

ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ ЗМЕНШЕННЯ ВИПАРОВУВАННЯ ВОДИ З ПОВЕРХНІ ВІДКРИТИХ ВОДОЙМ

INNOVATIVE METHODS OF REDUCING THE EVAPORATION FROM SURFACES OF OPEN WATER BODIES

Гриців О.Б., ORCID ID: 0000-0003-4360-8772 (ТзОВ «Глобал інжиніринг консалтинг», м. Львів); **Регуш А.Я.**, к.т.н, доц., ORCID ID: 0000-0003-1427-4515 (Львівський національний університет природокористування); **Фасуляк В.Є.**, док. філософ., ORCID ID: 0000-0002-8734-0387 (Національний університет “Львівська політехніка”); **Осадчук Т.Ю.**, к.т.н., ORCID ID: 0000-0002-8686-7056 (Львівський національний університет природокористування); **Жук В.М.**, к.т.н., доц., ORCID ID: 0000-0002-2275-0799 (Національний університет “Львівська політехніка”)

Hrytsiv O.B., ORCID ID: 0000-0003-4360-8772 (Limited Liability Company «Global Engineering Consulting», Lviv); **Rehush A.Ya.**, CSc (Eng.), Assoc. prof., ORCID ID: 0000-0003-1427-4515 (Lviv National Environmental University); **Fasuliak V.Ye.**, PhD (Eng.), ORCID ID: 0000-0002-8734-0387 (Lviv Polytechnic National University); **Osadchuk T.Yu.**, CSc (Eng.), ORCID ID: 0000-0002-8686-7056 (Lviv National Environmental University); **Zhuk V.M.**, CSc (Eng.), Assoc. prof., ORCID ID: 0000-0002-2275-0799 (Lviv Polytechnic National University)

Представлено огляд інноваційних методів зменшення випаровування води з поверхні відкритих водойм. Вказано, що дефіцит водних ресурсів зумовлює розробку нових економічних методів зменшення випаровування. Серед існуючих методів заслуговує уваги використання ультратонких плівок спеціальних добавок, які нерозчинні у воді. Показано, що полідиметилсилоксани можна використовувати як альтернативну речовину для створення таких плівок.

The purpose of the work is a critical analysis of existing methods of reducing water evaporation from water bodies and the selection of the most promising method for practical implementation. Systematic studies that confirmed the economic efficiency of use for reservoirs were conducted in Australia. The effect of reducing evaporation protective coatings was studied based on the use of suspended films and floating plates. These structures reduce evaporation by blocking solar radiation on the water surface. As a result, the temperature of the water surface, and therefore evaporation, decreases. The

disadvantage of modular systems is the partial coverage of the water surface, which allows water to evaporate through uncovered gaps. An alternative method of covering water surfaces is the use of balls to generate a shadow.

To reduce evaporation, ultra-thin films of special additives that are not soluble in water are also used. Among the substances most often considered were surfactants, fatty alcohols, siloxanes, ethers. From the point of view of environmental safety, a number of advantages of using such ultra-thin films have been noted. The effect of additives varies widely: from 16 to 63% and depends on both the type of additive and the thickness of the film. An important practical disadvantage of fatty alcohols is their relatively high cost and low stability.

To date, research is being conducted on a method of reducing evaporation based on ultrathin films of polydimethylsiloxane. The authors of the paper obtained the dependences for determining the mass transfer coefficients β_p , during evaporation from the surface of water protected by ultra-thin films of polydimethylsiloxanes PDMS-100 and PDMS-200 with a thickness of 1 μm . Dependencies of the mass transfer coefficient β_p , obtained as a function of the surface temperature of water. The obtained dependences make it possible to carry out a predictive assessment of water losses during evaporation from open water bodies.

Ключові слова: зменшення випаровування, підвісні плівки, плаваючі пластини, ультратонкі плівки, полідиметилсилоксан.
evaporation reduction, suspended films, floating plates, ultrathin films, polydimethylsiloxane.

Вступ. Незважаючи на те, що понад 70% поверхні Землі вкрито водою, глобальною проблемою людства є дефіцит прісної води, яка складає лише 2,5% від усіх водних запасів. Розподіл прісної води на планеті нерівномірний. Значна частина прісних вод (близько 70%) зосереджена в льодовиках Антарктиди та Гренландії; велика кількість присутня у вигляді ґрунтової вологи або лежить у глибоких підземних горизонтах і є недоступною для використання людиною. Лише близько 1% світової прісної води (~0,007% усієї води на Землі) доступні для безпосереднього використання людьми. *Незважаючи на те, що для забезпечення усіх фізіологічних потреб людини потрібно приблизно 40 літрів кондиціонованої води на добу, у 2018 році 2,3 млрд. людей відчували постійну нестачу питної води, а 3,6 млрд. зіткнулися з недостатнім доступом до неї принаймні один місяць на рік. За останні 20 років наземні запаси прісної води втрачаються зі швидкістю 1 см на рік. Очікується, що до 2050 року понад 5 млрд. мешканців будуть відчувати водний дефіцит [1].*

З метою реалізації заходів по зниженню дефіциту прісної води розвинуті держави світу запровадили концепцію інтегрованого управління водними

ресурсами (ІУВР) [2]. Це європейська модель управління, яка передбачає створення басейнових рад і планів управління річковими басейнами. В сучасному розумінні ІУВР є життєво важливим для досягнення довгострокового соціального, економічного та екологічного добробуту, забезпечення принципів «водної безпеки». Хоча більшість країн запровадили концепцію ІУВР, на сьогодні в світі залишаються 107 країн, які не досягли ефективного управління своїми водними ресурсами.

Географічний аспект розподілу запасів води в світі

Географія розподілу запасів води придатних для використання людиною заслуговує окремої уваги. Найбіднішим за ресурсами прісної води є Африканський континент (9% від загального світового запасу). Однак і ці ресурси розподілені нерівномірно. 54% загальних ресурсів води зосереджено в шістьох країнах Центральної і Західної Африки, а в двадцяти семи країнах континенту зосереджено лише 7% водних ресурсів. Нестача води в Латинській Америці та Карибському регіоні викликала низку проблем в сільському господарстві, гідроелектроенергетиці, видобутку корисних копалин. Значним дефіцитом тут є питна вода. Основні перешкоди у забезпеченні розподілу водних ресурсів пов'язані з бідністю, відсутністю басейнового регулювання та відповідних інвестицій. В арабському регіоні понад 85% населення живе в умовах дефіциту води. Вода настільки високо цінується в регіоні, що вона вважається окремою темою багатосторонніх дискусій між державами. Це зумовлено тим фактом, що понад дві третини ресурсів прісної води, перетинають один або декілька міжнародних кордонів. Однак спільних проєктів для економічної оцінки транскордонних вод у цьому регіоні не проводилось [3].

Найбільш цивілізований підхід поводження з водними ресурсами спостерігається на європейському континенті. Враховуючи специфічні історичні та економічні відносини в середині Європи виникла необхідність кооперації між країнами в галузі ефективного використання водних ресурсів. З цією метою створені транскордонні басейнові управління, які регулюють роботу організацій споживачів води в інтересах усіх держав [2].

Складна ситуація з водними ресурсами посилюється світовою проблемою глобального потепління. Тенденція до підвищення середньорічної температури спричиняє до істотного порушення водного балансу територій та водних об'єктів за рахунок суттєвого зростання втрат води на випаровування [4]. Тому проблема зростання втрат води на випаровування, оцінки інтенсивності випаровування та його впливу на водні баланси територій є предметом широкого наукового аналізу.

Сучасний стан водних ресурсів в Україні і проблема втрат води з випаровуванням

Україна серед європейських країн належить до маловодних держав. Статистичні дані говорять, що загальні ресурси річкового стоку України в середній за водністю рік оцінюються у 209,8 км³. У маловодний (95 %) рік

цей показник відповідно становить 121,7 км³. Обсяг місцевого водного стоку в середній за водністю рік становить 52,4 км³, а в дуже маловодний – 29,7 км³. Експлуатаційні запаси підземних вод визначаються в обсязі 5,7 км³, з них забір становить 2,6 км³ на рік, а прогнозні запаси оцінюються у 22,5 км³ [5]. У той самий час прогнозні розрахунки вказують на значне зростання втрат водних ресурсів на випаровування в найближчій перспективі.

Для кількісної оцінки наведемо приклад по випаровуванню води в Розтоцькому ландшафтньо-геофізичному стаціонарі. За період з 2010 р. по 2012 р. річна сумарна висота шару випаровування з природних водойм в межах Розточчя збільшилась на 41мм/рік або на 8,9% щороку [6].

Іншим показовим прикладом є вплив випаровування на водний баланс Куяльницького лиману. Тут спостерігається суттєве зменшення річного стоку за рахунок випаровування (до 40 %) у маловодні роки 75 % забезпеченості [7].

Розрахунки об'ємів випаровування, виконані для водної поверхні регульовальних басейнів зрошувальної системи Царичанського міжрайонного управління водного господарства, показали, що за три літні місяці з басейнів загальною площею 20,6 тис. м² і об'ємом води 82 тис.м³ випаровується близько 3,8 тис. м³, що складає більше 10 % від загальних втрат води [8].

Мета роботи. Мета роботи полягає у критичному аналізі існуючих методів зменшення випаровування води з водних об'єктів та пошуку найбільш перспективного методу для практичного впровадження.

Сучасні технології зменшення втрат поверхневих вод, пов'язаних з випаровуванням. Враховуючи глобальний дефіцит водних ресурсів упродовж останніх десятиліть увага науковців прикута до активних пошуків, апробації та впровадження різних методів для зниження втрат води на випаровування, величина якого залежить від географічного положення, фізичних та геометричних розмірів водного об'єкту. Традиційні методи зменшення випаровування базуються на екстенсивних заходах впливу на водойму, які зводяться до наступних:

1. Поглиблення водойми з одночасним зменшенням розмірів в плані, що дозволяє зменшити площу випаровування;
2. Насадження на берегах та на водоймі рослинності, що створює додаткове затінення та зменшує вплив вітру;

Ці методи добре вивчені та апробовані на практиці і на сьогодні широко використовуються в ландшафтній, рекреаційній, рибогосподарській, енергетичній та протипожежній діяльності.

Останні десятиліття активно вивчаються та впроваджуються в інженерну практику методи, які потребують різностороннього наукового підходу. До таких методів можна віднести:

1. Влаштування захисного покриття над водоймою;
2. Влаштування захисної плівки із спеціальних добавок.

Систематичні дослідження, які підтвердили економічну ефективність використання захисних покриттів для водойм проводились в Австралії. У південно-східному Квінсленді ефект зменшення випаровування досліджувався на основі застосування підвісних плівок та плаваючих пластин [9].

Підвісні плівки – це горизонтальні вітрилоподібні конструкції, які підвішені над водними поверхнями і підтримуються сталевими тросами та опорами (рис.1). Підвісні системи характеризуються за їх прольотом та навантаженням. Матеріал плівок може відрізнятися від пористих тінювих екранів до непроникної пластмаси. Плівка зменшує випаровування за рахунок блокування сонячного випромінювання на поверхню води і відповідно зменшує споживання теплової енергії. Внаслідок чого знижується температура поверхні води, а отже, і випаровування. Покриття також зменшують поверхневу дію вітру, знижуючи градієнт тиску вітру над водою. Плівки затримують водяну пару на поверхні води, тим самим підвищуючи рівень вологості в пограничному шарі. Ефективність економії води залежить від того, як встановлюються плівки та від кількості водяної пари яка може проходити крізь матеріал.



а) *a)* проникні плівки (Netpro); б) *b)* непроникні плівки SuperSpan (Finn and Barnes, 2007) [9]

Плаваючі пластини плавають на поверхні води і бувають двох типів: модульні та плоскі (рис.2). Вони відбивають частину сонячного випромінювання і виступають фізичними бар'єрами для проходження водяної пари як у вертикальному напрямку, так і в горизонтальному. На відміну від підвісних плівок, плаваючі пластини не передбачають опорних конструкцій, однак при наявності течії їх потрібно закріпити на водній поверхні. Більшість плавучих пластин розроблені переважно для невеликих водойм. На практиці застосовують пластини з різних матеріалів, кольорів та форм. Недоліком модульних систем є часткове покривання водної поверхні, що дозволяє воді випаровуватися через непокриті проміжки.



Рис. 2. Плаваючі пластини: а) модулі AquaCap (Burston, 2002); б) листи типу E-VarCap (контроль випаровування Системи, 2006) [9]

Ефективність економії води залежить від конструкцій та форм модулів, а також матеріалу.

Зрозуміло, що підвісні плівки та плаваючі пластини є найефективнішими механізмами для зменшення випаровування, оскільки вони значно зменшують надходження сонячної енергії і зменшують швидкість вітру безпосередньо над водою. Загалом, дослідження показують, що ці конструкції можуть забезпечити ефективність зменшення випаровування більш ніж на 60%, а також зменшують заростання водойми водоростями, зменшують температуру води та знижують рівень розчиненого кисню. Проте, слід зауважити, що частково або повністю покрита водойма може спричинити серйозне погіршення стану місцевої екосистеми [9].

Альтернативний метод покриття водних поверхонь – використання кульок для генерації тіні (рис.3) [10]. Департамент води та енергетики США (LADWP) вперше використовував ці кульки в Каліфорнії в 2011 році для запобігання випаровування води та блокування УФ-променів, а також для запобігання утворенню шкідливих організмів та водоростей. Для дослідження використовували 4-дюймові чорні кульки з поліетилену високої щільності чорного кольору. Дослідження показали, що такі кульки зменшили випаровування на водосховищі на 43-45%.

Для зменшення випаровування використовують також ультратонкі плівки (плівки товщиною від одного (мономолекулярні плівки) до кількох молекулярних шарів) спеціальних добавок, які не розчинні у воді [11].



Рис. 3. Кульки для генерації тіні [10]

Ультратонкі плівки спеціальних добавок для зменшення випаровування почали досліджуватись з 1920-х років. Різними науковцями проводились дослідження в лабораторних умовах з метою визначення оптимальних речовин і умов для зменшення випаровування води. Серед речовин найчастіше розглядались поверхнево-активні речовини, жирні спирти з низькою токсичністю та високою стійкістю до випаровування (гексадеканол та октадеканол), силоскани, прості ефіри. Перші натурні дослідження проведено в США та Австралії на початку 50-х рр. [11]. Отримані величини зменшення випаровування (близько 30%) привернуло увагу багатьох дослідницьких груп у всьому світі. В наступні десятиліття кількість експериментальних робіт і публікацій в області застосування ультратонких плівок невинно зростає. Основні висновки з цих робіт були зібрані в огляді, опублікованому в 1986 р [12]. Цим дослідженням приділялася увага у звітах міжнародних організації та вносились рекомендації до подальшого використання.

Найбільш дослідженими на сьогодні добавками для формування ультратонких плівок є жирні спирти: цетиловий спирт (гексадеканол, $C_{16}H_{33}OH$), стеариловий спирт (октадеканол, $C_{18}H_{37}OH$) та їх суміші, які зменшують втрати води на випаровування в середньому на 20–30%, у деяких випадках – до 50–60 % [13-15]. Ефект зменшення випаровування залежить як від виду добавки, співвідношення компонентів, товщини плівки, так і від способу формування плівки та від умов зовнішнього середовища

(температура води і повітря, відносна вологість, інтенсивність сонячної радіації, швидкість вітру, наявність пилу та ін.) [16]. З точки зору екологічної безпеки відмічено ряд переваг застосування таких ультратонких плівок: жирні спирти не мають запаху та кольору, не заважають проникненню світла у водойму і практично не впливають на вміст розчиненого кисню у воді. Ці плівки також пригнічують процес утворення хвиль на воді, незначно підвищують температуру і зменшують коефіцієнт поверхневого натягу водної поверхні. Важливим практичним недоліком жирних спиртів як добавок для зменшення втрат на випаровування, є їх відносно висока вартість та невисока стійкість, що знижують техніко-економічну ефективність застосування захисних плівок із жирних спиртів.

Масштабний натурний експеримент із впливу на випаровування моноплівок гексадеканола тривалістю 20 тижнів, проведений у Туггурті (Алжир), показав досить високу ефективність чистого гексадеканола за особливо малих товщин плівок. При висоті шарів ультраплівок 37 нм та 62 нм середнє фактичне зменшення втрат води на випаровування становило відповідно 16 % та 22 % [15].

Загальні уявлення про механізм зменшення випаровування за допомогою ультратонких плівок зводиться до наступних положень [11]:

1) Транспортування молекул води з поверхні водойми до повітряної фази-це процес кінетичний, під час якого молекула води долає ряд послідовних енергетичних бар'єрів: вихід молекули на поверхню; дифузія крізь ультратонку плівку; дифузія в пограничному шарі повітря;

2) Механічне блокування ультратонкими плівками «вікон» в поверхневій кластерній сітці води;

3) Зниження температури поверхні води на межі розподілу фаз (повітря/вода) за рахунок термічного опору ультратонкої плівки.

На сьогоднішній день ведуться дослідження зменшення випаровування за допомогою ультратонких плівок полідиметилсилоксанів (ПДМС) [17]. ПДМС – це інертні рідини без кольору та запаху, з кінематичною в'язкістю від 5 мм²/с до 1000 мм²/с і більше. Завдяки нерозчинності у воді та високому коефіцієнту адсорбції рідкі ПДМС з часом деградують. Основним продуктом гідролізу є диметилсиландіол (ДМСД), який або біологічно розкладається, або випаровується в атмосферу, де згодом окислюється в присутності сонячного світла. Очікується, що кінцевими продуктами в обох випадках будуть CO₂, SiO₂ і H₂O.

Огляд літератури виявив широкий діапазон значень зменшення випаровування (до 60%) в результаті нанесення ультратонких плівок на водні об'єкти (таблиця). Відмінності в тривалості досліджень, тип застосовуваного продукту, характеристики водного об'єкта (наприклад, розмір, глибина, висота, хвиля), методи оцінки випаровування та місцеві кліматичні умови

ускладнюють визначення впливу окремих показників на зменшення процесу випаровування.

Таблиця 1

Ефективність зменшення втрат води на випаровування з водойм за допомогою моноплівок

№	Водойма	Тип плівки	Середній ефект зменшення випаровування, %	Джерело
1	Озеро Сагуаро, Арізона, США	жирні спирти	23	[11]
2	Озеро в Найробі, Кенія	жирні спирти	60	[11]
3	Озеро Ігл-Пасс, Техас, США	жирні спирти	30–63	[11]
4	Дірранбанді, станція Кубі, Квінсленді, Австралія	WaterSavr*	31	[9]
5	Водосховище Гуарапіранга, Бразилія	C16:C18 (1:9)	15,2–35,8	[13]
6	Водосховище Біллінгс, Бразилія	C16:C18 (1:9)	19,2–38,5	[13]
7	Туггурт, Алжир	гексадеканол	16–22	[15]
8	Аурангабад, Індія	жирні спирти	30	[18]
9	НУ “Львівська політехніка”	полідиметилсиліоксан	50,5	[19]

*продукт на основі гідроксиду кальцію

Ефект добавок змінюється в досить широких межах: від 16 до 63% і залежить як від виду добавки й товщини плівки, так і від способу формування плівки й від умов зовнішнього середовища (температура повітря і води, відносна вологість, інтенсивність сонячної радіації, швидкість вітру, наявність пилу та ін.).

В результаті проведення довготривалого експерименту (понад 80 діб) по випаровуванню в лабораторних умовах на основі основного закону конвективного масообміну авторами роботи [20] отримано залежності для визначення коефіцієнтів масовіддачі β_p , с/м, при випаровуванні з поверхні води захищеною ультратонкими плівками полідиметилсиліоксанів ПДМС-100 та ПДМС-200 з товщиною 1мкм. Залежності коефіцієнта масовіддачі β_p отримано як функцію від температури поверхні T_F , °С, води:

– для ємності з плівкою ПДМС-100:

$$\beta_{p,1} = (4.80 + 0.147T_F) \times 10^{-8}, \quad (1)$$

– для ємності з плівкою ПДМС-200:

$$\beta_{p,2} = (-2.58 + 0.667T_F) \times 10^{-8}. \quad (2)$$

Отримані залежності дозволяють провести прогнозну оцінку втрат маси води під час випаровування з відкритих водойм.

Висновки

Широкий спектр методів зменшення випаровування води з поверхневих водойм, на сьогодні, не дає можливості вибрати найбільш доцільний варіант для втілення на практиці. Застосування захисних покриттів над водоймами (плаваючі модулі, листи, підвісні плівки) можливе тільки для невеликих ставків та басейнів. Для водосховищ використання кульок які генерують тінь утруднюється недосконалістю їх рівномірного розповсюдження по поверхні води і наступним їх збором і утилізацією.

Найбільш технологічним є застосування ультратонких плівок спеціальних добавок – поверхнево-активних речовини, жирних спиртів тощо. На даний час накопичений значний експериментальний матеріал по їх використанню. Проте відсутність загальних розрахункових залежностей і їх висока вартість не дозволяє застосовувати ці плівки в промислових масштабах.

Враховуючи велику тривалість ефекту зниження випаровування, ультратонкі плівки полідиметилсилоксанів, особливо марки ПДМС-200, з економічної точки зору можуть бути вигідною альтернативою використання ультратонких плівок на основі жирних спиртів.

1. World Meteorological Organization. State of the Global Climate 2021. WMO-№ 1290/2022.-С.54.

2. [Хільчевський В.К.](#) Водна політика: світові тенденції, стан в Україні // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2023. № 4(70). С. 6-22. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2023.4.1>.

3. UNESCO. The United Nations World Water Development Report 2021. Valuing water. 2021. www.unesco.org/open-access/terms-useccbysa-en.

4. Information and Analytical Report on the State of Water Resources of the Ukraine and Features of Agricultural Production in the Conditions of Climate Change. 2020. National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine. http://naas.gov.ua/upload/iblock/78a/Інформаційна_довідка_4.05.2020-конвертирован.pdf (in Ukraine).

5. V. Miroshnychenko. Water supply of the population of Ukraine: level, problems and directions of its solution. Scientific Papers NaUKMA. Economics. Vol. 6 №. 1 (2021).- С.99-104.

6. Муха Б., Булавенко І., Мельничук М. Випаровування в українському Розточчі. Вісник Львівського університету №48/2014.– С. 117–124.

7. Лобода Н.С. Оцінка можливих змін гідроекологічного режиму Куяльницького лиману під впливом глобальних кліматичних змін. Звіт про НДР. ДР № 0112U007606. Одеський державний екологічний університет.

8. Рудаков Л.М., Гапич Г.В., Чушкіна І.В. Випаровування з водної поверхні регулюючих басейнів зрошувальних систем. Вісник ДДАЕУ №2(44)/2017.– С. 74–77.

9. Craig I., Green A., Scobie M., Schmidt E. 2005. Controlling evaporation loss from water storages. National Centre for Engineering in Agriculture University of Southern Queensland, Toowoomba, 207 p.

10. Xi Yao, Hong Zhang, Charles Lemckert, Adam Brook, Peter Schouten. Evaporation Reduction by Suspended and Floating Covers: Overview, Modelling and Efficiency. Urban Water Security Research Alliance Technical Report № 28/2010.– С. 1–17.

11 Yara Waheeb Youssef, Anna Khodzinskaya. A Review of Evaporation Reduction Methods from Water Surfaces. E3S Web of Conferences 97. <https://doi.org/10.1051/e3sconf>.

12. Retardation of Evaporation by Monolayers: Transport Processes. 1962. Ed. V.K. La Mer. Academic Press, New York, 277.

13. Barnes G.T. The effects of monolayers on the evaporation on liquids. ADV. Colloid Interf. Sci. 25, 1986.80-200.

14. Gugliotti M., Baptista M.S., Politi M.J. 2005. Reduction of evaporation of natural water samples by monomolecular films. Journal of the Brazilian Chemical Society, 16(6A), 1186–1190.

15. Panjabi K., Rudra R., Goel P. 2016. Evaporation retardation by monomolecular layers: An experimental study at the Aji reservoir (India). Open Journal of Civil Engineering, 6, 346–357.

16. Saggai S., Bachi O.E.K. 2018. Evaporation reduction from water reservoirs in arid lands using monolayers: Algerian experience. Water Resources Development: Economic and Legal Aspects, 45, 280–288.

17. Gallego-Elvira B., Martínez-Alvarez V., Pittaway P., Brink G., Martín-Gorriç B. 2013. Impact of micrometeorological conditions on the efficiency of artificial monolayers in reducing evaporation. Water Resource Management, 27, 2251–2266.

18. Жук В.М., Гриців О.Б., Регуш А.Я. Актуальність та шляхи зменшення втрат води на випаровування з поверхневих водних об'єктів в Україні. Ресурси природних вод Карпатського регіону / Проблеми охорони та раціонального використання. Матеріали Дев'ятнадцятої міжнародної науково-практичної конференції (м. Львів, 8-9 жовтня 2020 р.): збірник наукових статей. – Львів: Національний університет "Львівська політехніка", 2020. С. 25–28.

19. Kahalekar J., Hastimal S. Evaporation suppression from water surface using chemical films. International Journal of Environment Research and Development. 2013. Vol.3 №3. P. 38–43.

20. Жук В.М. Зменшення втрат води на випаровування за допомогою плівки полідиметилсилоксану / В.М. Жук, О.Б. Гриців, А.Я. Регуш // Вісник Львівського національного аграрного університету (серія Архітектура і сільськогосподарське будівництво). – 2020. – № 21. – С. 56–60.

21. Zhuk V., Rehus A., Burchenya S., Hrytsiv O. 2021. Long-term retardation of water evaporation by ultra-thin layers of polydimethylsiloxanes in the indoor conditions. Journal of Ecological Engineering, 22(8), 33-40.