище, 4 – канал Дніпро–Кривий Ріг, 5 – магістральний канал Інгулецької зрошувальної системи

Для мінімізації негативного впливу високомінералізованих шахтних вод на екосистему річки, а головне, на якість води в поливний період здійснюється певний регламент їх накопичення та скиду. Протягом більшої частини року забруднена вода акумулювалася і продовжує акумулюватися в накопичувачах. Особливе місце поміж них займає ставок-накопичувач у балці Свистунова, який розташований у південній частині Кривого Рогу. Його об'єм становить 12 млн м³. Мінералізація води у ставку звичайно становить 35–40 г/дм³. Так, у пробі води, що відібрана 24.04.2015, сухий залишок становив 36061 мг/дм³, концентрація хлоридів 21321 мг/дм³.

Місце скиду зі ставка розташовано на південній околиці с. Новоселівка, координати: 47°46'05" пн. ш. і 33°15'18" сх. д. Скид води виконується в холодний період року витратою близько 0,5 м³/с. За цим скид припиняється, натомість починається промивка Інгульця шляхом скиду води з Карачунівського водосховища.

Найближчим до місця скиду з балки Свистунова пунктом спостережень за якістю води є Андріївка, розташована на 34 км нижче скиду. За даними спостережень, мінералізація води на цьому посту коливається в дуже широких межах: за відсутності скидів і великій водності Інгульця вона приблизно становить 1 г/дм³, сягаючи при скидах 6–7 г/дм³.

Коли мінералізація велика, найбільше в ній хлоридів – відповідно до складу шахтних вод та їх складу у балці Свистунова. У зв'язку з цим концентрацію хлоридів часто використовують як головний показник якості води в нижній течії Інгульця.

Від якості води на посту Андріївка залежить і якість води на водозаборі Інгулецької ЗС біля м. Снігурівка. Отже, ці дані можна використовувати для прогнозування.

Наявні дані за якістю води показують, що час добігання мінімумів і максимумів концентрації хлоридів між постами Андріївка і Снігурівка змінюється від 10 до 50 діб і навіть більше. Основною причиною є відмінність у витратах води в річці: при великих витратах час добігання зменшується і навпаки.

Складність прогнозування якості води в нижній течії Інгульця зумовлена тим, що її залежність від витрат води неоднозначна. Концентрація хлоридів та інших показників залежить не лише від водності Інгульця, а й від того, яка фаза (збільшення чи зменшення водності) спостерігається. Навесні, коли водність зростає, концентрація хлоридів більша, ніж у другій половині іригаційного періоду, коли річка вже промита. Це, зокрема, можна бачити на рис. 2, на якому показані зміни витрат води і концентрації хлоридів на посту Андріївка протягом періоду з 1 квітня по 30 вересня 2011 р. Як видно, для одних і тих же витрат води концентрація хлоридів може різнитися у два або навіть два з половиною рази. Якщо ж будувати зазначену залежність для всього року, то вона є значно складнішою через вплив скидів з балки Свистунова.

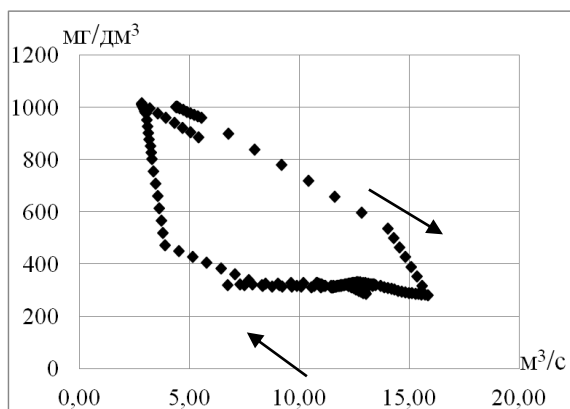


Рис. 2 – Неоднозначна залежність між витратами води і концентрацією хлоридів на посту Андріївка протягом 30.04.2011–30.09.2011 при зростанні та зменшенні водності р. Інгулець

Наведені дані показують, що для встановлення залежності якості води від витрат води необхідно враховувати витрати за попередній період.

Основну увагу приділено періоду з 1 квітня до 1 жовтня, коли вода в нижній течії Інгульця забирається або може забиратися для зрошення.

Для встановлення залежності між концентрацією хлоридів і витратами води на посту Андріївка дані про концентрацію хлоридів порівнювалися з витратами води за 5 попередніх діб або всю попередню декаду. Встановлено, що в другому випадку тіснота залежності є більшою (рис. 3).

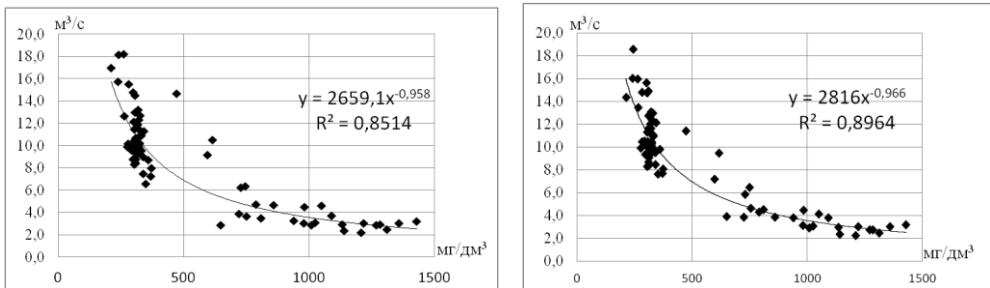


Рис. 3 – Обернена залежність між витратами води і концентрацією хлоридів на посту Андріївка: ліворуч – середні витрати за 5 діб перед вимірюванням хлоридів, праворуч – за декаду

Як видно, між концентрацією хлоридів і витратами води протягом іригаційного періоду існує степенева залежність.

Наступним кроком досліджень став пошук більш тісної аналітичної залежності шляхом врахування більшої кількості аргументів. Для цього використано регресійний аналіз. Враховувався факт того, що залежність між витратами води і концентрацією хлоридів є нелінійною. За цих умов наявна у програмі excel можливість виконання розрахунків за лінійною залежністю, вочевидь, не могла дати гарний результат. У зв'язку з цим вихідні значення витрат води спочатку були розраховані з використанням степеневої залежності, а саме тієї, в якій значення витрат води було взято в степені мінус 0,966. Так, середньому значенню витрат води протягом 1–10 квітня 2011 р. $Q = 4,47 \text{ м}^3/\text{с}$ відповідає значення степеневої функції $4,47^{-0,966} = 0,237$.

Отримане рівняння має вигляд

$$Y = 2237,8 (X_1)^{-0,966} + 1096,7 (X_2)^{-0,966} - 10,4,$$

де X_1 і X_2 – середні витрати води за декаду і дві декади до дня вимірів концентрації хлоридів.

Коефіцієнт кореляції цієї залежності дорівнює 0,965. Тіснота залежності з першим аргументом є більшою, ніж з другим: стандартна похибка становить відповідно 194 і 199, відносна – 0,087 і 0,181. Порівняння фактичних і розрахованих значень для періоду з 1 квітня по 1 жовтня 2011–2014 рр. подано на рис. 4.

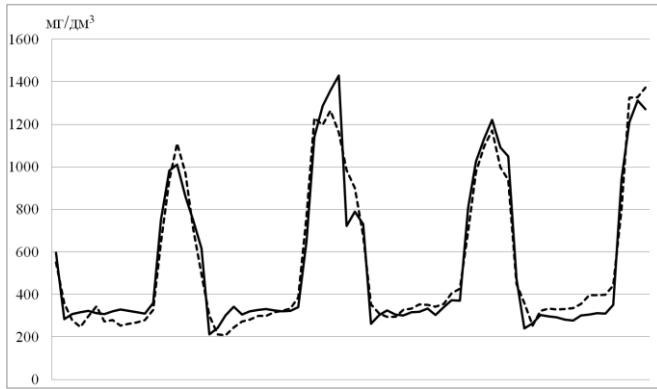


Рис. 4 – Фактичні (суцільна лінія) і розраховані (пунктирна) значення хлоридів на посту Андріївка залежно від середніх витрат за декаду і дві декади до дати їх вимірів

Врахування водності річки з більшою завчасністю дає змогу отримати ще більш тісну залежність, але несуттєво.

Хоча розрахункові значення у цілому добре відповідають фактичним, у них міститься певна відмінність. Зокрема, можна побачити відмінності в часі настання мінімальних значень. Уникнути цього при застосуванні використаного методу неможливо, адже швидкість добігання мінімумів і максимумів концентрації хлоридів істотно різна. Уточнити рівняння практично неможливо і при використанні якогось третього аргументу. Разом з тим, це й не дуже важливо, адже при невеликій мінералізації води вона не являє загрози для стану поливних земель.

Подібним чином виконано пошук залежності концентрації хлоридів і для поста Снігурівка. При цьому враховано час добігання води від поста Андріївка. Встановлено, що водність р. Інгулець на цьому посту за попередню декаду до дати вимірів концентрації хлоридів у Снігурівці не впливає. Отже, пошук залежності виконаний для двох і більше декад, що передували вимірам концентрації хлоридів. Окрім того, значна затримка впливу скидів з балки Свистунова визначила те, що період, для якого здійснювався пошук, обмежено з 1 травня до 1 жовтня. Як і в попередньому випадку, наявність ступеневої залежності між концентрацією хлоридів і витратами води зумовила необхідність попереднього перетворення вихідних даних з використанням ступеневої залежності. У цьому разі найкраща відповідність отримана для залежності $x^{-1,76}$. Застосування регресійного аналізу дало змогу отримати таке рівняння:

$$Y = 250,5 (X_1)^{-1,76} + 564,1 (X_2)^{-1,76} - 354,2 (X_3)^{-1,76} + 311,$$

де X_1 , X_2 і X_3 – середні витрати води на посту Андріївка за три, чотири і п'ять декад до дати вимірів концентрації хлоридів у Снігурівці.

Коефіцієнт кореляції отриманого рівняння становить 0,708. Тіснота залежності з усіма трьома аргументами виявилася приблизно однаковою: відносна похибка становить: 0,67; 0,35 і 0,52 (рис. 5).

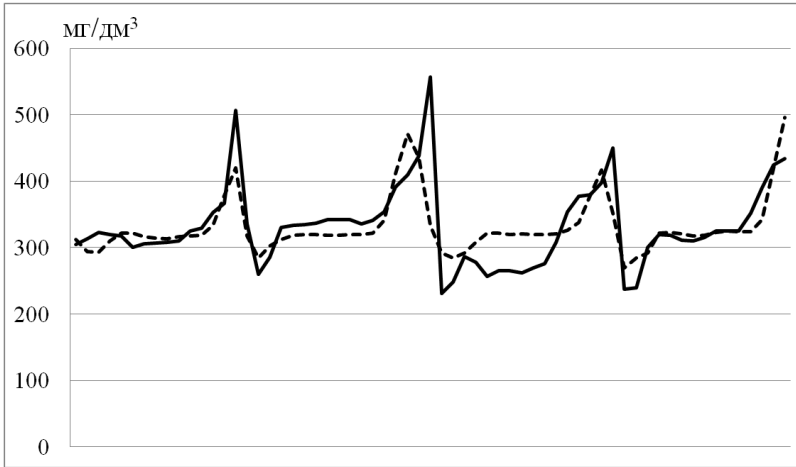


Рис. 5 – Фактичні (суцільна лінія) і розраховані (пунктирна) значення хлоридів на посту Снігурівка в залежності від середніх витрат води за три, чотири і п'ять декад до дати їх вимірів

Як видно, отриманий результат помітно гірший, ніж на посту Андріївка. Пояснити це можна тим, що пошук залежності виконувався для далеко розташованих пунктів спостережень.

Разом з тим, існує інша можливість прогнозу концентрації хлоридів у Снігурівці за їх концентрацією в Андріївці. Вона побудована за даними відповідних максимумів і мінімумів. У цьому разі тіснота зв'язку є дуже значною (рис. 6).

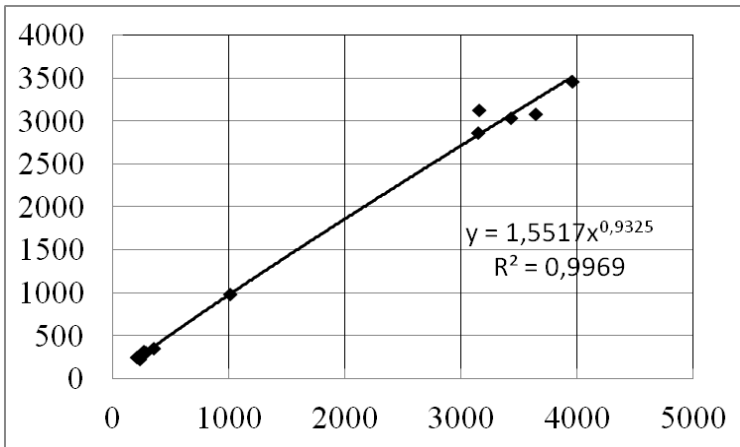


Рис. 6 – Графік залежності між концентрацією хлоридів на посту Снігурівка від значень на посту Андріївка

Як видно, коливання концентрацій на посту Снігурівка, порівняно з даними на посту Андріївка, дещо згладжені. Коли в Андріївці концентрація хлоридів становить 4000 мг/дм³, у Снігурівці вона приблизно становить 3500 мг/дм³.

Можливість практичного використання цієї залежності полягає у простоті визначень концентрації хлоридів у воді та досить великому часі добігання між зазначеними пунктами спостережень.

Висновки

Якісний стан води в нижній течії р. Інгулець найбільше залежить від її водності та скиду зі ставка-накопичувача в балці Свистунова. Після припинення скидів якість води істотно поліпшується. При цьому в першу половину періоду, коли скиди відсутні, концентрація хлоридів є більшою, ніж у другу. Існує можливість прогнозування концентрації хлоридів у нижній течії Інгульця за даними про витрати води і концентрацію хлоридів на посту Андріївка. Використання отриманих залежностей дає змогу вносити корективи в експлуатаційний режим Інгулецької ЗС, водозабір якої розташований біля м. Снігурівка.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бурлака В.О. Промивка р. Інгулець у 2011 р. / В.О. Бурлака // Меліорація і водне господарство, 2011. – Вип. 5 (95). – С. 17–18.
2. Гідроекосистема Криворізького басейну – стан і напрямки поліпшення / І.Д. Багрій, П.Ф. Гожик, Е.В. Самоткал та ін. – К.: Фенікс, 2005. – 216 с.
3. Землі Інгулецької зрошувальної системи: стан та ефективне використання / За наук. ред. В.О. Ушкаренка та Р.А. Вожегової. – К.: Аграр. Наука, 2010. – 352 с.
4. Козленко Є.В. Вплив умов формування води Інгулецької зрошувальної системи на агрономічні та екологічні показники її якості / Є.В. Козленко // Зрошуване землеробство. – 2011. – № 56. – С. 164–171.
5. Меліорація води і агроландшафтів в басейні р. Інгулець / За наук. ред. В.А. Сташука і В.В. Морозова. – Херсон: Вид-во «Айлант», 2010. – 329 с.
6. Хільчевський В.К., Кравчинський Р.Л., Чунарьов О.В. Гідрохімічний режим та якість води Інгульця в умовах техногенезу / В.К. Хільчевський, Р.Л. Кравчинський, О.В. Чунарьов // – К.: Ніка-центр, 2012. – 180 с.
7. Шерстюк Н.П., Хільчевський В.К. Особливості гідрохімічних процесів у техногенних і природних водних об'єктах Кривбасу / Н.П. Шерстюк, В.К. Хільчевський // – Дніпропетровськ: Акцент, 2012. – 263 с .

Стаття надійшла до редакції 22.06.2015