

ВПЛИВ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВ НА СКРИНІНГОВІ ПОКАЗНИКИ РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕЧНОСТІ ВОДИ

Якименко Г.М.

Національний авіаційний університет
пр. Космонавта Комарова, 1, 02000, м. Київ
Національна енергетична компанія «Укренерго»
вул. Петлюри, 25, 01032, м. Київ
iakymenko_ann@ukr.net

Визначено основні джерела централізованого водопостачання Києва. Акцентовано на тому, що запобігання збільшенню дозового навантаження на населення Києва та Київської області є критично важливим. Обґрунтовано актуальність дослідження впливу метеорологічних умов на скринінгові показники радіаційної безпечності води. Дослідження проводились альфа-спектрометричним та бета-радіометричним методами. Точність використаних методик та достовірність досліджень підтверджені вдалим проходженням тесту МАГАТЕ «World-Wide Open Proficiency Test IAEA-TEL». Презентовано та проаналізовано результати п'ятирічних досліджень скринінгових показників поверхневої води. Прослідковано тренд до зменшення активності деснянської води за вмістом як альфа-випромінювачів, так і бета-випромінювачів. Виявлено, що у Дніпрі сумарна альфа-активність на 33% більша, ніж у Десні. Встановлено, що метеорологічні умови не спричиняють значних змін (понад відхилення в межах похибки) в сумарній альфа-активності дніпровської та деснянської води. Доведено залежність між метеорологічними умовами та сумарною бета-активністю поверхневої води: внаслідок випадіння понаднормової кількості опадів навесні й восени 2013 року та короткої метеорологічної весни середньорічна сумарна бета-активність дніпровської води зросла на 65%. Максимальний вміст β -випромінювачів ($0,83 \pm 0,15$ Бк/дм³) у дніпровській воді зафіксовано в пік весняного водопілля 29 квітня 2013 року. Встановлено, що навіть за найбільш несприятливих метеорологічних умов річки Дніпро та Десна можуть використовуватись як джерела централізованого питного водопостачання міста Київ відповідно до вимог радіаційної безпечності ДСанПіН 2.2.4.171-10. *Ключові слова:* поверхневі води, джерела водопостачання, скринінгові показники, загальна активність, α -випромінювачі, β -випромінювачі, радіаційна безпечність води.

Meteorological conditions influence on radiation safety screening indices of water. Yakymenko A.

The main sources of Kyiv centralized water supply were identified. Emphasis was placed on the fact that preventing in the population radiation dose increase of Kyiv and Kyiv region is critical. The relevance of the meteorological conditions influence research on the radiation safety screening indices of water was justified. The studies were conducted by alpha-spectrometric and beta-radiometric methods. The accuracy of these methods and the reliability of the research was confirmed by the successful participation of the World-Wide Open Proficiency Test IAEA-TEL. The results of a five-years study of surface water screening indices were presented and analyzed. There is a trend to reduce the alpha and beta emitters activity in Desna water. It was measured that the gross alpha activity in the Dnieper is 33% higher than in the Desna. It was established that meteorological conditions do not cause significant changes (within the margin of error) in the gross alpha activity of the Dnieper and Desna waters. The dependence between meteorological conditions and gross beta activity of surface water has been proved: due to excessive precipitation in spring and autumn 2013 and short meteorological spring, the average annual gross beta activity of Dnieper water increased by 65%. The maximum content of β -emitters (0.83 ± 0.15 Bq/dm³) in the Dnieper water was recorded at the peak of the spring flood on April 29, 2013. It is established that even in the most unfavorable meteorological conditions, the rivers Dnipro and Desna can be used as sources of centralized drinking water supply of Kyiv in accordance with the requirements of radiation safety DSanPiN 2.2.4.171-10. *Key words:* surface waters, water supply sources, screening indices, gross activity, α -emitters, β -emitters, radiation safety of water.

Постановка проблеми. Київ є найбільшим споживачем питної води в Україні: щороку для потреб міста з природних водних об'єктів забирається до 350 млн м³ води. Її середньодобовий обсяг, який надається місту монополістом централізованого водопостачання «Київводоканалом», становить 600–800 тис. м³. Централізоване водопостачання для столиці здійснюється з трьох джерел: р. Десна, р. Дніпро та артезіанські свердловини крейдяного і юрського водоносних горизонтів. Середньорічне розподілення між джерелами водопостачання є таким: переважна частина питної води – до 87% – надходить із поверхневих джерел, причому до 70% – з р. Десна; внесок підземних (артезіанських) вод не перевищує 13% [1].

Згідно з вимогами ДСанПіН 2.2.4-171-10 [2] та Керівництва ВОЗ з контролю якості питної води [3], під час гігієнічної оцінки радіаційної безпечності води в місцях поверхневих водозаборів насамперед визначаються скринінгові показники – питомі сумарні альфа- і бета-активності.

За умови неперевищення максимально допустимих значень даних показників (в Україні лімітом є 0,1 Бк/дм³ для $\Sigma\alpha$ -активності та 1,0 Бк/дм³ – для $\Sigma\beta$ -активності) вода визнається придатною для подальшої водопідготовки до води питної. У цьому разі не треба очищувати воду від радіонуклідів.

Перевищення максимально допустимого рівня показників радіаційної безпечності є значною

загрозою здоров'ю населення майже п'ятимільйонного мегаполісу, особливо тієї частини, що вже постраждала внаслідок Чорнобильської катастрофи. Отже, запобігання накопиченню радіонуклідів у кількостях, більших за визначені санітарними нормами МОЗ України, є критично важливим.

Актуальність дослідження. Як відомо, останні 50 років відбуваються масштабні кліматичні зміни на планеті: в Україні вони вже призвели до значного скорочення територій Полісся та руху межі степової й лісостепової зони на 200 км на північ.

Нині ці зміни вже захопили території із «чорнобильським» слідом: радіоактивно забруднені землі від Чорнобиля до Києва змінили приналежність із Полісся на Лісостеп. Це призвело до зменшення водного балансу області, зниження рівня води в річках та водосховищах, зростання потреби в поливній воді тощо. Такі швидкі зміни в кліматі України викликають значні флуктуації температурного режиму та кількості опадів і можуть спричинити в окремі сезони різкі збільшення концентрацій радіонуклідів у воді річок та водосховищ, що розташовані на радіоактивно «брудних» територіях.

Ці події можуть негативно впливати на аграрну галузь, сферу постачання питної й поливної води й, як наслідок, створюються ризики зростання дозового навантаження на 7 млн населення: 5 млн киян та 2 млн мешканців Київської області [4–6]. Саме тому проведено дослідження впливу метеорологічних умов на зміну рівня сумарної альфа- та бета-активності води, яка є основною сировиною для виробництва води питної в столиці України, є одним із найактуальніших та мало досліджених напрямів сучасної радіоекології.

Об'єкт дослідження – усереднені проби води р. Дніпро та р. Десна в місцях спеціалізованих водозаборів. Дніпровський питний водозабір розташований на 2 км нижче шлюзу Київської ГЕС на правому березі Дніпра, Деснянський – на лівому березі Десни за 3,5 км від гирла. Дослідження проводились протягом 2010–2014 рр.

$\Sigma\alpha$ -активність визначалась 1 раз на місяць, $\Sigma\beta$ -активність – 1 раз на тиждень. Проби відбирались відповідно до вимог нормативних документів, при-

чому загальний об'єм проби становив 5 дм³, з якого відокремлювали аліквоти у 1 дм³ та 0,1 дм³ [7; 8].

Сумарну альфа-активність визначали за ДСТУ ISO 9696-2001 [9]: 100 см³ води випарювали до сухого залишку. Осад розчиняли, переносили в пластикову віалу місткістю 20 см³. Вимірювання проводились на альфа-бета-спектрометрі Quantulus 1220 після введення у пробу сцинтилятора OptiPhase‘HighSafe’3. Похибка вимірювання не перевищувала 10%.

Сумарну бета-активність води встановлювали за методикою МВВ 081/12-0078-03 [10]: 1 дм³ води випарювали до сухого залишку. Вимірювання кількості імпульсів проводились на бета-радіометрі УМФ-1500М. Похибка вимірювання не перевищувала 20%.

Точність використаних методик та достовірність досліджень автор статті підтвердив вдалим проходженням тесту МАГАТЕ «World-Wide Open Proficiency Test IAEA-TEL» два роки поспіль.

Виклад основного матеріалу. На діаграмах (рис. 1, 2) презентовані результати спостережень за скрінінговими показниками радіаційної безпечності води поверхневих джерел водопостачання за 5 послідовних років (2010–2014 рр.).

Середня за період спостережень $\Sigma\alpha$ -активність води – 0,015±0,002 Бк/дм³. Протягом трьох років спостерігались незначні відхилення середньорічних значень: від 0,001±0,001 Бк/дм³. Лише у 2014 році середньорічна сумарна альфа-активність зменшилась до 0,011±0,001 Бк/дм³.

У Дніпрі цей скрінінговий показник за весь період спостережень мав середнє значення на 33% більше, ніж у Десні. У дніпровській воді зафіксовані значні коливання показника: при середньому за період спостережень рівні 0,020±0,002 Бк/дм³, у 2014 році простежувалось зменшення $\Sigma\alpha$ -активності майже у два рази – до 0,011±0,001 Бк/дм³. Таким чином, у 2014 році в обох ріках спостерігалось значне зменшення загального вмісту альфа-випромінювачів.

З огляду на те, що ліміт допустимої санітарними правилами сумарної альфа-активності становить 0,100 Бк/дм³, та виміряні активності не перевищують 0,050±0,002 Бк/дм³ навіть у періоди водопілля, дес-

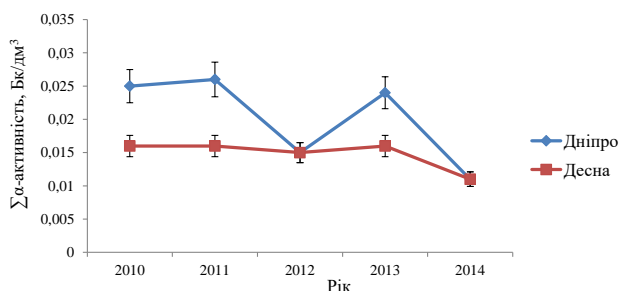


Рис. 1. Питома сумарна альфа-активність у воді р. Десна та р. Дніпро

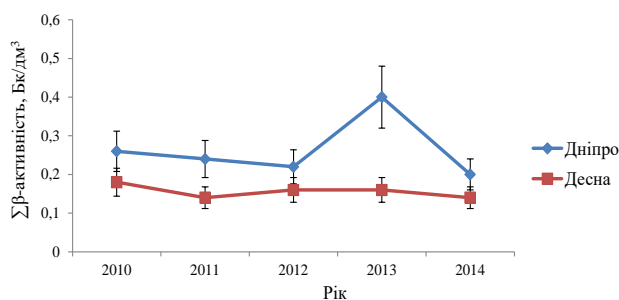


Рис. 2. Питома сумарна бета-активність у воді р. Десна та р. Дніпро

нянська та дніпровська вода в межах Києва задовольняє вимоги ДСанПіН 2.2.4-171-10.

Аналогічна тенденція прослідковується й при дослідженнях середньорічної $\Sigma\beta$ -активності: середня за п'ятирічний період спостережень бета-активність – $0,16 \pm 0,03$ Бк/дм³: від $0,14 \pm 0,02$ Бк/дм³ у 2014 році до $0,18 \pm 0,03$ Бк/дм³ у 2010 році. Тобто є тренд до зменшення активності деснянської води як за вмістом альфа-випромінювачів, так і за вмістом бета-випромінювачів.

У дніпровській воді в середньому за період спостережень значенні $0,26 \pm 0,05$ Бк/дм³, у 2013 році зафіксовано різке та нетипове зростання вмісту β -випромінювачів на 65%.

За винятком 2013 року, прослідковується тренд до поступового зменшення цього показника – на 8–10% щороку: з $0,26 \pm 0,05$ Бк/дм³ у 2010 р. до $0,20 \pm 0,04$ Бк/дм³ у 2014 р. Найбільш вірогідно, що відбувається або поступова фіксація бета-випромінювачів у нерозчинні сполуки й осадження цих сполук на дно водойм, або винос розчинних форм радіоактивних елементів за течією.

Для розуміння причин різкого зростання показника проаналізуємо динаміку сумарної бета-активності дніпровської води за місяцями на прикладі типового 2012 року та аномального (зафіксоване значне зростання показника) 2013 року (рис. 3).

Згідно з багаторічними спостереженнями, є два періоди зростання вмісту радіонуклідів у поверхневій воді: під час весняного водопілля (зазвичай із першої декади березня до кінця травня) та при

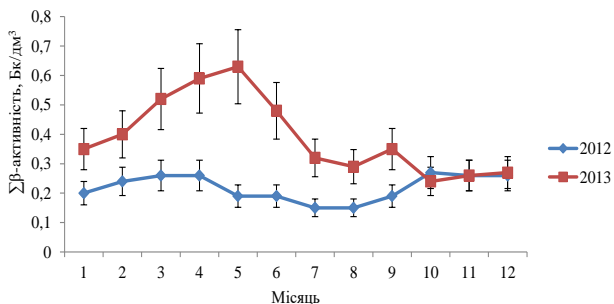


Рис. 3. Питома сумарна бета-активність у воді р. Дніпро за місяцями

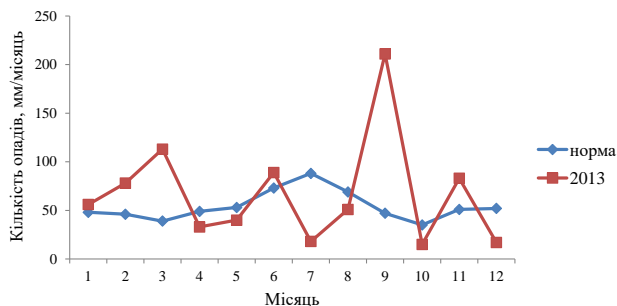


Рис. 4. Місячна кількість опадів у 2013 р.

стіканні осінніх атмосферних опадів із річкового басейну до річок (з середини вересня до середини жовтня). У цей час погіршується якість води не лише за показниками радіаційної безпечності, а й за фізико-хімічними: спостерігається збільшення забарвленості, каламутності, перманганатної окиснюваності, вмісту заліза тощо. У формуванні цієї ситуації значну роль грає стік боліт і лісів, розташованих вище Київського водосховища – в зоні безпосереднього впливу Чорнобильської атомної станції. До того ж надходження паводкових вод призводить до підйому радіоактивного мулу «чорнобильського» походження з дна приток Дніпра та Київського водосховища. Таким чином відбувається міграція радіонуклідів до верхніх шарів дніпровської води як із дна водойм і водотоків, так і з інших компонентів навколишнього природного середовища [2; 11–13].

На відміну від 2010–2012 рр., у 2013 р. спостерігалось значне зростання вмісту β -випромінювачів у дніпровській воді з 1 квітня ($0,62 \pm 0,11$ Бк/дм³) до 3 червня ($0,58 \pm 0,11$ Бк/дм³) із максимумом 29 квітня ($0,83 \pm 0,15$ Бк/дм³). Результати досліджень у 2012–2013 рр. наведені у табл. 1.

Проаналізуємо причини підвищення $\Sigma\beta$ -активності в цей період. По-перше, взимку 2012–2013 р. випала аномальна кількість опадів – на 120 мм більша за норму (рис. 4). До того ж, у березні 2013 р. місячна кількість опадів перевищувала кліматичну норму на 74 мм (у 2,9 раза) та становила 113 мм.

По-друге, за даними Центральної геофізичної обсерваторії, у 2013 р. була найкоротша за всю історію спостережень метеорологічна весна, яка тривала лише 26 днів, із холодним березнем (середня температура нижча за кліматичну норму на $2,4^{\circ}\text{C}$) та спекотним квітнем (місячна температура повітря вища за кліматичну норму на $1,6^{\circ}\text{C}$). Температура у травні також перевищувала звичайну на $3,6^{\circ}\text{C}$ (рис. 5).

Такі природні умови спричинили пізні, порівняно зі звичайним, та різке танення снігу й одночасний стік великої кількості води у дніпровський каскад водосховищ. Наприкінці березня – на початку квітня 2013 р. почалось весняне водопілля, яке супроводжувалось активним підйомом рівня води в Київському водосховищі з другої половини квітня та протягом усього травня [14]. Саме в цей час

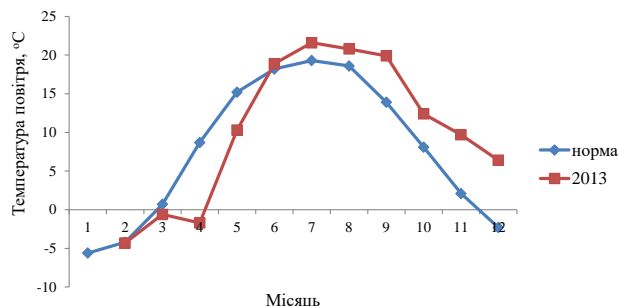


Рис. 5. Середньомісячна температура у 2013 р.

Питома сумарна бета-активність у воді р. Дніпро у 2012–2013 роках, Бк/дм³

2012 р.		2013 р.	
Дата	Σβ-активність, Бк/дм ³	дата	Σβ-активність, Бк/дм ³
03.01.12	0,26±0,05	02.01.13	0,33±0,06
10.01.12	0,20±0,04	08.01.13	0,29±0,05
16.01.12	0,29±0,05	14.01.13	0,36±0,07
19.01.12	0,12±0,02	21.01.13	0,46±0,09
26.01.12	0,11±0,02	28.01.13	0,29±0,05
02.02.12	0,25±0,05	04.02.13	0,44±0,08
09.02.12	0,23±0,04	11.02.13	0,31±0,06
16.02.12	0,22±0,04	18.02.13	0,36±0,07
20.02.12	0,30±0,06	25.02.13	0,47±0,09
27.02.12	0,22±0,04	04.03.13	0,40±0,07
03.03.12	0,19±0,04	12.03.13	0,53±0,10
13.03.12	0,20±0,04	18.03.13	0,52±0,10
19.03.12	0,34±0,07	28.03.13	0,64±0,12
26.03.12	0,29±0,05	01.04.13	0,62±0,11
02.04.12	0,17±0,03	08.04.13	0,74±0,13
09.04.12	0,27±0,06	16.04.13	0,33±0,06
17.04.12	0,28±0,06	18.04.13	0,35±0,07
23.04.12	0,31±0,06	22.04.13	0,57±0,11
03.05.12	0,24±0,05	25.04.13	0,66±0,12
08.05.12	0,22±0,04	29.04.13	0,83±0,15
14.05.12	0,14±0,03	01.05.13	0,63±0,12
21.05.12	0,23±0,04	07.05.13	0,53±0,10
28.05.12	0,11±0,02	09.05.13	0,76±0,14
05.06.12	0,19±0,03	13.05.13	0,66±0,12
11.06.12	0,19±0,03	16.05.13	0,54±0,10
18.06.12	0,26±0,05	20.05.13	0,61±0,11
26.06.12	0,12±0,02	23.05.13	0,57±0,11
02.07.12	0,21±0,04	27.05.13	0,65±0,12
09.07.12	0,11±0,02	30.05.13	0,70±0,13
16.07.12	0,12±0,02	01.06.13	0,64±0,12
23.07.12	0,20±0,04	03.06.13	0,58±0,11
30.07.12	0,13±0,03	10.06.13	0,45±0,08
06.08.12	0,11±0,02	17.06.13	0,42±0,08
13.08.12	0,20±0,04	25.06.13	0,31±0,06
20.08.12	0,18±0,03	01.07.13	0,25±0,05
27.08.12	0,12±0,02	08.07.13	0,31±0,07
03.09.12	0,18±0,04	15.07.13	0,29±0,06
10.09.12	0,27±0,05	22.07.13	0,39±0,07
17.09.12	0,13±0,03	29.07.13	0,35±0,07
24.09.12	0,19±0,03	06.08.13	0,41±0,08
01.10.12	0,26±0,05	15.08.13	0,30±0,06
08.10.12	0,30±0,06	20.08.13	0,19±0,03
15.10.12	0,17±0,03	29.08.13	0,24±0,04
22.10.12	0,31±0,06	03.09.13	0,51±0,10
29.10.12	0,31±0,06	09.09.13	0,45±0,08
05.11.12	0,25±0,05	17.09.13	0,25±0,05
12.11.12	0,35±0,07	24.09.13	0,20±0,04
19.11.12	0,19±0,03	01.10.13	0,20±0,04
26.11.12	0,23±0,04	07.10.13	0,22±0,04
03.12.12	0,28±0,05	14.07.13	0,26±0,05
10.12.12	0,18±0,03	22.10.13	0,26±0,05
17.12.12	0,27±0,06	29.10.13	0,26±0,05

Продовження таблиці 1

2012 р.		2013 р.	
Дата	$\Sigma\beta$ -активність, Бк/дм ³	дата	$\Sigma\beta$ -активність, Бк/дм ³
24.12.12	0,32±0,07	04.11.13	0,21±0,04
		11.11.13	0,11±0,02
		18.11.13	0,39±0,07
		25.11.13	0,33±0,07
		02.12.13	0,18±0,03
		09.12.13	0,31±0,06
		16.12.13	0,31±0,06
		23.12.13	0,28±0,06

спостерігався максимум значень загальної бета-активності дніпровської води.

На графіку рис. 3 простежується й другий пік кривої сумарної бета-активності восени 2013 р. Тоді також випало аномально багато опадів, внаслідок чого було перевищено кліматичну норму у 4,5 раза. Центральною геофізичною лабораторією зафіксовано новий рекорд кількості опадів жовтня – 211 мм [14]. Отже, стік річкового басейну значно збільшився, відповідно, притік радіонуклідів до водойм зріс. Як наслідок, вміст водорозчинних форм β -випромінювачів у воді теж збільшився.

Проте навіть у пікові періоди, коли сумарна бета-активність зросла до 0,83±0,15 Бк/дм³, перевищень максимально допустимих рівнів (0,100 Бк/дм³) не відбувалось.

Таким чином, і Дніпро, і Десна можуть використовуватись як джерело централізованого водопостачання м. Київ без обмежень за скринінговими показниками радіаційної безпеки.

Головні висновки. Доведено гіпотезу про вплив метеорологічних умов на скринінгові показники радіаційної безпечності води на радіоактивно забруднених територіях.

Встановлено, що різке та значне зростання кількості опадів призводить до збільшення вмісту бета-випромінювачів у дніпровській воді.

Зафіксовано, що навіть за найбільш несприятливих метеорологічних умов сумарна альфа- та бета-активність води р. Дніпро та р. Десна не перевищують лімітів, встановлених державними гігієнічними правилами.

Література

1. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2012 році. Київ, 2013. 450 с.
2. ДСанПІН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. Київ : МОЗ України, 2013. 24 с.
3. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum. Geneva: World Health Organization, 2017. 631 p.
4. T. F. tocker et al. IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, 2013. 1535 p.
5. Міграція кліматичних зон на північ. URL: <https://landlord.ua/wp-content/page/pid-udarom-stykhii-iak-mihruui-klimatychni-zony-v-ukraini/> (дата звернення 14.06.2020)
6. Лялько В.І., Єлістратова Л.О., Кульбіда М.І., Апостолов О.А., Барабаш М.Б. Парниковий ефект і зміні клімату в Україні: оцінки та наслідки. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2015. № 6. С. 33–63.
7. Настанова гідрометеорологічним станціям і постам. Спостереження за радіоактивним забрудненням поверхневих вод суші і морських вод. Вип. 12. Ч. 2. Київ : Держгидромет України, 2010. 144 с.
8. ДСТУ ISO 5667-46-2001. Якість води. Відбирання проб: Настанови щодо відбирання проб води з річок та інших водотоків. Ч. 6. Київ : Держспоживстандарт України, 2002. 12 с.
9. ДСТУ ISO 9696-2001. Захист від радіації. Вимірювання альфа-активності у прісній воді. Метод концентрованого джерела. Київ : Держспоживстандарт України, 2003. 16 с.
10. МВВ № 081/12-0078-03. Методика виконання вимірювань питомої бета-активності питної води та вод джерел водопостачання. Київ : Київводоканал, 2003. 14 с.
11. Езловецкая И.С., Лавренчук И.Н. Оценка качества воды Днепра и Десны в местах крупных питьевых водозаборов. *Вода и водоочистные технологии*. 2014. № 1 (14). С. 19–27.
12. Якименко А.Н. Оценка качества воды Киевского водохранилища по показателям радиационной безопасности. *Химия и технология воды*. 2013. Т. 35. № 4 (234). С. 341–348.
13. Осадчий В.І. Гідрологічні чинники формування хімічного складу поверхневих вод. *Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту*. 2013. Вип. 265. С. 54–65.
14. Праці Центральної геофізичної обсерваторії / За ред. О.О. Косовця. Вип. 10 (24). Київ : Інтерпрес ЛТД, 2014. 104 с.