

УДК 581.526.325 (282.247.32)

Просторово-часова мінливість “цвітіння” води у дніпровських водосховищах

В. І. Вишневський

Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна

На основі даних супутників Terra та Aqua встановлено просторово-часові закономірності “цвітіння” води у дніпровських водосховищах. Найбільший розвиток водоростей спостерігається у Кременчуцькому, найменший — у Київському водосховищах. Виявлені чинники цих явищ. Розвитку водоростей у Київському водосховищі, передусім в його північній частині, перешкоджають значна кольоровість, надходження твердого стоку, а також порівняно невисока температура води.

Протягом останніх 2013–2018 рр. найменший розвиток водоростей спостерігався у 2013 р., що було зумовлено доволі великим стоком Дніпра, а також значною кольоровістю води. Крім того, на розвиток “цвітіння” негативно вплинула велика хмарність у другій половині літа, коли розвиток водоростей звичайно найбільший. Значним виявилось “цвітіння” у 2015–2016 рр., які виділялися малою водністю і відповідно невеликою кольоровістю води.

Для 2013–2018 рр. встановлено дати початку інтенсивного “цвітіння” та максимального розвитку водоростей. Звичайно це спостерігається у серпні за умов настання теплої, а головне сонячної погоди. Аномально пізнім виявилось “цвітіння” 19–22.09.2018 р., чому сприяла відповідна погода.

Виявлено, що за сприятливих умов лише за добу вигляд водної поверхні може істотно змінитися. Такі швидкі зміни не можуть бути зумовлені змінами температури води, адже у водосховищах вони не бувають різкими.

Великий вплив на розподіл водоростей по акваторії водосховищ має вітер, який здатен зміщувати зону з найбільшим “цвітінням” у будь-який бік. Переважання у липні–серпні над Кременчуцьким і Кам’янським водосховищами північно-східного вітру зумовлює те, що більший розвиток водоростей спостерігається біля їх правого південно-західного берега.

Ключові слова: “цвітіння” води, мінливість, дніпровські водосховища, дистанційне зондування Землі

© В. І. Вишневський. 2019

Вступ

Щороку у дніпровських водосховищах відбувається “цвітіння” води. Хоча йому присвячена велика кількість наукових праць, масштаби і терміни цього явища залишаються точно не з’ясованими. У багатьох науковців досі панує уявлення про сезонність цього явища, його тісну залежність від температури води. Це, у свою чергу, позначається на методичці досліджень, які, звичайно, виконують в окремі сезони.

Нині, на доповнення до класичних методів досліджень, які полягають у відборі та аналізі проб фітопланктону, існує й інший, а саме — використання даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Деякі супутники, дані яких є у вільному доступі, знімають ті ж самі території щоденно або з інтервалом у дві-три доби. Це дає змогу встановити початок та закінчення інтенсивного “цвітіння” води, а також дату істотних змін. За цими даними, а також матеріалами гідрометеорологічних спостережень можна встановити чинники, які впливають на це явище.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Явищу “цвітіння” води у світі та Україні присвячено велику кількість наукових праць [1–11]. Зокрема, чимало публікацій присвячено висвітленню видового складу водоростей та змінам, що відбуваються протягом року. У багатьох працях розглянуто залежність “цвітіння” від чинників середовища: температури води, концентрації сполук азоту та фосфору. Окремий напрям досліджень — токсичність, пов’язана із життєдіяльністю водоростей.

Результати досліджень, викладені у статті [2], показали, що на кількість клітин водоростей впливають вітер, температура води, випадіння дощу. Значним є також вплив гумусових речовин: коли їх концентрація велика, “цвітіння” зменшується і, навпаки. Хоча у цій праці наведено чимало фактичних даних, але місце досліджень (у нижньому б’єфі Київської ГЕС) не зовсім вдале, адже тут відбувається значне перемішування води. Вибір цього місця відповідає водозбору Дніпровської водопровідної станції, де виконується постійний моніторинг якості води, зокрема, за кількістю та видовим складом водоростей.

Результати досліджень “цвітіння” води з викори-

* E-mail: vishnev@gmail.com

станням супутникових даних, насамперед Landsat 8, наведено у працях [1, 3–4]. Отримані дані свідчать про те, що найбільше “цвітіння” води спостерігається у Кременчуцькому, дещо менше — у Кам’янському (донедавна Дніпродзержинському) водосховищах. У першому випадку це особливо характерно для основної частини Кременчуцького водосховища нижче мостового переходу біля м. Черкаси. Встановлено, що значна повторюваність у теплий період року північно-східного вітру зумовлює концентрування водоростей переважно біля правого південно-західного берега двох згаданих водосховищ. Велику роль вітру виявлено і для інших водосховищ.

Вплив різноманітних чинників на “цвітіння” води висвітлено у статті [10]. Окрему увагу сонячній радіації та температурі приділено у працях [5, 6]. Шляхом відбору та аналізу проб фітопланктону встановлено, що сонячна радіація впливає на чисельність і біомасу водоростей. До великих значень сонячної радіації і температури води спостерігається пряма кореляція. Подальше зростання супроводжується тим, що для деяких видів чисельність та біомаса водоростей зменшується.

У праці [9] значну увагу приділено швидкості зростання кількості синьозелених водоростей. Встановлено, що для поділу клітин достатньо кількох годин. За цими даними, лише за добу їх чисельність може зрости на порядок.

Результати досліджень “цвітіння” води з використанням ДЗЗ можна знайти у працях [7, 11]. Доволі часто вони присвячені пошуку залежностей між концентрацією хлорофілу a і певними спектральними характеристиками знімальних каналів. За даними ДЗЗ встановлено, що у межах водосховищ можуть існувати ділянки з більшим і меншим “цвітінням”. Існує можливість оцінювання розвитку водоростей за роками. У праці [11] для кількох регіонів США за даними супутника Envisat виконано дослідження змін площі “цвітіння” за сезонами і роками. Водночас міждодова мінливість, а також чинники, що її зумовлюють, залишилися поза увагою дослідників.

Опис проведених досліджень свідчить про те, що, хоча увага до явища “цвітіння” велика, питання її короткотермінової мінливості вивчено недостатньо. Досі такі дослідження дніпровських водосховищ не виконувалися.

Методи досліджень

Основним джерелом первісної інформації нашого дослідження були дані супутників Terra та Aqua. Особливістю цих супутників є доволі велика висота орбіти — близько 700 км і значна ширина смуги знімання — 2 300 км. Період їхнього обертання навколо Землі становить 98–99 хв. Вони обладнані кількома знімальними приладами, зокрема спектро-

радіометром MODIS. У науковій літературі це інколи відображається як джерело даних: MODIS Aqua і MODIS Terra. Хоча роздільна здатність згаданого спектрорадіометра невисока (від 250 м), важливим є велика повторюваність знімання — зображення певної ділянки отримується щоденно. Супутник Terra пролітає над певною територією на три години раніше ніж Aqua. Terra у денний час виконує знімання території України приблизно опівдні, супутник Aqua — на три години пізніше. Тож на знімках супутника Aqua захмаренність звичайно більша, ніж на знімках супутника Terra. Знімки цих супутників перебувають у відкритому доступі [12].

У наших дослідженнях також використано дані супутника Landsat 8. Роздільна здатність більшості каналів супутникової апаратури становить 30 м, період між зніманням однакових ділянок — 16 діб.

Першим кроком виконаних досліджень був пошук якісних супутникових зображень, виконаних протягом теплого періоду, коли спостерігалось найбільше “цвітіння” води. Розглядалися умови з червня по вересень. Після знаходження зображень з візуально великим “цвітінням” та його значними змінами в суміжні дати для цих самих днів збиралися дані гідрометеорологічних спостережень: як повітряного, так і водного середовища. У першому разі це були дані на найближчих метеостанціях, в іншому — матеріали спостережень на гідрологічних постах.

Висвітлення основних результатів

Знімки супутників Aqua і Terra свідчать про те, що найбільше “цвітіння” води, принаймні у поверхнево-му шарі води, спостерігається у Кременчуцькому водосховищі, дещо менше — у Кам’янському (рис. 1).

Значний розвиток водоростей у Кременчуцькому водосховищі пояснюється низкою чинників. До найголовніших належить його великий об’єм і відповідно слабкий водообмін. Близькими є розміри Каховського водосховища, проте, як видно, “цвітіння” тут менше. Можна висловити думку про те, що в останньому разі розвитку водоростей перешкоджає нестача поживних речовин, до яких належать передусім сполуки азоту і фосфору. У Каховському водосховищі концентрація сполук азотної групи найменша з-поміж усіх водосховищ каскаду [1].

Найменший розвиток водоростей у межах Дніпровського каскаду притаманний Київському водосховищу — насамперед для його північної частини. У цьому разі чинників, що обмежують “цвітіння”, ціла низка: значна кольоровість води, надходження твердого стоку, а також порівняно невисока температура води.

Великий інтерес викликає розвиток “цвітіння” у часі, зокрема, за роками і протягом року. Певний вплив тут мають водність Дніпра і температура води. Протягом останніх, а саме 2013–2018 рр. середньо-

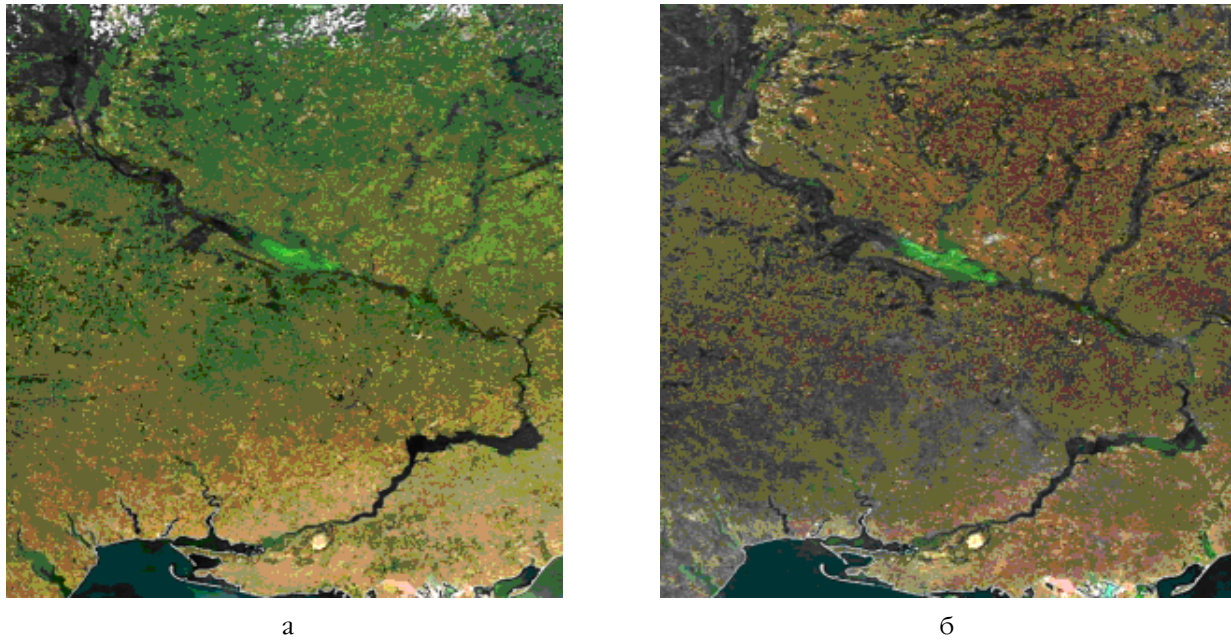


Рис. 1. “Цвітіння” води у дніпровських водосховищах за даними супутника Aqua: а — 12.08.2017 р., б — 19.09.2018 р.

річна витрата води у створі Київської ГЕС відповідно становила: 1480, 814, 486, 681, 903 і 980 м³/с. У 2015 р. водність Дніпра виявилася вдвічі меншою, ніж за багаторічний період (1 050 м³/с) і найменшою за період існування каскаду.

Температура повітря і води у згадані роки була вищою за звичайну. Про це, зокрема, свідчать дані гідрологічного посту Світловодськ, що розташований у верхньому б’єфі Кременчуцького водосховища практично посередині Дніпровського каскаду (табл. 1).

За наявними даними, протягом останніх років найвища температура води переважно спостерігалася в першій–другій декадах серпня — дещо пізніше, ніж у цілому за багаторічний період.

Середньорічна кольоровість води, що відображає вміст гумусових речовин, протягом 2013–2018 років у нижньому б’єфі Київської ГЕС на водозаборі Дніпровської водопровідної станції, за даними Держводагентства України, становила 62,0; 52,5; 25,9; 24,6; 33,3 і 48,7 град. Отже, найбільша кольоровість була в 2013 р., найменша — у 2015–2016 рр.

Як видно, між кольоровістю води і водністю Дніпра існує обернена залежність. Нижче за течією Дніпра кольоровість зменшується, зокрема, внаслідок надходження води з бічними притоками.

За супутниковими знімками можна стверджувати, що в 2013 р. “цвітіння” води було невеликим. Це пояснюється більшим за норму стоком Дніпра та значною кольоровістю води. Крім того, протягом другої половини літа, коли “цвітіння” води звичайно найбільше, над Україною домінувала хмарна погода. Те саме стосується вересня. За умов, коли сонячне сяйво не було тривалим, помітних спалахів “цвітіння” не зафіксовано. Лише в окремі дні спостерігалася зростання зеленого кольору у водосховищах, зокрема 20–22.08.2013 р. і 11.09.2013 р. Невеликий розвиток водоростей у 2013 р. зафіксовано також на водозаборі Дніпровської водопровідної станції [2].

У 2014 р. “цвітіння” води було порівняно незначним. Того року розвитку водоростей знову завадила хмарна погода. Так, у серпні відносно сонячними виявилися лише кілька днів: 1–3 і 14–16 серпня. Коли

Таблиця 1.

Середньодекадна температура води у Кременчуцькому водосховищі на посту Світловодськ

Рік	Липень			Серпень		
	I	II	III	I	II	III
2013	249	25.6	23.3	23.7	25.0	22.8
2014	223	22.9	23.8	25.2	26.3	23.0
2015	232	22.9	23.3	23.9	23.7	22.5
2016	249	25.3	25.0	25.2	22.8	22.8
2017	23.7	23.4	24.4	26.1	25.2	22.7
2018	23.2	25.6	25.0	25.4	25.6	24.2

хмарність зменшувалася, “цвітіння” одразу зростало, при цьому доволі швидко. Це, зокрема, можна бачити на супутникових знімках Кременчуцького водосховища від 12 серпня 2014 р. (рис. 2).

Як видно на супутникових зображеннях, навіть за тригодинний інтервал часу може відбутися зростання чисельності водоростей чи, принаймні, їх концентрування у верхньому шарі водосховища.

кількості зафіксовано протягом лише однієї доби: від 01.08.15 р. до 02.08.2015 р. Основним чинником стала зміна погодних умов. До ранку 01.08.2015 р. домінувала хмарна погода, яка змінилася на сонячну. Проте цей період виявився коротким, адже згодом хмарність зросла. Чергове збільшення “цвітіння” відбулося 07–10.08.2015 р. і це знову було пов’язано з хмарні-



а



б

Рис. 2. “Цвітіння” води у Кременчуцькому водосховищі 12.08.2014 р.: а — за даними супутника Terra, б — за даними супутника Aqua

Погодні умови у теплий період 2014 р. зумовили те, що того року доволі значним було “цвітіння” води у Каховському водосховищі. Це, зокрема, можна бачити на знімках від 20–21 серпня.

У 2015 р. найбільший розвиток водоростей, як і звичайно, спостерігався у Кременчуцькому водосховищі. Зокрема помітне зростання їх

стю, точніше — її істотним зменшенням (рис. 3).

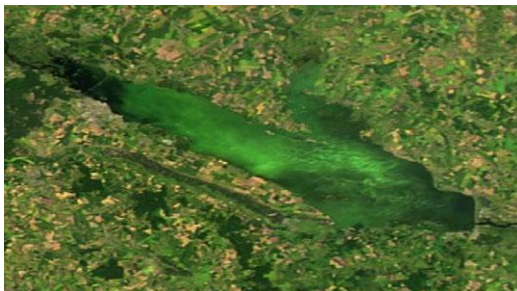
Наведені зображення свідчать про те, що найпомітніше зростання “цвітіння” води відбулося з 08.08.2015 р. до 09.08.2015 р. Наявні гідрометеорологічні дані свідчать про те, що збільшення кількості водоростей насамперед відбулося внаслідок настання безхмарної погоди, яка над Кременчуцьким во-



а



б



в



г

Рис. 3. “Цвітіння” води у Кременчуцькому водосховищі за даними супутника Terra: а — 07.08.2015 р., б — 08.08.2015 р., в — 09.08.2015 р., г — 10.08.2015 р.

досховищем встановилася з початку доби 07.08.2015 р. Поява хмар 10.08.2015 р. спричинила деяке зменшення “цвітіння”, порівняно з попереднім днем.

У цьому разі, як і в багатьох інших, температура повітря і води великого значення не мала. Про це, зокрема, свідчать дані на постах Топилівка, що розташований на правому березі посередині довжини водосховища, і Світловодськ, що розташований біля греблі (табл. 2).

Як видно, температура води у водосховищі залишалася практично сталою. Деяке її підвищення відбулося 10.08.2015 р., але зростання хмарності зумовило зменшення “цвітіння”. Зауважимо, що температура води на постах гідрометслужби вимірюється двічі на добу: о 8:00 і 20:00. Отже, у денний час, особливо за умов сонячної погоди, вона може бути трохи вищою за середньодобову.

Певний вплив на температуру води мали і продовжують мати місцеві умови: глибина води на посту Топилівка менша, ніж на посту Світловодськ. Крім того, на температуру води впливає вітер.

Зазначеного 2015 р. зелений колір водосховищ простежувався до кінця серпня.

У 2016 р. помітний розвиток водоростей почався у перших числах липня. Про це свідчать знімки від 02.07.2016 р. і 03.07.2016 р. Спалах “цвітіння” спостерігався також 28–29.08.2016 р. Як і в багатьох інших випадках, це було пов'язано з поліпшенням погодних умов, зокрема настанням після 25.08.2016 р. сонячної погоди (рис. 4).

Цього разу, як і в 2015 р., температура води на її “цвітіння” вплинути не могла, адже протягом досліджуваного періоду вона залишалася практично сталою. Невеликі зміни по акваторії були зумовлені дією слабого вітру (табл. 3).

Зменшення кількості водоростей відбулося лише зі зниженням температури повітря і води, яке почалося 06.09.2016 р. Утім “цвітіння” води того року тривало до перших чисел жовтня.

У 2017 р. помітний розвиток водоростей у дніпровських водосховищах почався в середині липня. Значне зростання “цвітіння” води спостерігалось 1 серпня і тривало ще кілька днів. Наступний

Таблиця 2.

Температура води на гідрологічних постах Кременчуцького водосховища

Пост	06.08.2016	07.08.2015	08.08.2015	09.08.2015	10.08.2015
Топилівка	25.2	25.2	25.3	25.2	25.2
Світловодськ	23.4	23.4	23.8	24.6	25.6



а



б



в



г

Рис. 4. “Цвітіння” води у Кременчуцькому водосховищі за даними супутника Aqua: а — 26.08.2016 р., б — 27.08.2016 р., в — 28.08.2016 р., г — 29.08.2016 р./

Таблиця 3.
Температура води (°C) на гідрологічних постах Кременчуцького водосховища

Пост	25.08.2016	26.08.2016	27.08.2016	28.08.2016	29.08.2016
Топилівка	23,8	23,3	23,7	23,2	23,4
Світловодськ	22,4	21,9	22,4	22,3	22,7

подібний випадок стався 11–13 серпня. В останнє Кременчуцьке водосховище виділялося своїм зеленим кольором у середині вересня (рис. 5).

Помітне зростання “цвітіння” води 12.08.2017 р., як і в попередніх випадках, відбулося внаслідок впливу гідрометеорологічних чинників. Із середини дня 10.08.2017 р. хмарність істотно зменшилася. Що ж до температури повітря і води, вона в цілому залишалася сталою (табл. 4).

Як видно з табл. 4, зміни температури води на гідрологічних постах виявилися різними за спрямуванням. Чинником став слабкий східний та південно-східний вітер, який зігнав теплу воду поверхнього шару убік поста Топилівка.

У 2018 р. перший значний розвиток водорос-

тей у Кременчуцькому водосховищі спостерігався 18–21 червня за умов доволі теплої погоди. За цим настав період з порівняно невисокою температурою і великою хмарністю. Вдруге помітне “цвітіння” спостерігалось 6 і 9 липня: найбільше у Кременчуцькому водосховищі, менше — у Каховському. Велика хмарність у наступні тижні позначилась на тому, що черговий спалах “цвітіння” відбувся в середині серпня. Проте найцікавішими у 2018 р. виявилися умови 19–22 вересня, коли “цвітіння” виявилось аномально пізнім і значним (рис. 6).

Цьому спалаху “цвітіння” сприяла не лише тепла, а головне тривала сонячна погода. Температура води в цей час була вже нижчою, ніж у серпні, проте



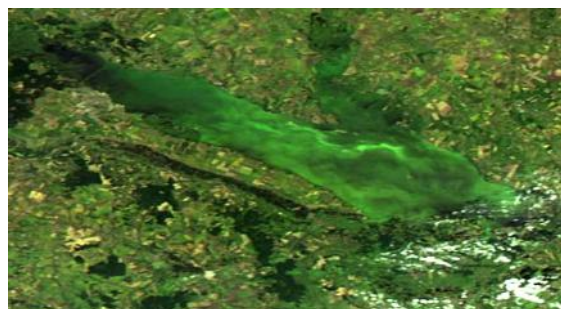
а



б



в



г

Рис. 5. “Цвітіння” води у Кременчуцькому водосховищі за даними супутника Aqua: а — 10.08.2017 р., б — 11.08.2017 р., в — 12.08.2017 р., г — 13.08.2017 р.

Таблиця 4.
Температура води (°C) на гідрологічних постах Кременчуцького водосховища

Пост	09.08.2017	10.08.2017	11.08.2017	12.08.2017	13.08.2017
Топилівка	24,7	24,0	25,1	25,2	25,4
Світловодськ	25,0	24,7	24,6	24,8	24,7

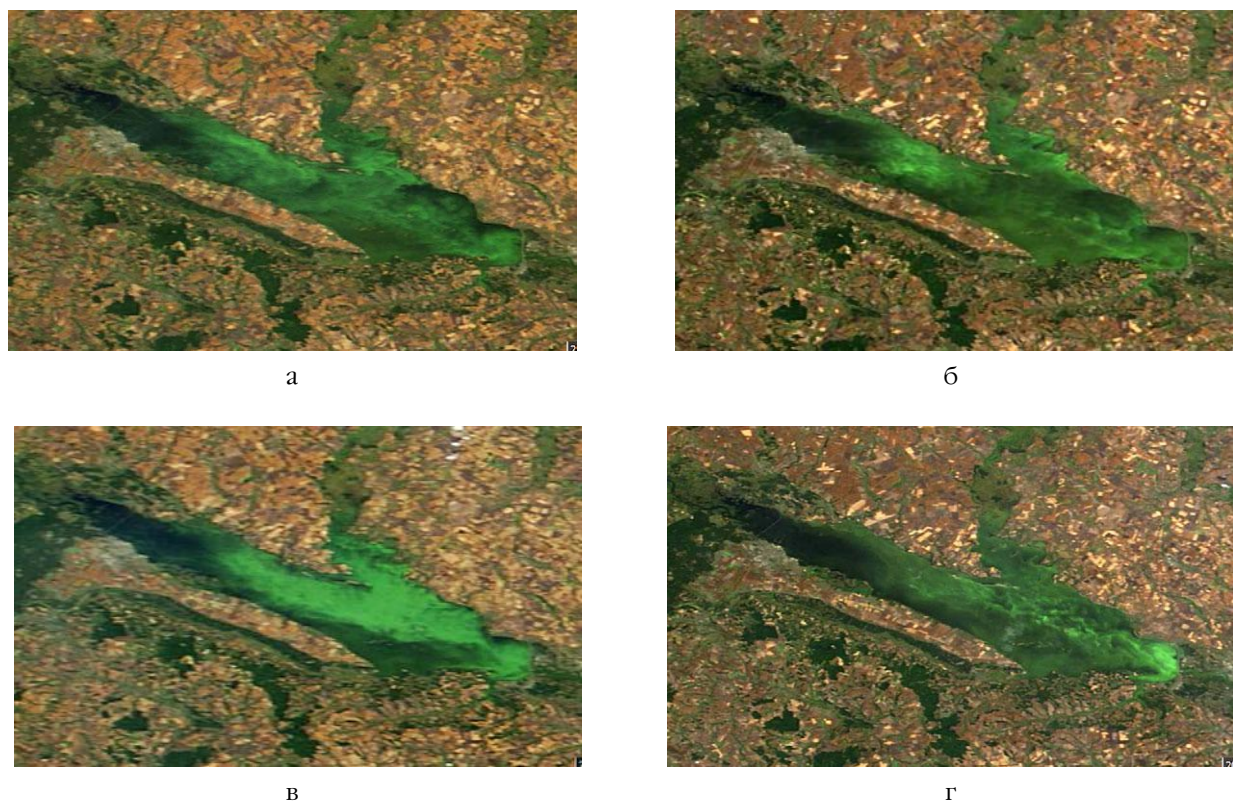


Рис. 6. “Цвітіння” води у Кременчуцькому водосховищі за даними супутника Aqua: а — 19.09.2018 р., б — 20.09.2018 р., в — 21.09.2018 р., г — 22.09.2018 р.

це великого значення не мало. Порівняно невелика глибина води на посту Топилівка позначилося на тому, що температура води цього разу тут виявилася нижчою, ніж на посту Світловодськ (табл. 5).

Як видно з наведених даних, температура води 18–22.09.2018 р. була майже сталою. Принаймні у день зі значним зростанням “цвітіння” (21.09.2018 р.) вона виявилася такою ж, як і протягом двох попередніх днів. Це вкотре свідчить про відсутність великого впливу температури на розви-

Наприкінці вересня 2018 р. у зв’язку із настанням типової осінньої погоди “цвітіння” води різко зменшилося.

Згадка про вітер зумовлює необхідність його окремого розгляду, як чинника впливу на “цвітіння” води. У цьому разі доцільним є використання даних супутника Landsat 8 з доволі високою роздільною здатністю. За цими даними, встановлено, що зона з найбільшим “цвітінням” води може істотно змінюватися (рис. 7).

Таблиця 5.

Температура води (°C) на гідрологічних постах Кременчуцького водосховища

Пост	18.09.2018	19.09.2018	20.09.2018	21.09.2018	22.09.2018
Топилівка	19,5	19,1	18,9	18,5	19,1
Світловодськ	19,9	19,9	20,1	20,6	20,6

ток водоростей і водночас про можливість швидких змін їх кількості за сприятливих умов.

Деякі зміни температури води на досліджуваних постах відбулися внаслідок впливу слабого західного і південно-західного вітру, який зігнав теплу воду ближче до греблі.

Можна звернути увагу і на те, що на рис. 6 територія, прилегла до водосховища, забарвлена в інші кольори, ніж на попередніх рисунках. Поясненням є самий час знімання, який відповідав осені та ще й доволі сухий.

Як видно на рис. 7, найбільше концентрування водоростей 23.08.2015 р. спостерігалось біля правого південно-західного берега Кам’янського водосховища. Чинником був північно-східний вітер. Такий вітер у липні-серпні домінує в цій частині України, що визначає більший розвиток водоростей біля правого південно-західного берега Кременчуцького та Кам’янського водосховищ.

Наведені дані свідчать про те, що для “цвітіння” води властива велика просторово-часова



Рис. 7. “Цвітіння” води у Кам’янському водосховищі за даними супутника Landsat 8 від 23.08.2015 р.

мінливість, а також залежність від багатьох чинників. До найголовніших належить сонячне сяйво, точніше його зміни внаслідок зростання чи зменшення хмарності. Оскільки водорості розмножуються дуже швидко, важливим є настання сонячної погоди на тлі інших сприятливих умов. Відповідно тісний кореляційний зв’язок між чисельністю водоростей і середньомісячними чи навіть середньоденними величинами сонячної радіації є малоімовірним. Температура води, що у водосховищах змінюється повільно, у змінах “цвітіння” великої ролі не відіграє.

Висновки

Потужним інформаційним ресурсом, який дає змогу оцінювати розвиток “цвітіння” води у дніпровських водосховищах, є дані супутників Aqua і Terra. За цими даними встановлено, що найбільше “цвітіння” води спостерігається у Кременчуцькому водосховищі. Дещо меншим є розвиток водоростей у Кам’янському, найменшим — у Київському.

Упродовж року найбільший розвиток водоростей звичайно припадає на серпень, проте може бути і пізнішим. Значний вплив на “цвітіння” води мають гідрометеорологічні умови, зокрема настання сонячної чи хмарної погоди. Залежно від цього вже за добу вигляд водосховищ може істотно змінюватися. Певний вплив на розвиток водоростей мають й інші гідрометеорологічні умови, зокрема вітер і випадіння дощу.

Література

1. Вишневський В. І. Дніпровські водосховища та проблеми їх використання. *Гідроенергетика України*. 2018. № 3–4. С. 18–23.
2. Вишневський В. І., Лопата Л. М. “Цвітіння” води на водозаборі Дніпровської водопровідної станції. *Меліорація і водне господарство*. 2016. Вип. 104. С. 31–35.
3. Вишневський В. І., Шевчук С. А. Використання даних дистанційного зондування Землі у дослідженнях водних об’єктів України. К.: Інтерпрес ЛТД, 2018. 116 с.
4. Вишневський В. І., Шевчук С. А. Використання даних супутників Aqua і Terra у дослідженнях “цвітіння” води дніпровських водосховищ. *Праці Центральної геофізичної обсерваторії*. 2018. Вип. 14 (28). С. 44–49.
5. Задорожна Г. М. Особливості розвитку фітопланктону верхньої частини Канівського водосховища в лотичних і лентичних умовах. Автореф. дис. на здобуття наук. ступ. канд. біол. наук. К.: Інститут гідробіології НАНУ, 2016. 18 с.
6. Задорожна Г. М., Щербак В. І. Вплив сонячної радіації і температури води на розвиток фітопланктону Канівського водосховища. *Гідробіол. журн.* 2016. № 5. Т. 52. С. 18–27.
7. Лаврова О. Ю., Соловьев Д. М., Строчков А. Я., Шендрик В. Д. Спутниковый мониторинг интенсивного цветения водоростей в Рыбинском водохранилище. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2014. Т. 11. № 3. С. 54–72.
8. Щербак В. И., Майстрова Н. В. Фітопланктон Київської ділянки Канівського водоймища та чинники, що його визначають. К.: Ін-т гідробіології НАН України, 2001. 70 с.

9. Martins M. C. B., Tooke A. K., Thomas P., Locke J. C.W. (2018). Cell size control driven by the circadian clock and environment in cyanobacteria. PNAS. Vol. 115. No 48. pp. 11415–11424. URL: <https://www.pnas.org/content/pnas/115/48/E11415.full.pdf>.
10. Paerl H. W., Fulton R. S., Moisaner P. M., Dyble J. (2001). Harmful freshwater algal blooms, with an emphasis on cyanobacteria. *The Scientific World* 1, 76–113.
11. Urquhart E. A., Schaeffer B. A., Stumpf R. P. et al. (2017). A method for examining temporal changes in cyanobacterial harmful algal bloom spatial extent using satellite remote sensing. *Harmful algae*, 67. pp. 144–152.
12. Worldview. URL: <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>.

References

1. Vyshnevskiy, V. I. (2018). Dnirovskiy reservoirs and problems of their use. *Gidroenergetyka Ukrainy*, No. 3–4, 18–23. (Ukrainian).
2. Vyshnevskiy, V. I., Lopata, L. M. (2016). Algal bloom at the water intake of the Dnirovskaya water supply station. *Melioracija i vodne gospodarstvo*. No.104, 31–35. (Ukrainian).
3. Vyshnevskiy, V. I., Shevchuk, S. A. (2018). Use of remote sensing data in researches of water objects of Ukraine. K.: Interpress LTD, 116 p. (Ukrainian).
4. Vyshnevskiy, V. I., Shevchuk, S. A. (2018). Use of Aqua and Terra satellites data in studies of algal bloom of the Dniro Reservoirs. *Praci Centralnoji gheofizychnoji observatoriji*. Vol. 14, 2844–49. (Ukrainian).
5. Zadorozhna, G. M. (2016). Features of the phytoplankton development of the upper part of the Kanivske Reservoir in the lactic and lentil conditions. Author's abstract. for the degree of candidate of biological sciences. K.: Institute of Hydrobiology of National Academy of Sciences of Ukraine, 18 p. (Ukrainian).
6. Zadorozhna, G. M., Shcherbak, V. I. (2016). Influence of solar radiation and water temperature on development of phytoplankton of Kanivske Reservoir. *Gydrobyol. zburn*. No. 5, Vol. 52, 18–27 (Ukrainian).
7. Lavrova, O. Yu., Soloviev, D. M., Stochkov, A. Ya., Shendrik, V. D. (2014). Satellite monitoring of intensive algal bloom in the Rybinskoe reservoir. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. Vol. 11, No 3, 54–72. (Russian).
8. Martins, M. C. B., Tooke, A. K., Thomas, P., Locke, J.C.W. (2018). Cell size control driven by the circadian clock and environment in cyanobacteria. PNAS. Vol. 115, No 48, 11415–11424. Retrieved from <https://www.pnas.org/content/pnas/115/48/E11415.full.pdf>.
9. Shcherbak, V. I., Maistrova, N. V. (2001). Phytoplankton of the Kyiv site of the Kanivske Reservoir and factors which determine it. K.: Institute of Hydrobiology, National Academy of Sciences of Ukraine, 70 p. (Ukrainian).
10. Paerl, H. W., Fulton, R. S., Moisaner, P. M., Dyble, J. (2001). Harmful freshwater algal blooms, with an emphasis on cyanobacteria. *The Scientific World*, 1, 76–113.
11. Urquhart, E. A., Schaeffer, B. A., Stumpf, R. P. et al. (2017). A method for examining temporal changes in cyanobacterial harmful algal bloom spatial extent using satellite remote sensing. *Harmful algae*, 67, 144–152.
12. Worldview. URL: <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ “ЦВЕТЕНИЯ” ВОДЫ В ДНЕПРОВСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩАХ

В. И. Вишневский

С использованием данных дистанционного зондирования Земли, прежде всего данных спутников Terra и Aqua, установлено пространственно-временные закономерности “цветения” воды в днепровских водохранилищах. Наибольшее развитие водорослей характерно для Кременчугского, наименьшее — Киевского водохранилища. Сформулированы причины этих закономерностей. В частности, развитию водорослей в Киевском водохранилище, прежде всего в его северной части, препятствуют значительная цветность, поступления твердого стока, а также сравнительно невысокая температура воды.

В последние (2013–2018) годы наименьшее развитие водорослей наблюдалось в 2013 г., что было обусловлено достаточно большим стоком Днепра, а также значительной цветностью воды. Кроме того, на развитие “цветения” негативно повлияла большая облачность во второй половине лета, когда развитие водорослей обычно является наибольшим. Значительным оказалось “цветение” в 2015–2016 гг., которые выделялись малой водностью и соответственно небольшой цветностью воды.

Для 2013–2018 гг. установлены даты начала интенсивного “цветения” и максимального развития водорослей. Обычно это наблюдается в августе при наступлении теплой, а главное солнечной погоды. Аномально поздним оказалось “цветение” 19–22.09.2018 г., чему способствовала соответствующая погода.

Выявлено, что всего за сутки при благоприятных условиях вид водной поверхности может существенно измениться. Такие быстрые изменения не могут быть обусловлены изменениями температуры воды, поскольку в водохранилищах они не бывают резкими.

Большое влияние на распределение водорослей по акватории водохранилищ имеет ветер, который способен смещать зону с наибольшим “цветением” в любую сторону. Преобладание в июле-августе над Кременчугским и Каменским водохранилищами северо-восточного ветра приводит к тому, что наибольшее развитие водорослей наблюдается возле их правого юго-западного берега.

Ключевые слова: “цветение” воды, изменчивость, днепровские водохранилища, дистанционное зондирование Земли

SPATIAL-TEMPORAL VARIABILITY OF ALGAL BLOOM IN THE DNIPRO RESERVOIRS

V. I. Vyshnevskiy

Using the remote sensing data, first of all, the data of Terra and Aqua satellites, the spatial-temporal patterns of algal bloom in the Dnipro Reservoirs were established. The greatest growth of algae is observed in the Kremenchuts'ke, the smallest — in the Kyivske reservoirs. The reasons for these patterns are formulated. In particular, the growth of algae in the Kyivske Reservoir, primarily in its northern part, is restricted with the significant water colour, the inflow of solid runoff and the relatively low water temperature.

A smallest algal bloom during 2013–2018 was observed in 2013. It was caused with a rather large water runoff of the Dnipro River and with significant water colour as well. In addition, the increasing of algal bloom was negatively affected with a significant cloudiness in the second half of summer, when the of algal bloom usually is the greatest. The algal bloom was significant in 2015–2016, which was caused with small water runoff and small water colour.

For 2013–2018 the dates of algal bloom beginning and maximum increasing of algae were established. This is usually observed in August when warm, and most importantly, sunny weather occurs. An abnormally late algal bloom was observed 19–22.09.2018, which was facilitated with the corresponding weather.

It has been revealed that under favorable conditions, the view of water surface can change significantly during one day. Such rapid changes can not be caused by changes in water temperature, since they are not sharp in the reservoirs.

The wind has a great impact on the distribution of algae by water area of the reservoirs. It is able to shift the zone with the largest bloom in any direction. The predominance of the north-eastern wind over the Kremenchuts'ke and Kam'yanske reservoirs in July-August leads to the fact that the greatest algal bloom is observed near their right south-western bank.

Keywords: algal bloom, variability, Dnipro Reservoirs, remote sensing