

**Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет
імені Тараса Шевченка**

СОЛОНЕНКО АНАТОЛІЙ МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 582.232:581.52

**ВОДОРОСТІ ГІПЕРГАЛІЙНИХ ВОДОЙМ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО
УЗБЕРЕЖЖЯ АЗОВСЬКОГО МОРЯ ТА ЇХ УЧАСТЬ В УТВОРЕННІ
МУЛОВИХ СУЛЬФІДНИХ ПЕЛОЇДІВ**

03.00.05 – ботаніка

Автореферат
на здобуття наукового ступеня
доктора біологічних наук

Київ 2015

Дисертація на правах рукопису

Робота виконана у Мелітопольському державному педагогічному університеті імені Богдана Хмельницького

Науковий консультант: доктор біологічних наук, професор,
Костіков Ігор Юрійович,
ННЦ «Інститут біології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка,
завідувач кафедри ботаніки

Офіційні опоненти: доктор біологічних наук, професор
Царенко Петро Михайлович,
Інститут ботаніки імені М.Г.Холодного НАН України,
завідувач відділу фікології

доктор біологічних наук, професор
Ліщук Алевтина Вікторівна,
Інститут гідробіології НАН України,
провідний науковий співробітник відділу
екологічної фізіології водних рослин,

доктор біологічних наук, професор
Ткаченко Федір Петрович,
Одеський національний університет імені І.І.Мечникова, завідувач кафедри ботаніки

Захист відбудеться 8 грудня 2015 р. о 16⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.001.14 Київського національного університету імені Тараса Шевченка за адресою: 03127, м. Київ, проспект академіка Глушкова, 2, ННЦ «Інститут біології», ауд. 434.

Поштова адреса: 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 64/13.

З дисертацією можна ознайомитись у науковій бібліотеці імені М. Максимовича Київського національного університету імені Тараса Шевченка за адресою:

01601, м. Київ, вул. Володимирська, 58

Автореферат розісланий _____ 2015 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

В.В. Джаган

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність. Проблема збереження та раціонального використання природних ресурсів – це ключова складова глобальної стратегії, визначеної концепцією сталого розвитку людства (Програма дій «Порядок денний на ХХІ століття»..., 2000). Одним із цінних природних ресурсів, який широко використовується в бальнеологічній, медичній та рекреаційній практиці, є лікувальні грязі - пелоїди. В Україні найбільшого використання набули мулові сульфідні пелоїди - лікувальні грязі, що видобуваються з родовищ, які пов'язані з солоними водоймами узбережжя Чорного та Азовського морів. Запаси мулових сульфідних пелоїдів в розвіданих родовищах України досить значні - понад 248 млн. м³ (Лобода, 1999), проте сам цей природний ресурс є вичерпним, а враховуючи швидкість його утворення лише в геологічних одиницях виміру часу - фактично невідновним.

Широке впровадження наприкінці ХІХ-початку ХХ ст. у медичну практику грязелікування спричинило появу класичного визначення терміна «пелоїди» (запропоновано у 1938 р. Міжнародним товариством медичної гідрології - ISMH) як речовин, що утворюються в природних умовах під впливом геологічних процесів і в тонкоподрібненому стані після змішування з водою застосовуються з лікувальною метою у вигляді ванн і місцевих аплікацій. Пізніше, переважно у зв'язку з проблемою забезпечення європейських спа-курортів лікувальними грязями, потребами стандартизації лікувальних субстанцій і зниженням залежності бальнеологічних закладів від родовищ пелоїдів, під останніми почали розуміти також і штучні субстанції, які являють собою бентонітові глини чи їх аналоги, змішані з мінеральною водою відповідного спа-курорту. Таке трансформоване розуміння пелоїду призвело до виникнення західноєвропейського підходу, пов'язаного, в першу чергу, з оцінкою лікувальних властивостей пелоїдів на основі аналізу майже виключно їх фізико-хімічних показників та ігноруванням самого процесу пелоїдогенезу. Властивості, обумовлені діяльністю біоти, які виникають при утворенні природних пелоїдів, у випадку штучних пелоїдів, з поля зору дослідників випали взагалі.

Погляди на пелоїд як на природну біокосну систему, збереглися, в першу чергу, у східноєвропейських країнах (зокрема, й в Україні) та в Ізраїлі, де медичне використання саме природних пелоїдів має довгу історію. Вивчення біоти родовищ лікувальних грязей та тих властивостей пелоїдів, які можуть бути зумовлені її діяльністю, призвели у середині ХХ ст. до припущення про суттєву роль водоростей у процесах пелоїдоутворення, зокрема, у солоних приморських водоймах. Воно знайшло відображення у класичній теорії утворення мулових сульфідних пелоїдів, розробленій геологом Л.А. Яроцьким (1956). Проте, механізми впливу водоростей на пелоїдоутворення, умови, за яких водорості виступають агентами цього процесу, залежність якості пелоїдів від складу та структури альгоугруповань, та ціла низка інших альгологічних питань теорії пелоїдогенезу, залишаються нерозкритими ані в праці Л.А. Яроцького, ані в інших, пізніших публікаціях.

Тому проблема дослідження ролі водоростей в утворенні мулових сульфідних пелоїдів є актуальною, а її розв'язання має сприяти оптимізації експлуатації існуючих родовищ, прогресу в галузі розвідки нових родовищ, вдосконаленню технологій регенерації відпрацьованих лікувальних грязей, розробки технологій промислового виробництва квазіприродних пелоїдів, що, власне, має зробити природні лікувальні грязі відновним ресурсом.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота виконана в рамках тем наукових досліджень кафедри ботаніки і садово-паркового господарства Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького (№№ держреєстрації 0102U001021 – «Рослинний світ: його охорона, збереження та раціональне використання» (2002-2006 рр.), 0107U012780 – «Фіторізноманіття природних та антропогенних ландшафтів півдня України. Охорона, оптимізація і раціональне використання» (2008-2012 рр.), 0113U001521 «Еколого - біологічні особливості функціонування екосистем півдня степової зони України як основа збереження їх біологічного різноманіття» (2013-2015 рр.)), в рамках держбюджетних тем «Використання інтегральних біологічних індикаторів і маркерів в оцінці стану ландшафтного та біологічного різноманіття для організації моніторингу та управління природними комплексами Азово-Чорноморського регіону України» (реєстраційний номер 0109U002205, 2009-2010 рр.), «Інтегральний підхід до використання біологічних індикаторів та маркерів для створення комплексних та спеціальних моніторингових програм з біорізноманіття як складових державної програми моніторингу довкілля та адаптація до регіональних інформаційно-аналітичних центрів моніторингу довкілля в Азово-Чорноморському регіоні України» (реєстраційний номер 0111U000530, 2011-2012 рр.). Матеріали роботи використані в науково-дослідній роботі за договором №20/2006/1289 від 23.05.06 р. «Обґрунтування можливості проведення спеціальних видів геологорозвідувальних і науково – дослідних робіт, обґрунтування можливості промислової розробки природних лікувальних ресурсів для рекреаційного використання в межах гідрологічного заказника державного значення «Молочний лиман».

Мета роботи: на основі комплексного дослідження складу, структури, гідроекологічних особливостей альгоугруповань родовищ мулових сульфідних пелоїдів, процесів деструкції водоростевої біомаси та накопичення основних органічних речовин, встановити роль водоростей у процесі пелоїдоутворення (на прикладі родовищ мулових сульфідних пелоїдів північно-західного узбережжя Азовського моря) та доповнити теорію пелоїдоутворення в частині, що стосується водоростей.

Для досягнення поставленої мети були визначені такі **завдання**:

- встановити видовий склад, таксономічну структуру, домінуючі комплекси основних водоростевих угруповань у межах полігонів дослідження північно-західного узбережжя Азовського моря;
- визначити екологічні особливості водоростевих угруповань пелоїдів по відношенню до водного, сольового режимів, сапробності та біотопічної

приуроченості; визначити біомасу бентосних і планктонних водоростевих угруповань;

- дослідити швидкість процесу деструкції біомаси основних домінантів бентосних водоростевих угруповань;

- визначити особливості фізико-хімічних властивостей і вміст деяких біологічно активних речовин пелоїдів під найбільш поширеними бентосними водоростевими макроскопічними розростаннями в межах північно-західного узбережжя Азовського моря;

- з'ясувати значення макроскопічних водоростевих розростань у процесах утворення пелоїдів у гіпергалійних водоймах північно-західного узбережжя Азовського моря.

Об'єкт дослідження – водорості гіпергалійних водойм північно-західного узбережжя Азовського моря, де відбуваються процеси пелоїдоутворення.

Предмет дослідження – значення водоростей гіпергалійних водойм північно-західного узбережжя Азовського моря в утворенні мулових сульфідних пелоїдів.

Методи дослідження – польовий, камеральний, морфологічний, метод культур, світлової мікроскопії, статистичного аналізу, спектрофотометричний, мікробіологічний, газова та іонообмінна хроматографія, стандартні методи визначення фізико-хімічних властивостей пелоїдів, води та ропи, метод визначення деструкції органічної речовини водоростей, методи мікробіологічних досліджень.

Наукова новизна одержаних результатів:

- на основі комплексних досліджень альгоугруповань вперше встановлено провідну роль ціанобактеріальних матів в утворенні високоякісних мулових сульфідних пелоїдів і показано, що саме макроскопічні розростання певних видів ціанопрокаріот забезпечують: а) формування анаеробних умов, необхідних для мікробної трансформації водоростевої органічної речовини та утворення гідротроїліту; б) консервацію продуктів мікробної трансформації та захист останніх від окислення та ресуспендування; в) накопичення та депонування в пелоїдах органічних речовин, зокрема амінокислот і ліпідів; г) вертикальну мікростратифікацію пелоїдоутворюючої системи на аеробну оліго-мезосапробну еуфотичну зону, де переважають продукційні процеси, та анаеробну полісапробну зону, де відбуваються, в першу чергу, процеси мікробної трансформації органічної речовини та консервації продуктів такої трансформації;

- вперше показано, що утворення високоякісних мулових сульфідних пелоїдів відбувається в умовах періодичного пересихання гіпергалійних водойм, які зумовлюють провідну роль у процесі пелоїдоутворення саме групи амфібіальних водоростей-ціанопрокаріот;

- суттєво доповнено та уточнено теорію утворення мулових сульфідних пелоїдів Л.А. Яроцького (1956), зокрема - в частині, що стосується ролі водоростей у цьому процесі. Основні зміни та доповнення стосуються: а) встановлення провідної ролі в утворенні високоякісних мулових сульфідних

пелоїдів не планктонних, а бентосних водоростей, здатних до формування амфібіальних угруповань, у першу чергу - певних видів ціанопрокаріот; б) встановлення ролі ціанобактеріального мату як головної системи, що забезпечує при пелоїдоутворенні дію біологічного фактора; в) встановлення бар'єрної та консервуючої функції ціанобактеріальних матів; г) уточнення гідрологічних та гідроекологічних умов, за яких відбувається пелоїдоутворення;

- виділено основні водоростеві угруповання в межах полігонів дослідження північно-західного узбережжя Азовського моря, встановлено їхній видовий склад, таксономічну структуру і домінуючий комплекс;

- встановлено відношення водоростей гіпергалійних водойм, де відбувається утворення мулових сульфідних пелоїдів, до водного та сольового режимів, режиму сапробності, біотопічної приуроченості;

- встановлено, що процес деструкції органічної речовини водоростей відбувається із різною швидкістю та за участю різних груп бактерій-деструкторів, залежно від домінантного складу водоростей;

- вперше показано суттєві відміни у швидкості деструкції мортмаси зелених водоростей і ціанопрокаріот та продемонстровано можливий зв'язок швидкості цього процесу з бар'єрною функцією ціанобактеріальних матів в процесі пелоїдоутворення.

Практичне значення одержаних результатів: встановлення провідної ролі ціанобактеріальних макроскопічних розростань в утворенні високоякісних мулових сульфідних пелоїдів і з'ясування основних механізмів впливу цих розростань на процес пелоїдоутворення дозволяє, з одного боку, розпочати науково-дослідні та дослідно-конструкторські розробки технології виробництва квазіприродних пелоїдів, з іншого - вдосконалити технології отримання штучних пелоїдів для надання їм низки лікувальних властивостей, притаманних лише природним пелоїдам. Крім того, результати роботи можуть бути використані для оптимізації процесу розвідки нових родовищ мулових сульфідних пелоїдів, розробки рекомендацій щодо режиму експлуатації існуючих родовищ (зокрема, в частині, що стосується заходів для запобігання окисленню гідротроїліту й ресуспензії і подальшому окисленню біологічно активних речовин пелоїдів), покращення технологій регенерації відпрацьованих лікувальних грязей, здійснення моніторингу родовищ пелоїдів на території Приазов'я та Причорномор'я.

Отримані результати вже використовуються в моніторингу, що здійснюється Приазовським національним природним парком та увійшли до Літопису природи парку. Результати дослідження складу альгоугруповань доповнюють відомості про різноманіття водоростей України та будуть враховані під час підготовки відповідних флористичних зведень і проведенні НДР біоіндикаційного спрямування. Результати досліджень також використовуються в навчальному процесі вищих начальних закладів України.

Основне положення, яке виноситься на захист. Утворення високоякісних мулових сульфідних пелоїдів потребує виконання двох умов -

необхідної, пов'язаної з фізико-хімічними процесами та гідрологічним режимом, та достатньої, пов'язаної з біологічним, у першу чергу - водоростевим, компонентом. Необхідною умовою є надходження в мілководну солону водойму зі змінним гідрологічним режимом, який включає фази розпріснення, випаровування та пересихання, певної кількості мінеральних часток, що утворюють грубодисперсний остов і неорганічну складову тонкодисперсного комплексу. Достатньою умовою є наявність на дні водойми макроскопічних розростань певних видів амфібіальних ціанопрокаріот, що формують альгобактеріальні комплекси (мати та біоплівки), які стратифікують пелоїдоутворюючу систему на аеробну оліго-мезосапробну та анаеробну полісапробну зону і не лише продукують органічну речовину, а й створюють умови для її мікробної трансформації, утворення органічних біологічно активних речовин та гідротроїліту, зумовлюють консервацію цих продуктів, їх захист від окислення атмосферним або розчиненим у ропі киснем. У разі відсутності достатньої умови високоякісні пелоїди не утворюються.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є самостійним дослідженням автора. Обґрунтування теми дисертації, визначення напрямів і методів роботи, планування роботи, польові дослідження, альгологічна обробка зібраного матеріалу, опрацювання отриманих даних, їх аналіз та узагальнення виконані безпосередньо дисертантом. Вимірювання вмісту амінокислот і жирних кислот виконано на замовлення автора для відібраних ним зразків в Інституті біохімії імені О.В. Паладіна НАН України старшим науковим співробітником відділу біохімії ліпідів В.М. Клімашевським та головним інженером-дослідником лабораторії оптичних методів дослідження М.П. М'ясниковою. Визначення відповідності контрольних зразків приазовських пелоїдів, стандартним показникам, виконано на замовлення автора для відібраних ним зразків у хіміко-аналітичній і центрально-дослідницькій лабораторіях Сакської гідрогеологічної режимно-експлуатаційної станції І.А. Безменом. Експерименти з визначення швидкості деструкції мортмаси водоростей, визначення вмісту гумінових речовин, ферментативної активності виконані на базі лабораторії альгоекологічних досліджень наземних та водних екосистем і лабораторії біохімічних досліджень МДПУ імені Б. Хмельницького під керівництвом дисертанта сумісно з доцентом кафедри органічної та біологічної хімії МДПУ імені Б. Хмельницького В.О. Хромишевим, асистентами кафедри ботаніки МДПУ імені Б. Хмельницького С.О. Яровим та О.Г. Бреном при рівній пропорційній участі. У публікаціях, виданих у співавторстві, здобувач є головним або одним із головних членів творчого колективу, права співавторів не порушені.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи були апробовані на засіданні відділу фікології Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України, а також доповідалися на численних наукових зібраннях: Міжнародній конференції «Актуальные проблемы современной альгологии» (Харьков, 20-23 апреля 2005); Міжнародній конференції «Algae in terrestrial ecosystems» (Kaniv, September 27-30, 2005), I

Всеросійській науково-практичній конференції «Альгологические исследования: современное состояние перспективы на будущее» (Уфа, 16-18 ноября 2006), Міжнародній конференції «Біологія XXI століття: теорія, практика, викладання» (Черкаси – Канів, 1-4 квітня 2007), 5-й Міжнародній конференції «Biology and taxonomy of green algae» (Congress Center of the Slovak Academy of Sciences Smolenice-Castle, Slovakia, June 25-29, 2007); Міжнародній конференції «Современные проблемы альгологии» (Ростов-на-Дону, 9 - 13 июня 2008); Міжнародній конференції «Актуальные проблемы современной альгологии» (Київ, 26-28 мая 1999); Всеросійському симпозиумі з міжнародною участю «Современные проблемы физиологии, экологии и биотехнологии микроорганизмов» (Москва, 24-27 декабря 2009), II Всеросійській науково-практичній конференції «Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использование в мониторинге» (Сыктывкар, 5-9 октября 2009).

Публікації. За результатами дослідження опубліковано 37 наукових праць загальним обсягом 22,4 д.а.: 1 монографію у співавторстві (12,3 д.а.); 28 наукових публікацій, з яких у іноземних виданнях і наукових фахових виданнях України, які входять до міжнародних наукометричних баз – 4 (1,08 д.а., з них 0,9 д.а. – авторські); у наукових фахових виданнях України – 22 (4,375 д.а., з них авторські-3,9); у наукових виданнях, які не включені до переліку фахових видань України і входять до міжнародних наукометричних баз даних – 1 (0,375 д.а., з них авторські – 0,25), матеріалів і тез доповідей на наукових конференціях – 9.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, восьми розділів основної частини, висновків, списку використаних літературних джерел (491 найменування, з них 277 українською та російською, 214 іноземними мовами) та двох додатків. Повний обсяг дисертації становить 347 стор., з них основний текст займає 268 стор. Робота ілюстрована 56 рисунками (діаграми, картосхеми, фотографії), 19 таблицями даних.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

ВОДОРОСТІ ЯК ОДИН ІЗ ФАКТОРІВ ПРОЦЕСУ УТВОРЕННЯ МУЛОВИХ СУЛЬФІДНИХ ПЕЛОЇДІВ

У розділі подано огляд літератури, присвячений вивченню водоростей тих водойм, на дні яких відмічені поклади мулових сульфідних пелоїдів або є ознаки процесу пелоїдогенезу (Первольф, 1927; Разумов, 1934; Горленко, 1989; Герасименко и др., 1992; Заварзин и др., 1993; Садогурский и др., 1998; Виноградова О.М., 2006; Орлеанський и др., 2008, та ін.). Аналіз цих робіт свідчить, що різними авторами постулюється важлива роль водоростей в утворенні лікувальних грязей, у першу чергу - як продуцентів органічної речовини, яка надалі проходить стадію мікробної трансформації в біологічно активні речовини пелоїдів. В науковій літературі описані різноманітні за

складом і структурою планктонні та бентосні альгоугруповання, в деяких випадках - бентосні біоплівки та мати. Основна увага приділяється дослідженню видового складу водоростей родовищ мулових сульфідних пелоїдів і первинній продукції. Особливо цікавим є цикл робіт, присвячений структурі та функціонуванню ціанобактеріальних матів у гіпергалійних водоймах, а також шляхам мікробної трансформації водоростевої біомаси різними групами бактерій, особливо там, де ціанобактеріальні розростання розглядаються як моделі утворення строматолітів (Заварзин, 1993). Але, на жаль, в цих роботах відсутні оцінки можливого зв'язку водоростей із пелоїдогенезом.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕЛОЇДІВ ТА УМОВИ ЇХ УТВОРЕННЯ

Розділ присвячений аналізу етимології терміна «пелоїд», історії його використання. Зазначено, що визначення терміна «пелоїди» запропоновано в 1938 р. Комітетом міжнародного товариства медичної гідрології як «речовин, що утворюються в природних умовах під впливом геологічних процесів, і в тонкоподрібненому стані, після змішування з водою, застосовуються з лікувальною метою у вигляді ванн і місцевих аплікацій» (International Society of Medical Hydrology, 1938, цит. за: Кашинский, 1949; Иванов, 1963). У другій половині ХХ ст. в країнах Західної Європи у зв'язку з використанням у курортній справі лікувальних грязей як штучних субстанцій, що являють собою суміш глин з мінеральними водами різних спа-курортів, із розуміння терміна «пелоїд» було вилучено частину, яка характеризує пелоїд як біокосну природну систему. Як наслідок, дослідження ролі водоростей у пелоїдогенезі з європейської наукової літератури випали, проте класичні погляди на пелоїди (і, відповідно, дослідження ролі водоростей в утворенні лікувальних грязей) збереглися і наразі розвиваються в країнах пострадянського простору та в Ізраїлі.

Розглянуто склад основних структурних компонентів пелоїдів, принципи їх класифікації, лікувальні властивості та вимоги, за якими вони можуть використовуватись у бальнеологічній практиці. Надається загальна характеристика мулових сульфідних пелоїдів, які набули найбільш широкого використання у вітчизняній лікувальній практиці.

Проаналізовано теорію утворення мулових сульфідних пелоїдів за Л.А. Яроцьким (1956) та здійснено критичний аналіз її частини, що стосується участі водоростей у цьому процесі. Зазначено, що згідно до цієї теорії, роль водоростей полягає в утворенні, у першу чергу, планктонними водоростями різних таксономічних груп, органічної речовини, а сам процес пелоїдогенезу пов'язаний із гіпергалійними непересихаючими приморськими водоймами різного типу. Пересихання водойм розглядається як несприятливий чинник, при якому життєдіяльність водоростей припиняється, а новоутворені поклади пелоїдів окислюються.

ОБ'ЄКТИ, МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єкти й матеріали досліджень. Дисертаційне дослідження базується на матеріалах, зібраних на 21 полігоні під час експедиційних виїздів протягом 1997–2011 рр. Полігони розташовувалися в межах північно-західного узбережжя Азовського моря на території трьох областей – Донецької, Запорізької та Херсонської (рис. 1). До їх складу входили різноманітні за походженням і водним режимом водойми та прилеглі території, які генетично з ними пов'язані (уріз води, пересохлі ложа водойм (або зона обсихання) та підвищені незатоплювані ділянки з вищою рослинністю). Загалом відібрано та опрацьовано 618 зразків із водних біотопів; 771 зразок із водно-наземних біотопів та 396 зразків, відібраних у наземних біотопах.

Наведено опис полігонів за схемою: розташування полігону; його стисла ландшафтна характеристика; водний режим водойм, які знаходяться в межах полігону; основні гідрохімічні показники водойм; стислий геоботанічний опис рослинності; характеристика макроскопічних водоростевих розростань; органолептичні показники пелоїдів, наявних у межах полігону.

Альгологічний матеріал збирався протягом 1997-2011 років у ході маршрутних і стаціонарних досліджень. Збір матеріалу проводився за прийнятими в гідробіології та ґрунтовій альгології методиками (Абакумов, 1983; Голлербах, Штина, 1969; Топачевский, Масюк, 1984; Зилов, 2009).



Рис. 1. Територія відбору проб з позначенням розташування полігонів

Методи досліджень. Ідентифікацію водоростей проводили на основі прямого мікроскопіювання та культуральних методів за допомогою ґрунтових, ґрунтово-водних та агарових культур. Основним середовищем,

що використовувалося під час культивування, було середовище Болда з нормальним та потроєним вмістом азоту (1N BBM та 3N BBM), як із додаванням, так і без додавання витяжки з досліджуваного ґрунту (Костіков та ін., 2001).

Для оцінки таксономічних показників і складання систематичного списку водоростей району дослідження використовували систему, наведену в монографії «Водорості ґрунтів України» (Костіков та ін., 2001) з доповненнями за С.П. Вассером та П.М. Царенком (2000) та виданням серії «Algae of Ukraine» (Tsarenko et al., 2006, 2011).

Біомасу водоростей визначали традиційними об'ємно-розрахунковим та ваговим методами (Гемп, 1963; Вассер та ін., 1989).

При дослідженні біологічно-активних речовин пелоїдів визначали склад амінокислот та жирних кислот у пелоїдах та в макроскопічних розростаннях *Lyngbya aestuarii* (Mert.) Liebm. та *Cladophora siwaschensis* K.I. Mey. Аналізи виконані в Інституті біохімії імені О.В. Палладіна НАН України (м. Київ). Визначення амінокислотного складу проводили методом іонообмінної рідинно-колонкової хроматографії на автоматичному аналізаторі амінокислот Т 339 («Мікротехна», Чехія). Якісний склад суміші амінокислот аналізували шляхом порівняння хроматограми стандартної та досліджуваної сумішей амінокислот (Козаренко, 1975; Овчинникова та ін., 1974). Визначення жирнокислотного складу проводилося методом іонообмінної рідинно-колонкової хроматографії на хроматографі HRGC 5300 (Італія). Ліпідний екстракт готувався згідно з методом Е. Блай і В. Дайра (Bligh, Dyer, 1959). Ідентифікація індивідуальних жирних кислот здійснювалася за допомогою стандартів фірм Sigma і Serva.

Вивчення деструкції органічної речовини мортмаси водоростей різними групами бактерій-деструкторів проводили за методикою А.Ф. Антипчук (1979) в нашій модифікації. Інтенсивність процесу деструкції визначали за показниками зміни мортмаси макроскопічних розростань водоростей у лабораторних умовах. Для цього наважку масою 2 г поміщали в колби ємністю 1 л і заливали ропою під корок. Щільно закриті колби поміщали в термостати для експонування при середньолітній температурі 25°C і в холодильній установці для експонування при середньорічній температурі 14°C на 25 діб. Через кожні 5 діб по одній колбі вилучалося для вимірювання втрати маси наважки. Дослід проводили терміном до 300 діб.

Виділення різних фізіологічних груп мікроорганізмів-деструкторів мортмаси *Lyngbya aestuarii* та *Cladophora siwaschensis* і визначення їхньої чисельності здійснювали на сольових елективних живильних середовищах: крохмальному агарі, м'ясо-пептонному агарі, агарі зі свинячим смальцем (Антипчук, 2005). Визначення та підрахунок санітарно-бактеріологічних, потенційно патогенних бактерій пелоїдів водойм Бердянської коси та Арабатської стрілки проводили в лабораторії біологічних досліджень Сакської гідрогеологічної режимно-експлуатаційної станції.

Визначення гранулометричного (механічного) складу ґрунту та пелоїдів проводили за методом Н.А. Качинського (Качинский, 1958). Визначалися

такі фізико-хімічні властивості пелоїдів: вологість; середня густина; теплоємність; опір зсувові; засміченість мінеральними частками; вміст сульфідів FeS ; вміст H_2S ; вміст Fe^{3+} , Fe^{2+} і окисно-відновний потенціал (ОВП); мінералізація грязьового розчину (Бахман, 1965; Орадовский, 1977; Сапожников, 2003; Цыбань, 1980).

Визначення гумусу в пелоїдах проводили за методом Ю.М. Тюріна (Минеев и др., 2001; Кидин, 2008; Есаулко, 2010). Гумусові кислоти виділяли з пелоїдів за методикою Д.С. Орлова (1985) для ґрунтових гумусових кислот, яка виключає їх нагрівання. Визначення гумусових речовин і ферментативної активності проводили в лабораторії біохімічних досліджень Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького.

Статистичну обробку результатів здійснювали традиційними методами варіаційної статистики з використанням програмних продуктів Excel 2010 та Statistica 10.

ВОДОРОСТІ ДОСЛІДЖЕНИХ ПОЛІГОНІВ У МЕЖАХ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО УЗБЕРЕЖЖЯ АЗОВСЬКОГО МОРЯ

Видовий склад та екологічні особливості водоростей. На досліджених полігонах загалом виявлено 123 види водоростей, що представляють 7 відділів, 10 класів, 27 порядків, 47 родин та 68 родів (табл.1).

Видовий склад водоростей досліджених полігонів, порівняно зі звичайними як прісноводними, так і наземними біотопами степової зони України, є збідений. За видовим багатством переважають багатоклітинні та одноклітинні ціанопрокаріоти (52,9%).

Досить суттєвим є також видове багатство зелених та діатомових водоростей (17,9% та 21,1% відповідно). Загалом таксономічний спектр як на рівні відділів, так і на більш низьких рівнях свідчить, що альгофлора полігонів має комбінований характер і поєднує риси прісноводних, морських та наземних галофільних альгоугруповань.

Таблиця 1

Систематична структура водоростей полігонів дослідження в межах північно-західного Приазов'я

Відділ	Кількість таксонів				
	Класів	Порядків	Родин	Родів	Видів
<i>Cyanoprocarvota</i>	1	3	11	28	65 (52,9%)
<i>Xanthophyta</i>	1	1	1	1	1 (0,8%)
<i>Bacillariophyta</i>	2	10	15	17	26 (21,1%)
<i>Dinophyta</i>	1	1	1	1	2 (1,6%)
<i>Cryptophyta</i>	1	1	1	1	1 (0,8%)
<i>Rhodophyta</i>	1	2	3	4	6 (4,9%)
<i>Chlorophyta</i>	3	9	15	16	22 (17,9%)
Разом	10	27	47	68	123 (100%)

Дані щодо виявлених видів, їх поширення та екологічних особливостей (латинська назва, прізвище авторів, локалітет, біотоп, відносна чисельність за шестибальною шкалою рясності, діапазони солоності (згідно до Венеціанської шкали) та pH, належність до певної групи за сапробністю) та примітки наведені в анотованому списку водоростей досліджених полігонів північно-західного узбережжя Азовського моря.

Аналіз видового складу водоростей за біотопічною причетністю (гідрофільні, наземні, амфібіальні) свідчить, що за спектром біотопічних груп альгофлора полігонів має яскраві гідрофільно-амфібіальні ознаки. Так, серед 112 видів, для яких така причетність встановлена, 48% видів є гідрофільними, 44% – амфібіальними, й лише 8% – наземними. Серед гідрофільної складової переважають представники відділів *Cyanoprocaryota*, *Bacillariophyta*, *Chlorophyta*. Серед амфібіальних видів за видовим багатством абсолютно переважають ціанопрокаріоти (37 видів) (рис. 2). Переважання гідрофільно-амфібіальної складової непрямым чином може вказувати на те, що в історії утворення покладів мулових сульфідних пелоїдів чергувались періоди обводнення родовищ та їх пересихання.

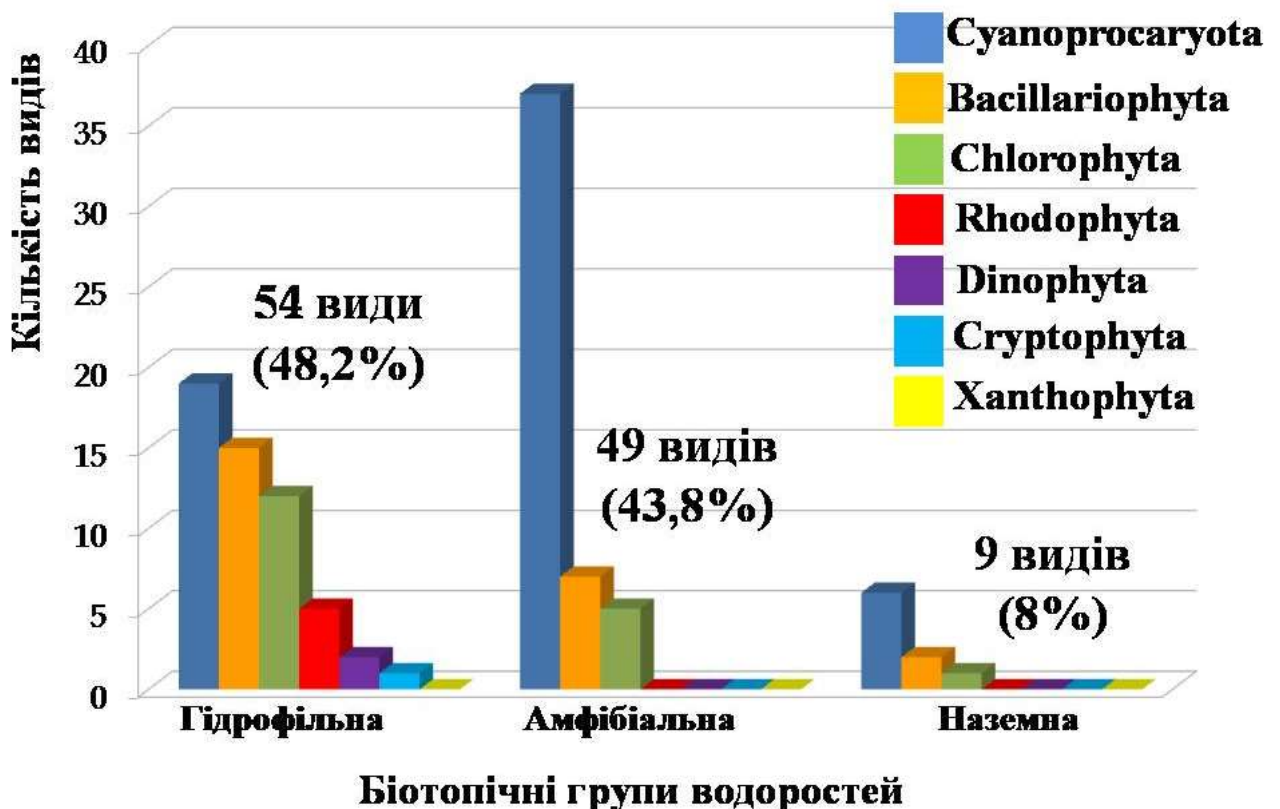


Рис. 2. Різноманітність водоростей досліджених полігонів на рівні відділів за біотопічною причетністю (гідрофільні, амфібіальні та наземні)

Аналіз видового складу по відношенню до фактора солоності дає змогу визначити сольовий режим, за якого відбувається формування покладів мулових сульфідних пелоїдів. На досліджених полігонах, згідно з Венеціанською системою, виявлено 18 груп водоростей, які різняться своїм відношенням до фактора солоності (рис. 3).

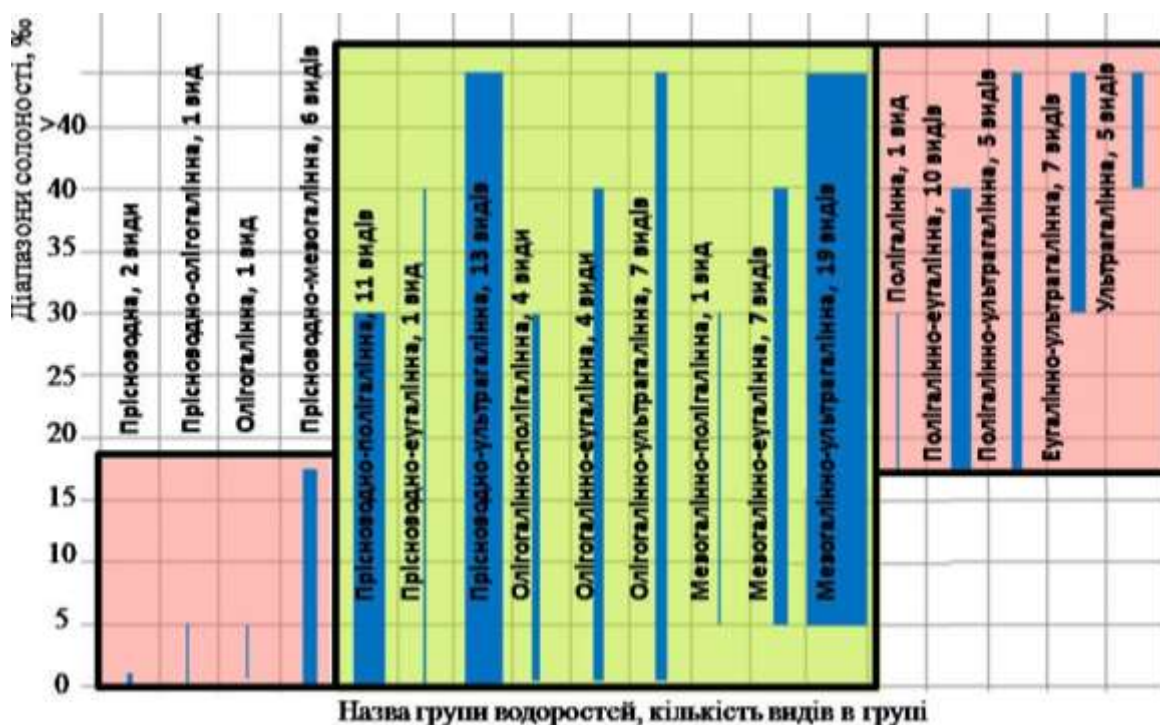


Рис. 3. Кількісний розподіл груп водоростей полігонів дослідження по відношенню до значень солоності

Серед цих груп найчисленнішою є мезогалінно-ультрагалінна (19 видів), далі йдуть прісноводно-ультрагалінна (13), прісноводно-полігалінна (11) групи. Переважання на досліджених полігонах водоростей, що здатні розвиватися в досить широкому діапазоні солоності, узгоджується з висновком аналізу біотопічної причетності: воно підтверджує, що утворення мулових сульфідних пелоїдів відбувається в умовах змінної солоності, а наявність як облігатно прісноводних, так і облігатно ультрагалінних видів може свідчити про чергування фаз розпріснення та періодичного пересихання водойм, де відбувається пелоїдоутворення.

Одним із важливих у терапевтичному відношенні складників мулових сульфідних пелоїдів є органічна речовина. Умови, за яких вона утворюється, можна проаналізувати на основі показників сапробності водойм родовищ мулових сульфідних пелоїдів. На полігонах дослідження відповідно до класифікації Пантле-Бука (Барінова и др., 2006) виявлено 10 груп водоростей-індикаторів сапробності. Переважна більшість видів має широкий індикаційний діапазон; з них найбільш різноманітно представлені водорості з групи оліго-бета-мезосапробіонтів. Аналіз індикаційної значимості видів та їх відносної чисельності свідчить, що за індексом сапробності більшість водойм полігонів є олігосапробними та бета-мезосапробними, тобто чистими та помірно чистими. Характерними рисами таких водойм є окислювальне середовище, низька концентрація сірководню та низький вміст розчиненої органічної речовини. Таким чином, аналіз сапробності вказує на існування парадоксу, оскільки високоякісні пелоїди характеризуються відновним середовищем, наявністю сірководню та гідротроїліту, підвищеним вмістом різноманітних органічних речовин, проте

водойми, де такі пелоїди утворюються, мають зовсім протилежні риси. Причини такого парадоксу розкриваються при аналізі структури альгоугруповань і пов'язані з бар'єрною функцією бентосних макроскопічних розростань ціанопрокаріот.

Угрупування водоростей досліджених полігонів. Виявлені водоростеві угруповання репрезентують біотопи трьох основних типів: водні, водно-наземні, наземні.

Загалом на досліджених полігонах за домінантно-топологічним принципом виділено 19 альгоугруповань, з яких вісім є водними (шість бентосних і два планктонних), п'ять – наземними, шість водно-наземними (два - по урізу води та чотири - у зоні обсихання).

Домінантами цих 19 типів угруповань є 14 видів водоростей із відділів *Cyanoprocaryota* (*Lyngbya aestuarii*, *Chondrocystis sarcinoides* (Elenkin) Komárek & Anagn., *Merismopedia glauca* (Ehrenb.) Kütz., *Schizothrix calcicola* Gomont, *Oscillatoria ornata* Kütz. ex Gomont, *Hydrocoleum* cf. *homoeotrichum* Kütz. ex Gomont, *Nodularia harveyana* (Thw.) Thur., *Nostoc commune* Vaucher sensu Elenkin –загалом 8 видів), *Chlorophyta* (5 видів - *Cladophora siwaschensis*, *Ulva compressa* L., *Dunaliella salina* (Dunal) Teodor., *Pseudospongiococcum protococcoides* B.V. Gromov et Mamkaeva, *Pseudendoclonium* sp.), *Bacillariophyta* (1 вид - *Nitzschia* cf. *filiformis* (W. Sm.) Schutt). Деякі види (*Lyngbya aestuarii*, *Cladophora siwaschensis* та *Chondrocystis sarcinoides*) є домінантами двох і більше угруповань. Домінування решти видів простежувалося лише в одному типі угруповань.

Серед планктонних монодомінантних угруповань найбільш поширеним типом є угруповання з домінуванням *Dunaliella salina*, яке виявлено в невеличких водоймах Бердянської коси та Арабатської стрілки. Угрупування розвивається в діапазоні солоності 46-167‰ при pH 6,6-9,0. У різних водоймах у складі цього угруповання зафіксовано до десяти видів-субдомінантів, серед яких найчастіше трапляються *Dunaliella viridis* Teodor., *Asteromonas gracilis* Artari, *Gyrosigma acuminatum* (Kütz.) Rabenh., *G. spenceri* (W.Smith) Griffith & Henfrey, *Amphora coffeaeformis* (C. Agardh) Kütz., *Fragilaria brevistriata* Grunow, *Lyngbya aestuarii*, рідше – *Rhodomonas stigmatica* (Wislouch) D.R.A. Hill. У водоймах із домінуванням *D. salina* відмічено два типи пелоїдів - сірководневі чорні неокислені та сірі окислені. Другий тип монодомінантного планктонного угруповання, де домінантом була *Oscillatoria ornata* - описаний для мілководних солоних водойм Молочного лиману (солоність близько 25‰, pH $\approx$ 7), в яких, проте, пелоїдів виявлено не було. Полідомінантних планктонних угруповань, близьких до тих, які раніше описані для великих акваторій Сиваша чи Сакського озера (угруповання з домінуванням *Oocystis* та різних видів динофітових водоростей), у водоймах досліджених нами полігонів не виявлено. Таким чином, однозначної причетності певного типу планктонного угруповання до водойм із покладами високоякісних неокислених мулових сульфідних пелоїдів не простежується.

Бентосні угруповання були представлені шістьма типами, в чотирьох з яких, домінантами виступали ціанопрокаріоти (*Lyngbya aestuarii*, *Chondrocystis sarcinoides*, *Merismopedia glauca*, *Schizothrix calcicola*), у двох - зелені водорості (*Cladophora siwaschensis* та *Ulva compressa*). Крім того, близькими до бентосних є два екотонних угруповання зони заплеску (домінанти *Lyngbya aestuarii* та *Cladophora siwaschensis*), що розвивалися по урізу води. Угруповання, утворені ціанопрокаріотами, мали вигляд водоростевих матів товщиною 2-3 мм, стратифікованих на верхню темно-зелену, оливково-зелену чи синьо-зелену зони та червоно-фіолетову, брудно-рожеву або червону нижню зони. Під цими розростаннями (ціанобактеріальними матами) в усіх випадках виявлявся тонкий або товстий шар чорного неокисленого пелоїду із запахом сірководню.

На полігонах Арабатської стрілки, Білосарайської, Бердянської, Обіточної кіс, узбережжі Молочного лиману, в урочищі Тубальський лиман і в гирловій частині р. Корсак найчастіше траплялися угруповання, утворені *Lyngbya aestuarii*. Розростання з домінуванням цього виду з поверхні мали вигляд суцільної гладкої слизької кірки, характеризувалися високим проективним покриттям (70-100%). У складі угруповання виявлялося до 17-и видів інших водоростей (переважно ціанопрокаріот та діатомей), проте їх відносна чисельність була незначною. Дане угруповання відмічено в родовищах як лиманного, так і лагунного типів у широкому діапазоні солоності (12,5-169‰) та рН (6,1-9,0). Бентосні угруповання з домінуванням *Chondrocystis sarcinoides* або *Merismopedia glauca* відмічені виключно на дні водойм лиманного типу III стадії генезису і лише на Бердянській косі. Угруповання розвивалися у відносно вузькому діапазоні солоності (26,5 - 35‰) при лужних значеннях реакції середовища (рН 8,0-9,0). Мати, утворені цими видами, мали досить високе проективне покриття (40-90%), комплекс субдомінантів був представлений осадженими видами планктонних ціанопрокаріот (*Chroococcus coherens* (Bréb.) Nägeli, *Gomphosphaeria salina* Komárek & Hindák) та діатомей (*Rhizosolenia setigera* Brightw.). Четвертий тип бентосного угруповання ціанопрокаріот, домінантом якого є *Schizothrix calcicola*, виявлений у водоймі лагунного типу II стадії генезису на Арабатській стрілці. Угруповання було моновидовим, розвивалося при солоності 76‰, значенні рН 8,5-9,0 і покривало близько 20-30% дна водойми.

Розростання *Lyngbya aestuarii* також демонструють виразні амфібіальні риси, оскільки часто розвиваються не лише в бентосі, а й у зоні заплеску, утворюючи угруповання екотонного типу. У складі такого угруповання спостерігається майже двократне зростання різноманітності супутніх видів (до 35 видів). Це угруповання, подібно до бентосного, зберігає вертикальну стратифікацію, а під ціанобактеріальним матом постійно реєструється шар неокисленого чорного мулового сульфідного пелоїду.

Серед бентосних угруповань з домінуванням зелених водоростей найбільш поширеним є угруповання *Cladophora siwaschensis*. Це угруповання виявлено на Білосарайській, Бердянській та Обіточній косах. Воно розвивається у мілководних водоймах (глибина 30-70 см) при солоності 45 -

169‰ та значеннях рН від 6,5 до 9,0 і має вигляд зеленого, темно-зеленого чи бурого жабурина, що утворює на дні повстисті плетива у вигляді «килима» до 5-10 см завтовшки та має проективне покриття до 40-70%. При повному пересиханні водойм знебарвлені мертві таломі кладофори часто вкривають суцільним шаром поверхню пересохлого ложа водойм. Комплекс супутніх видів цього угруповання характеризується високою різноманітністю діатомових водоростей, серед яких найчастіше трапляються *Gyrosigma acuminatum*, *Craticula ambigua* (Ehrenberg) D.G.Mann, *Hantzschia amphioxys* (Ehrenb.) Grunow in Cleve et Grunow, *Nitzschia cf. filiformis*, *Amphora coffeaeformis*. Під бентосним угрупованням із домінуванням *Cladophora siwaschensis* зазвичай спостерігаються сірі окислені мулові сульфідні пелоїди.

Макроскопічні розростання *Cladophora siwaschensis*, подібно до ціанобактеріальних матів *Lyngbya aestuarii*, демонструють здатність до виживання у водно-наземних умовах, зокрема, при винесенні їх з водойми в нагін, утворюючи другий тип екотонних угруповань зони заплеску на Білосарайській, Бердянській та Обіточній косах. Цікаво, що на полігонах Білосарайської та Обіточної кіс розростання *Cladophora siwaschensis* по урізу води розвивалися на ціанобактеріальному маті, утвореному *Lyngbya aestuarii*.

Ще одне бентосне угруповання зелених водоростей у водоймах, де відмічені поклади мулових сульфідних пелоїдів, характеризується домінуванням *Ulva compressa*. Воно виявлено на полігонах в акваторії Молочного лиману у водоймах лиманного типу із невисокими показниками солоності – від 16,0 до 24,7‰ та при рН, близькому до нейтрального (7,2). Водорості не утворювали зімкненого покриву й були представлені різної щільності скупченнями таломів макрофітів, прикріплених до дна. Найпоширенішими супутніми видами були інші морські зелені водорості-макрофіти, зокрема, *Ulva linza* L. та *Ulva intestinalis* L. Незважаючи на наявність покладів пелоїдів у водоймах з угрупованням *Ulva compressa*, безпосередньо під самими угрупованнями даного типу пелоїди були відсутні.

Угруповання зони обсихання розвиваються у другій половині вегетаційного сезону внаслідок повного або часткового випаровування мілководних водойм полігонів. У зоні обсихання різних водойм виявлено чотири типи водоростевих угруповань. З них два (з домінуванням *Lyngbya aestuarii* та *Chondrocystis sarcinoides*) є похідними від відповідних бентосних угруповань, два інших (з домінуванням *Hydrocoleum cf. homoeotrichum* та *Nitzschia cf. filiformis*) виявлені лише у зоні обсихання. Угруповання *Lyngbya aestuarii* є поширеним на полігонах коси Арабатська стрілка та Бердянської коси. Воно виглядає як гладка щільна кірка чорного, темно-зеленого чи темно-брудно-рожевого кольору, яка зазвичай вкриває 70-90% поверхні ложа пересохлої водойми. На прикопках добре простежується стратифікація, характерна для відповідного бентосного ціанобактеріального мату. В супутньому комплексі виявлено до 12-и видів водоростей, серед яких субдомінантів представляють ціанопрокаріоти, поширені як у водних, так і в наземних біотопах - *Leptolyngbya perelegans* (Lemmerm.) Anagn. et Komárek,

Microcoleus chthonoplastes Thur., *Leptolyngbya boryana* (Gomont) Anagn. et Komárek. Угрупування з домінуванням *Chondrocystis sarcinoides* виявлено на поверхні пересохлих водойм на території заказника державного значення «Заплава р. Берда» в континентальній частині Бердянської коси. Розростання домінанта мають вигляд полігональних помірно крихких кірок сірого кольору. Супутні види представляють гідрофільні, наземні та амфібіальні діатомеї та ціанопрокаріоти (зокрема, *Amphora coffeaeformis*, *Hantzschia amphioxys*, *Trichormus variabilis* (Kütz. ex Bornet et Flahault) Komárek et Anagn.). Угрупування з домінуванням *Hydrocoleum cf. homoeotrichum* виявлені на Бердянській косі. Вони представлені щільними слизькими на дотик ціанобактеріальними матами оливкового та майже чорно-зеленого кольорів. Супутні види представлені ціанопрокаріотами (зокрема, *Microcoleus chthonoplastes* та *Lyngbya semiplena* J. Agardh ex Gomont). В усіх випадках під угрупованнями зони обсихання з домінуванням ціанопрокаріот (*Lyngbya aestuarii*, *Chondrocystis sarcinoides*, *Hydrocoleum cf. homoeotrichum*) під розростаннями водоростей виявлявся шар чорного мулового сульфідного пелоїду з характерним запахом сірководню.

В зоні обсихання у водоймах гирлової частині р. Корсак було виявлено також угруповання, де домінантом була діатомея *Nitzschia cf. filiformis*, а субдомінантом – *Lyngbya aestuarii*. Угрупування мало вигляд поверхневого дисперсного «цвітіння» коричнево-зеленого кольору. Це «цвітіння» в межах зони обсихання було локальним, суцільного покриття не утворювало. Під макроскопічними розростаннями водоростей виявлено сірий окислений муловий сульфідний пелоїд.

На незатоплюваних підвищених ділянках, прилеглих до водойм з покладами пелоїдів, було виявлено п'ять типів угруповань, з яких чотири угруповання (синьо-зелені біоплівки ціанопрокаріот *Lyngbya aestuarii* та *Nodularia harveyana*, червоне «цвітіння» ґрунту, зумовлене масовим розвитком кокоїдної зеленої водорості *Pseudospongiococcum protococcoides* та повстисті розростання гетеротрихальної зеленої водорості *Pseudendoclonium* sp.) як за морфологічними ознаками розростань, так і за складом супутніх видів відповідали раніше описаним едафофільним водоростевим угрупованням солончаків, а одне (з домінуванням *Nostoc commune*) - поширеному едафофільному альгоугрупованню трав'янистих фітоценозів степової зони України на незасолених, солонцюватих і солончакових ґрунтах із підвищеним вмістом кальцію та карбонатів. Під жодним із цих типів едафофільних угруповань пелоїди не були виявлені.

Таким чином, між певними типами альгоугруповань та наявністю певних типів мулових сульфідних пелоїдів виявлено наступний зв'язок: високоякісні чорні неокислені пелоїди реєструються під водоростевими матами, утвореними ціанопрокаріотами (в першу чергу, *Lyngbya aestuarii* та *Chondrocystis sarcinoides*) в бентосі, зоні заплеску та зоні обсихання солоних водойм. Сірі окислені мулові сульфідні пелоїди виявляються під жабуринням, утвореним макроскопічними розростаннями зелених водоростей (*Cladophora siwaschensis*) на дні та в зоні заплеску, та можуть

траплятися в зоні обсихання під макроскопічними розростаннями галофільних діатомових водоростей. Під розростаннями морських зелених водоростей-макрофітів та під розростаннями водоростей, що є домінантами типових едафотрофних альгоутгруповань, будь-які пелоїди відсутні.

ДЕСТРУКЦІЯ ВОДОРОСТЕВОЇ ОРГАНІЧНОЇ РЕЧОВИНИ ТА ЇЇ УЧАСТЬ В УТВОРЕННІ ПЕЛОЇДІВ

Для з'ясування причин, які зумовлюють зв'язок певного типу альгоутгруповання (утвореного ціанопрокаріотами чи еукаріотами) з типом пелоїду (неокисленим або окисленим) було проаналізовано швидкості деструкції мортмаси водоростевих матів, утворених *Lyngbya aestuarii* та *Cladophora siwaschensis*. Аналіз літератури щодо закономірностей деструкції водоростевої органічної речовини (Бонч-Осмоловская и др., 1987; Бикбулатов, 1979; Дзюбан, 2007, Черняковская, 2010) свідчить, що цей процес для представників різних відділів водоростей у водоймах із підвищеною концентрацією солей досліджений недостатньо.

Найбільш універсальним і широко застосовуваним показником розкладання органічної речовини є зміна в часі абсолютно сухої маси водоростевих розростань. В лабораторних експериментах по визначенню швидкості деструкції мортмаси водоростевих матів *Cladophora siwaschensis* та *Lyngbya aestuarii* з коси Арабатська стрілка та Бердянської коси визначали швидкості втрати біомаси розростань за різних температурних режимів, динаміку змін показників Eh, рН та вмісту розчиненого кисню в ропі, динаміку змін показників кількості колонієутворюючих одиниць (КУО) цукролітичних, протеолітичних та ліполітичних бактерій. У результаті було встановлено, що деструкція матів ціанопрокаріот відбувається приблизно на порядок повільніше, ніж розростань зелених водоростей (рис. 4).

Так, залежно від температури, $\frac{1}{4}$ частина біомаси *Cladophora siwaschensis* розкладається за 2-4 тижні, тоді як аналогічна частина біомаси *Lyngbya aestuarii* - за 8-10 місяців. Крім того, розклад мортмаси *Lyngbya aestuarii*, на відміну від *Cladophora siwaschensis*, відбувається не рівномірно, а в два етапи: на першому (до 120-150 діб) втрати біомаси не перевищують 2%, далі швидкість деструкції суттєво зростає, зумовлюючи зменшення біомаси водоростей протягом наступних 120-150 діб на 20-40%. Динаміка втрати біомаси добре узгоджується з динамікою змін чисельності функціональних груп бактерій - цукролітичних, протеолітичних та ліполітичних. У матах, утворених зеленою водорістю *Cladophora siwaschensis*, мортмаса розкладається приблизно одночасно зпівставними між собою кількостями цукролітичних, протеолітичних та ліполітичних бактерій. Чисельність кожної з цих груп за кількістю КУО досягає максимуму на 14-16 добу, й далі поступово знижується.

Мортмасу матів, утворених ціанопрокаріотом *Lyngbya aestuarii*, першими починають розкладати протеолітичні (їх максимальний розвиток за кількістю КУО припадає приблизно на 30-у добу) та ліполітичні бактерії (з максимумом на 60-у добу). На початку другого етапу деструкції (120-150 доба)

протеолітичні та ліполітичні бактерії в маті не виявляються, натомість з'являються та досягають максимальної чисельності (за кількістю КУО) цукролітичні бактерії. При цьому кількість їх КУО на 1-3 порядки перевищує максимальні значення чисельності протеолітичних і ліполітичних бактерій.

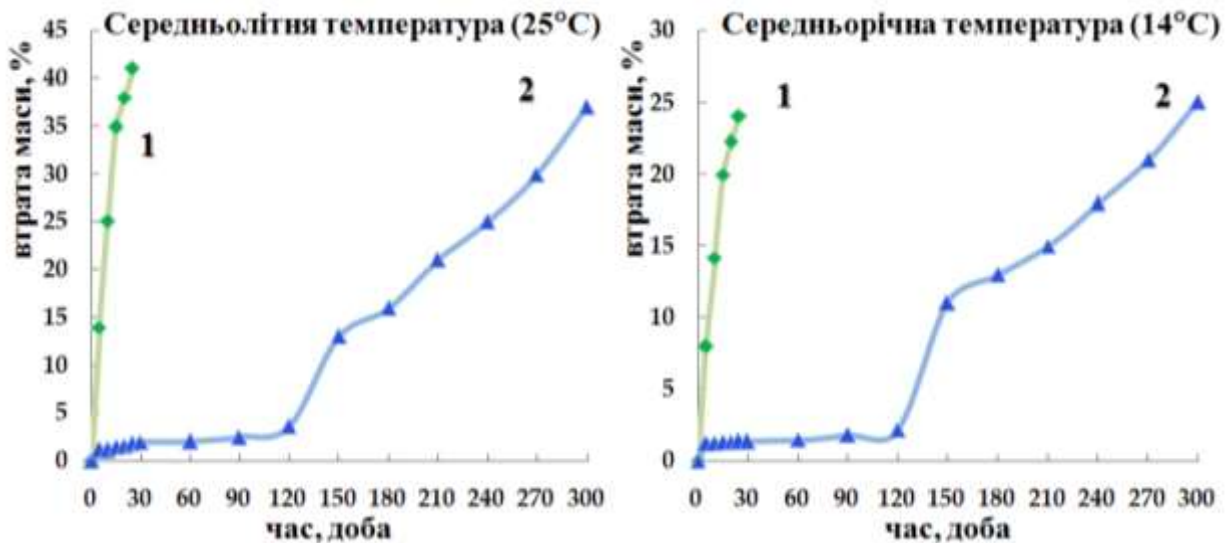


Рис. 4. Відмінності у швидкості деструкції мортмаси *Cladophora siwaschensis* (1) та *Lyngbya aestuarii* (2) на прикладах значень середньолітньої (ліворуч) та середньорічної (праворуч) температур

Динаміка змін вмісту розчиненого у воді кисню (у дослідях по деструкції мортмаси водоростевих матів прокаріот та еукаріот із Бердянської коси та Арабатської стрілки) свідчить, що мортмаса *Cladophora siwaschensis* розкладається в аеробних умовах, при цьому концентрація кисню поступово знижується з 1-ї до 25-30 доби - з 3,8 мг/л до 1,1 мг/л), і далі залишається сталою, через що анаеробні умови у ропі не виникають. При розкладі мортмаси *Lyngbya aestuarii* вміст кисню також поступово знижувався з 1-ї до 30-ї доби (від 3,8 мг/л до 0,03 мг/л), після чого кисень у ропі вже не виявлявся. Таким чином, максимальна швидкість деструкції мортмаси ціанопрокаріотного мату спостерігалась в анаеробних умовах, при чому саме на такі умови припадали максимуми чисельності ліполітичних та цукролітичних бактерій.

Загальні тенденції зміни Eh та рН ропи, в якій відбувається деструкція ціанопрокаріотних та еукаріотичних водоростевих матів, загалом, схожі: окисно-відновний потенціал ропи, значення якого в різних водоймах коливається в межах зон перехідного окисно-відновного чи відновного середовища (+7 ... - 18 мВ), з початком дослідів стабілізується, й коливається лише в межах зони, що відповідає виключно відновному середовищу (-5 ... - 24 мВ). Аналогічна картина спостерігається за рН: з початком дослідів рН ропи, значення якого в різних водоймах коливалось в діапазоні 6,8-7,3, підвищується на 0,1-0,3 і з незначними коливаннями стабілізується в межах 7,1-7,5.

Відсутність суттєвих відмін у динаміці змін Eh та рН ропи та наявність суттєвої різниці в темпах деструкції водоростевої мортмаси, різниця у складі та

кількості бактерій різних функціональних груп у дослідах із розростаннями зелених водоростей (*Cladophora siwaschensis*) та ціанопрокаріот (*Lyngbya aestuarii*) свідчать, що саме таксономічна причетність водоростей-домінантів на рівні відділів є тим чинником, який визначає відмінності між чорними та сірими муловими сульфідними пелоїдами. Сутність дії цього чинника пов'язана не стільки з продукційними процесами, скільки з різним субстратом для мікробної трансформації, яку здійснюють різні бактеріальні угруповання, з різною здатністю до консервації продуктів трансформованої бактеріями органічної речовини та із захистом цих продуктів від окислення протягом тривалого періоду - як мінімум, від одного вегетаційного сезону до наступного.

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ТА САНІТАРНО-БАКТЕРІОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕЛОЇДІВ ПІД РОЗРОСТАННЯМИ ЦІАНОПРОКАРІОТ ТА ЗЕЛЕНИХ ВОДОРОСТЕЙ

Наводяться результати визначення фізико-хімічних характеристик пелоїдів під бентосними угрупованнями *Lyngbya aestuarii* та *Cladophora siwaschensis*, встановлено відповідність цих характеристик нормативам мулових сульфідних пелоїдів. Пелоїди під розростаннями *Lyngbya aestuarii* за органолептичними показниками (забарвлення, пластичність, наявність запаху сірководню, відсутність запаху меркаптанів) відповідають ознакам чорних неокислених мулових сульфідних пелоїдів, які вважаються лікувальними грязями з найбільш високими терапевтичними властивостями. Пелоїди під *Cladophora siwaschensis* за цими ж показниками відповідають окисленим сірим муловим сульфідним пелоїдам, що вважаються менш якісними в терапевтичному відношенні субстанціями, для яких основною сферою використання є косметологія. Належність обох типів пелоїдів до лікувальних визначається відповідністю їхніх параметрів низці критеріїв, передбачених нормативами для лікувальних типів пелоїдів.

Ці параметри та їх відповідність нормативам були визначені для чорних неокислених пелоїдів, відібраних під матами *Lyngbya aestuarii*, та сірих окислених пелоїдів, відібраних під розростаннями *Cladophora siwaschensis* на полігонах коси Арабатська стрілка та Бердянської коси (табл. 2).

За фізичними (вологість, середня густина, теплоємність, опір зсувові) та хімічними (рН, Eh, мінералізація грязьового розчину, вміст органічної речовини) показниками обидва типи пелоїдів повністю відповідали критеріям лікувальних грязей. За механічним складом (засміченість мінеральними частками 0,25 мм) критерію відповідали чорні пелоїди з-під розростань *Lyngbya aestuarii*. Проте засміченість частками понад 0,25% в сірих пелоїдах під розростаннями *Cladophora siwaschensis* майже втричі перевищувала граничне значення нормативу.

Аналіз низки додаткових показників (вміст сульфідів та гідротроїліту, значень Eh) дав змогу провести порівняльну оцінку якості пелоїдів під розростаннями ціанопрокаріот і зелених водоростей. Вміст сульфідів, у тому числі й H_2S , у лікувальних грязях не нормується (діапазон значень становить

від 0,01 до 0,5% і вище на сирий пелоїд), проте у порівняльному відношенні визначає якість лікувального пелоїду, оскільки найкращі чорні пелоїди Сакського озера та Мертвого моря характеризуються вмістом сульфідів в межах 0,5% і вище. Саме до такого значення наближений вміст сульфідів у чорних пелоїдах з-під розростань *Lyngbya aestuarii*. В сірих пелоїдах з-під угруповань *Cladophora siwaschensis* цей показник майже вдвічі нижчий.

Таблиця 2

Фізико-хімічні показники пелоїдів під різними домінантами бентосних водоростевих розростань та їх відповідність нормативам

Показник	Домінант <i>Lyngbya aestuarii</i>	Домінант <i>Cladophora siwaschensis</i>	Нормативи для лікувальних типів пелоїдів
Вологість, %	42,5±1,5	50,5±1,5	45-75
Середня густина, г/см ³	1,57±0,08	1,48±0,07	1,1-1,7
Теплоємність, кал/г × град	0,52±0,05	0,60±0,05	0,5-0,8
Засміченість мінеральними частками 0,25 мм, % на сирий пелоїд	1,95±0,03	8,45±0,04	Не більше ніж 3,0
Вміст сульфідів FeS, % на сирий пелоїд	0,49±0,04	0,26±0,07	Не нормується
у тому числі H ₂ S, % на сирий пелоїд	0,19±0,02	0,10±0,01	Не нормується
Fe ²⁺ , мг/100 г сухої речовини	536,0±3,3	300,75±2,7	Не нормується
Fe ³⁺ , мг/100 г сухої речовини	467,0±2,8	140,4±1,0	Не нормується
Співвідношення Fe ³⁺ / Fe ²⁺	0,87±0,08	0,47±0,06	Не нормується
Опір зсувові, дин/см ²	3372±22	3556±24	1500-4000
pH грязі	7,00±0,05	7,15±0,09	6,0-9,0
Окисно-відновний потенціал, мВ	-205±4	-170±3	0 ... -500
Мінералізація грязьового розчину, г/л	142,7±5,2	163,5±8,4	1,0-350,0

Найважливіший показник якості мулових сульфідних пелоїдів - вміст колоїдного Ферум гідросульфіді (гідротроїліту). Якість пелоїду є тим кращою, чим вищий вміст гідротроїліту. Цей показник у пелоїдах з-під *Lyngbya aestuarii* у 2,5 рази вищий, ніж в сірих пелоїдах під розростаннями *Cladophora siwaschensis*. Високим вмістом гідротроїліту також пояснюються відмінності кольору пелоїдів під матами ціанопрокаріот і зелених водоростей.

Суттєвий показник якості пелоїдів (у межах діапазону, визначеного нормативом) - значення окисно-відновного потенціалу: до порогових значень у діапазоні -200 ... -250 мВ зниження Eh узгоджується з уявленнями про підвищення якості пелоїду. Подальше зниження редокс-потенціалу однозначної оцінки з точки погляду терапевтичних властивостей не має. За значеннями окисно-відновного потенціалу чорні пелоїди з-під розростань ціанопрокаріот (Eh = -205 мВ) однозначно перевищують за якістю сірі пелоїди з-під розростань зелених водоростей (Eh = -170 мВ). В обох типах

пелоїдів окисно-відновний потенціал в 10-30 разів нижчий, ніж у ропі під час деструкції мортмаси. Це є прямою вказівкою на те, що формування якісних показників пелоїдів пов'язано з процесами трансформації та консервації продуктів мікробної переробки, які відбуваються не в ропі, а під водоростевими розростаннями, причому під впливом самих цих розростань.

Також наведено результати санітарно-бактеріологічного аналізу (загальне мікробне число, титр лактозопозитивних паличок, титр-перфрингенс, кількість КУО патогенного стафілококу та синьогнійної палички) для чорних і сірих пелоїдів, відібраних на косі Арабатська стрілка та Бердянській косі під матами *Lyngbya aestuarii* та *Cladophora siwaschensis*. Результати свідчать, що обидва типи пелоїдів відповідають нормативним санітарно-бактеріологічними вимогам до пелоїдів.

Таким чином, пелоїди під розростаннями *Lyngbya aestuarii* та *Cladophora siwaschensis* за фізико-хімічними та санітарно-бактеріологічними показниками відповідають критеріям МОЗ, встановленим для лікувальних грязей (за винятком засміченості частками, більшими від 0,25 мм, яка перевищує норматив у сірому пелоїді). За конкретними значеннями параметрів досліджені чорні та сірі пелоїди належать до дуже високомінералізованих слабкосульфідних хлоридних магнієво-натрієвих пелоїдів приморського типу. За додатковими показниками найбільш цінними в терапевтичному відношенні є чорні пелоїди з-під ціанопрокаріотних матів *Lyngbya aestuarii*. Якість сірих пелоїдів з-під розростань *Cladophora siwaschensis* значно нижча.

БІОЛОГІЧНО-АКТИВНІ РЕЧОВИНИ ПЕЛОЇДІВ ПІД БЕНТОСНИМИ ВОДОРОСТЕВИМИ РОЗРОСТАННЯМИ З РІЗНИМИ ДОМІНАНТАМИ

Гумусові речовини. Найважливішими компонентами органічної речовини пелоїдів є гумусові речовини (гумус). До складу гумусових речовин входять гумін і гумусові кислоти (гумінові та фульвокислоти). З гумусовими речовинами значною мірою пов'язують біологічну активність пелоїдів та їх бальнеологічні особливості (Косьянова, 1985; Орлова, 1993). Гумусові речовини наявні виключно у природних пелоїдах, і не відмічені в штучних. Цікаво, що наявність гумусових речовин є також найважливішою ознакою біокосних систем (наприклад, ґрунтів). У ґрунтах ці речовини визначають функціонування іонообмінних комплексів, що дає змогу припустити можливу аналогічну роль цих речовин і в пелоїдах (на жаль, літературних даних з цієї проблеми щодо пелоїдів ми не виявили).

Показано, що в мулових сульфідних пелоїдах Приазов'я вміст гумусових речовин коливався в межах 0,53 - 1,54%. За цими показниками пелоїди досліджених полігонів близькі до пелоїдів Тамбуканського (м. П'ятигорськ, Росія) та Чокрацького (м. Керч, Україна) озер. Найвищий вміст гумусу зафіксований у сірих окислених пелоїдах на Бердянській косі ($1,54 \pm 0,02\%$) під розростаннями *Cladophora siwaschensis*, найменший – в чорних неокислених пелоїдах під розростаннями ціанопрокаріоти *Lyngbya*

aestuarii на косі Арабатська стрілка ($0,66 \pm 0,05\%$) та в околицях с. Строганівка ($0,53 \pm 0,07\%$). Проте загальна тенденція щодо кількості гумусу, здається є більш залежною від загальної біомаси водоростевих розростань, які розвиваються над пелоїдами: чим вона вища, тим вищий вміст гумусу в пелоїді ($r=0,73$).

Вміст гумінових кислот показує від'ємну кореляцію зі значеннями біомаси розростань ($r = -0,85$). Так, найвищий вміст як гумінових ($1,30 \pm 0,04$), так і фульвокислот ($1,02 \pm 0,04\%$) відмічено в чорних неокислених пелоїдах під матами ціанопрокаріоти *Lyngbya aestuarii* (Молочний та Тубальський лимани, відповідно), де показники біомаси водоростевих розростань були найнижчими.

Ферментативна активність пелоїдів гіпергалійних водойм досліджених полігонів. Наводяться дані оцінки ферментативної активності (каталазної, інвертазної, уреазної, фосфатазної, дегідрогеназної та пероксидазної) чорних неокислених пелоїдів під розростаннями *Lyngbya aestuarii* (шість полігонів) та сірого окисленого пелоїду під *Cladophora siwaschensis* (один полігон). Згідно зі шкалою Д. Г. Звягінцева (Звягинцев, 1992), запропонованою для ферментативної активності ґрунтів, значення активності можуть розглядатися як показник ступеня збагаченості пелоїду відповідною групою ферментів. Оскільки ферменти в біокосних системах розглядаються як продукти життєдіяльності різних груп мікроорганізмів, оцінки ступеню збагачення ними таких систем певним чином можуть бути використані для реєстрації ступеню відмінностей мікробних ценозів під різними водоростевими угрупованнями.

За оцінками ферментативної активності як чорні, так і сірі пелоїди характеризуються як біокосні системи з дуже низьким та низьким ступенем забезпеченості каталазами, уреазами, фосфатазами та дегідрогеназами. Найвищий ступінь забезпеченості відмічений для інвертази (діапазон відповідає оцінкам «низька-середня»). Як максимальні, так і мінімальні значення активності всіх груп ферментів припадають на чорні неокислені пелоїди; ферментативна активність у зразку сірого пелоїду знаходиться в межах значень, встановлених для чорних пелоїдів. Для деяких ферментів виявлено кореляції їх активності в пелоїді з біомасою водоростевих розростань або солоністю ропи. Так, із солоністю ропи позитивно корелює активність інвертази ($r = 0,66$), негативно - активність пероксидази та каталази ($r = -0,83$ та $-0,63$, відповідно). З біомасою водоростевого розростання позитивно корелює лише активність уреаз ($r = 0,59$).

Таким чином, за ферментативною активністю чітких відмінностей між пелоїдами під розростаннями ціанопрокаріот та зелених водоростей виявлено не було, хоча відмічена тенденція реєстрації більш високих значень такої активності в чорних неокислених мулових сульфідних пелоїдах.

Амінокислотний склад різних бентосних макроскопічних розростань водоростей і пелоїдів під ними. Вміст амінокислот вважається одним із показників біологічної активності пелоїдів (Зотова, 1990), а джерелом, яке забезпечує надходження амінокислот в пелоїди - водна біота (Холопов, 2003; Сиренко, 1988; Solonenko, 2014). В літературі наводиться достатньо відомостей про якісний та кількісний склад амінокислот у прісноводних та морських екосистемах, а також у водоростей різних таксономічних груп, на підставі чого, сформульовано твердження про суттєву чи навіть вирішальну роль водоростей у формуванні амінокислотного спектра в прісних водоймах та морях. Проте, дані про амінокислотні спектри мулових сульфідних пелоїдів дуже обмежені, а про амінокислотний склад водоростей, що утворюють основні типи макроскопічних розростань у родовищах пелоїдів Приазов'я - відсутні взагалі. Для з'ясування ролі водоростей у формуванні амінокислотного спектра чорних неокислених та сірих окислених мулових сульфідних пелоїдів на двох полігонах (коса Арабатська стрілка та Бердянська коса) був проаналізований якісний та кількісний склад амінокислот як в обох цих типах пелоїдів, так і в розташованих над ними водоростевих матах *Lyngbya aestuarii* та *Cladophora siwaschensis*.

В обох типах пелоїдів, як і в розростаннях обох видів водоростей, було виявлено 17 амінокислот. Амінокислотні спектри пелоїдів та відповідних водоростевих розростань за відносним вмістом кожної конкретної амінокислоти (від 0,001 до 0,157% на суху речовину) були схожі (рис. 5): коефіцієнт кореляції амінокислотних спектрів чорного неокисленого пелоїду та ціанопрокаріотного мату *Lyngbya aestuarii* становив 0,92, спектрів сірого окисленого пелоїду та еукаріотичного мату *Cladophora siwaschensis* дорівнював 0,98. Наявність такого сильного зв'язку підтверджує припущення про те, що саме відповідні бентосні угруповання водоростей є основним джерелом надходження амінокислот у розташовані під ними пелоїди.

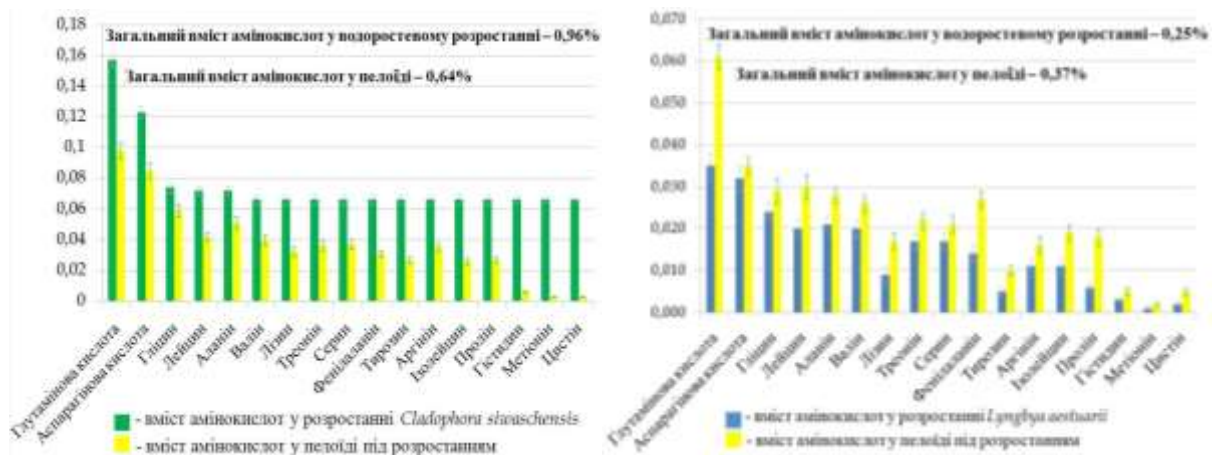


Рис. 5. Спектри амінокислот у чорних пелоїдах і розростаннях *Lyngbya aestuarii* (ліворуч) та у сірих пелоїдах і розростаннях *Cladophora siwaschensis* (праворуч)

Проте тенденції накопичення амінокислот у пелоїдах істотно відрізняються: у чорних сульфідних неокислених пелоїдах вміст амінокислот є вищим, ніж у розташованих над ними розростаннях *Lyngbya aestuarii*, у сірих окислених пелоїдах, навпаки, вміст амінокислот нижчий, ніж у розростаннях *Cladophora siwaschensis*. Це свідчить про те, що під розростаннями ціанопрокаріот відбувається акумуляція амінокислот, тоді як під розростаннями зелених водоростей спостерігається так званий «ефект згоряння» амінокислот, ймовірно, внаслідок окислення останніх або їх ресуспендування.

Жирнокислотний склад різних бентосних макроскопічних розростань водоростей і пелоїдів під ними. Суттєвим фактором, що визначає лікувальні властивості пелоїдів, є їх антиоксидантна активність, яка, зумовлена, зокрема, якісним та кількісним складом жирних кислот, у тому числі - ненасичених. З поліненасиченими жирними кислотами пов'язують також низку інших істотних терапевтичних властивостей лікувального мулу. Тому на прикладі чорних та сірих пелоїдів під розростаннями *Lyngbya aestuarii* та *Cladophora siwaschensis* були проаналізовані спектри жирних кислот відповідних лікувальних грязей та розташованих над ними водоростевих угруповань (табл. 3).

У пелоїдах, а також у бентосних макроскопічних розростаннях водоростей (*Lyngbya aestuarii*, *Cladophora siwaschensis*) виявлено 35 жирних кислот, з яких 17 – насичені, 18 – ненасичені. Коефіцієнт кореляції спектрів жирних кислот за відсотком кожної конкретної жирної кислоти в сірих пелоїдах та розростаннях *Cladophora siwaschensis* становив 0,58, для чорних пелоїдів та розростань *Lyngbya aestuarii* дорівнював 0,65.

Показники співвідношень насичених та ненасичених жирних кислот у системах «сірий пелоїд - еукаріотичний водоростевий мат» та «чорний пелоїд - ціанопрокаріотний мат» були помітно відмінними. Так, у першій системі ненасичені жирні кислоти переважали над насиченими. У другій системі переважання ненасичених жирних кислот над насиченими відмічено лише у водоростевих розростаннях, тоді як у самому чорному пелоїді переважали насичені жирні кислоти. У сірому пелоїді та в розростаннях *Cladophora siwaschensis* серед насичених жирних кислот переважала пальмітинова кислота, а у розростаннях *Lyngbya aestuarii* - пальмітинова та арахідова. Проте в чорному неокисленому пелоїді переважаючою насиченою жирною кислотою була лауринова кислота. Слід зазначити, що серед насичених ЖК саме для лауринової кислоти в літературі наводяться відомості про її антибактеріальну та імуностимулюючу активність, а також здатність покращувати регенеративні можливості шкіри. Серед ненасичених жирних кислот в обох типах пелоїдів і в розростаннях *Lyngbya aestuarii* переважала арахідонова кислота, тоді як в розростаннях *Cladophora siwaschensis* - олеїнова. Цікаво, що з трьох есенціальних омега-3 полієнів (ліноленова, ейкозапентаєнова, докозагексаєнова жирні кислоти) як у пелоїдах, так і в розростаннях водоростей виявлено лише одну - ліноленову жирну кислоту

вміст, якої був найвищим у ціанопротоканіотному маті (1,73%) та чорному неокисленому пелюїді (0,99%).

Таблиця 3

Спектр жирних кислот у бентосних макроскопічних розростаннях водоростей і пелюїдах досліджених полігонів

Кислота	Домінант <i>Cladophora siwaschensis</i> (полігон 2a)		Домінант <i>Lyngbya aestuarii</i> (полігон 17)	
	Макроскопічні розростання водоростей	Пелюїди під розростаннями водоростей	Макроскопічні розростання водоростей	Пелюїди під розростаннями водоростей
Насичені жирні кислоти				
пальмітинова	35,51±0,44	18,25±0,28	12,64±0,15	8,42±0,12
міристинова	5,16±0,10	1,26±0,05	1,38±0,06	1,99±0,04
стеаринова	1,55±0,09	2,93±0,09	3,95±0,07	3,11±0,06
бегенова	1,49±0,09	2,27±0,08	4,17±0,09	4,12±0,06
арахінова	1,27±0,09	3,55±0,09	12,20±0,14	0,27±0,02
ундецилова	0,75±0,08	1,05±0,06	0,60±0,03	5,76±0,07
ізостеаринова	0,53±0,05	1,29±0,05	0,93±0,04	0,90±0,04
маргарінова	0,44±0,04	0,85±0,04	1,05±0,02	0,55±0,03
лауринова	0,39±0,04	1,87±0,07	1,33±0,05	16,41±0,16
генейкозанова	0,34±0,03	0,92±0,04	0,86±0,04	0,53±0,03
тридеканова	0,26±0,03	0,59±0,03	0,98±0,04	2,12±0,05
ізопальмітинова	0,19±0,02	0,50±0,03	0,12±0,01	4,39±0,09
капринова	0,17±0,02	0,13±0,01	1,08±0,04	0,44±0,03
каприлова	0,12±0,01	0,11±0,01	0,62±0,03	0,39±0,03
пентадеканова	0,10±0,01	0,74±0,04	0,27±0,02	0,53±0,04
ізолауринова	0,08±0,01	0,52±0,03	-	1,80±0,06
ізоміристинова	-	0,51±0,03	0,10±0,01	0,28±0,01
Разом насичених ЖК	48,35	37,34	42,28	52,01
Ненасичені жирні кислоти				
Моноенова кислота				
олеїнова	21,42±0,21	8,18±0,11	5,41±0,10	5,56±0,10
пальмітолеїнова	4,95±0,09	9,89±0,11	5,11±0,09	4,94±0,09
ерукова	1,82±0,07	-	0,96±0,04	0,57±0,03
пентадеценова	0,81±0,05	-	0,31±0,02	1,21±0,02
лауролеїнова	0,38±0,04	0,79±0,06	1,90±0,05	2,44±0,08
міристолеїнова	0,34±0,04	3,46±0,07	1,40±0,07	6,95±0,11
гондова	0,28±0,03	0,10±0,01	-	2,52±0,06
гептадеценова	0,21±0,03	0,56±0,04	0,59±0,03	1,05±0,04
Разом моноєнових ЖК	30,21	22,98	15,68	25,24
Полієнова кислота				
арахідонова	12,69±0,14	25,77±0,23	23,62±0,22	13,65±0,12
лінолева	3,56±0,09	2,97±0,07	1,35±0,06	1,77±0,06
докозатетраснова	1,46±0,06	4,83±0,09	5,81±0,10	1,82±0,06
ліноленова	0,43±0,04	0,74±0,06	1,73±0,07	0,99±0,05
докозапентаснова	0,32±0,03	-	-	-
докозатрієнова	0,26±0,03	0,39±0,03	0,95±0,04	0,22±0,01
гексадекадієнова	0,15±0,03	0,55±0,04	-	-
докозадієнова	0,11±0,02	-	0,50±0,04	0,26±0,02
ейкозатрієнова	-	0,31±0,04	0,20±0,02	0,37±0,04
тетрадекадієнова	-	-	-	2,22±0,08
Разом полієнових ЖК	18,98	35,56	34,16	21,3
Разом ненасичених ЖК	49,19	58,54	49,84	45,64
Неідентифіковані кислоти	2,46±0,08	4,12±0,09	7,88±0,12	1,45±0,05

Отже, за вмістом жирних кислот зв'язки між пелоїдами та відповідними водоростевими розростаннями були слабшими, ніж за вмістом амінокислот. Це свідчить, з одного боку, про те, що водорості є джерелом надходження низки жирних кислот у пелоїди, з іншого - про те, що жирні кислоти зазнають у пелоїдах й інших трансформацій, які від водоростей безпосередньо не залежать або залежать лише опосередковано.

РОЛЬ ВОДРОСТЕЙ В УТВОРЕННІ МУЛОВИХ СУЛЬФІДНИХ ПЕЛОЇДІВ

У розділі обговорюються зміни та доповнення до класичної теорії утворення мулових сульфідних пелоїдів, запропонованої у 60-і роки геологом Л.Я. Яроцьким (Яроцкий, 1956) у частині, що стосується ролі водоростей у цьому процесі. Зокрема, корегуються три наступних положення, пов'язаних з т.зв. «біологічним фактором»: 1. «У накопиченні органічного автохтонного матеріалу зазвичай головна роль належить планктонному населенню водойм, зокрема різним водоростям»; 2. «При несприятливому середовищі, як, наприклад, при високій солоності води, життя у водоймі пригнічується, кількість органічної речовини, що продукується, зменшується»; 3. «У посушливі періоди мул, що відклався на дні, зазнає окиснення, зокрема окислюється органічна речовина. У зв'язку з цим грязеутворення буде відбуватися неповно навіть у періоди обводнення». У зміненому нами вигляді ці положення об'єднані у твердженні, згідно з яким провідну роль у формуванні мулових сульфідних пелоїдів відіграють не планктонні, а бентосні угруповання водоростей, які, по-перше, забезпечують надходження органічної речовини до дна у вигляді водоростевої мортмаси, що утворюється із нижніх шарів саме цього розростання; по-друге, водоростеві угруповання, формуючи суцільні макроскопічні розростання, виконують захисну функцію та створюють необхідні умови для мікробіологічної трансформації органічної речовини в біологічно активні речовини пелоїду; по-третє, водоростеві розростання забезпечують консервацію утвореної пелоїдної маси, запобігаючи її ресуспензії та окисненню.

При аналізі та корекції наведених вище положень класичної теорії акцент зроблено на наступних викладених у роботі результатах, які не узгоджуються з теорією Л.Я. Яроцького.

По-перше, в усіх випадках, високоякісні мулові сульфідні пелоїди на досліджених полігонах Приазов'я виявлені під розростаннями (матами та біоплівками), утвореними ціанопрокаріотами (*Lyngbya aestuarii*, *Chondrocystis sarcinoides*, *Merismopedia glauca*, *Schizothrix calcicola*, *Hydrocoleum cf. homoeotrichum*), які у водному середовищі розвивалися в бентосі; під донними розростаннями водоростей-еукаріот чи за відсутності бентосних водоростевих розростань (навіть у випадках масового розвитку фітопланктону, до «цвітіння» включно), зареєстровано або лише сірі окислені пелоїди, або пелоїди були відсутні.

По-друге, спектри водоростей різних біотопічних груп (водних, наземних, амфібіальних) та груп, виділених за відношенням до солоності, свідчать, що водойми з покладами пелоїдів, не характеризуються сталим водним режимом та відносно сталою солоністю. Навпаки, переважаання водоростей, здатних до розвитку в амфібіальних умовах і видів із широкими нормами реакцій (прісноводно-полігалінних, прісноводно-ультрагалінних, мезогалінно-ультрагалінних), свідчить, що водойми родовищ із високоякісними чорними муловими сульфідними пелоїдами характеризуються чергуваннями періодів оводнення (з фазою розпріснення - заповнення слабко чи помірно мінералізованими водами та фазою обсихання - випаровування води й зростання солоності) та періодів пересихання. У періоди оводнення водоростеві розростання забезпечують родовища органічною речовиною та створюють умови для її мікробної трансформації у специфічні біогенні речовини пелоїдів, а в періоди пересихання зумовлюють процес консервації продуктів мікробної трансформації, включаючи їх захист від окислення. Багаторічні спостереження на модельних полігонах водного режиму водойм повністю узгоджуються з висновком щодо особливостей гідрологічного режиму, отриманим на основі аналізу складу водоростевих угруповань.

По-третє, консервуюча роль водоростей визначається складом домінуючих груп водоростей бентосного угруповання на рівні відділу, й зумовлена, в першу чергу, суттєво відмінними темпами деструкції мортмаси ціанопрокаріот і водоростей-еукаріот. Так, низькі темпи деструкції матів ціанопрокаріот дають змогу захищати під водоростевими розростаннями від окислення продукти мікробної трансформації протягом тривалого періоду (від кількох місяців), який перевищує тривалість не лише періоду пересихання водойми, але й вегетаційного сезону. Крім того, розростання ціанопрокаріот сприяють формуванню під ними відновного середовища, в умовах якого відбувається, зокрема, й накопичення гідротроїліту. Деструкція мортмаси розростань еукаріотичних водоростей, навпаки, відбувається дуже швидко, у терміни, що не перевищують тривалість періоду пересихання. Як наслідок, продукти мікробної трансформації органічної речовини в пелоїдах під розростаннями еукаріот в достатньому ступені від окислення не захищаються, умови для накопичення гідротроїліту є набагато гіршими, а сам його вміст - значно меншим.

По-четверте, результати порівняльного аналізу фізико-хімічних та санітарно-бактеріологічних показників, ферментативної активності, гумусових речовин, спектрів амінокислот та жирних кислот пелоїдів під розростаннями ціанопрокаріот та еукаріотичних водоростей разом із викладеними вище першим та третім положеннями висувають на роль головного біологічного фактору, який обумовлює формування високоякісних неокислених мулових сульфідних пелоїдів амфібіальний ціанобактеріальний мат з його мікробоценозом. Саме завдяки роботі такого мату та умовам, які він забезпечує (з одного боку, для функціонування певного мікробного угруповання, з іншого - для консервації продуктів мікробної трансформації

органічних речовин), природні чорні неокислені мулові сульфідні пелоїди набувають тих властивостей (включаючи лікувальних), яких позбавлені штучні пелоїди відомих європейських спа-курортів.

Таким чином, утворення високоякісних мулових сульфідних пелоїдів потребує виконання двох умов - необхідної, пов'язаної з фізико-хімічними процесами та гідрологічним режимом, та достатньої, пов'язаної з біологічним, у першу чергу - водоростевим, компонентом. Необхідною умовою є надходження в мілководну солону водойму зі змінним гідрологічним режимом, який включає фази розпріснення, випаровування та пересихання, певної кількості мінеральних часток, які утворюють грубодисперсний остов і неорганічну складову тонкодисперсного комплексу. Достатньою умовою є наявність на дні водоймі макроскопічних розростань певних видів амфібіальних ціанопрокаріот, що формують альгобактеріальні комплекси (мати й біоплівки), які стратифікують пелоїдоутворюючу систему на аеробну оліго-мезосапробну та анаеробну полісапробну зони, і не лише продукують органічну речовину, але й створюють умови для її мікробної трансформації, утворення органічних біологічно активних речовин та гідротроїліту, зумовлюють консервацію цих продуктів, їх захист від окислення атмосферним або розчиненим у ропі киснем. За відсутності достатньої умови високоякісні пелоїди не утворюються, а твердий сток і детрит відкладається на дні або як низькоякісні сірі окислені пелоїди, або як звичайні седименти, які не мають властивостей, притаманних природним лікувальним грязям.

ВИСНОВКИ

На основі комплексного дослідження водоростей родовищ мулових сульфідних пелоїдів північно-західного узбережжя Азовського моря встановлено, що провідну роль в утворенні високоякісних природних лікувальних грязей цього типу відіграють макроскопічні розростання галофільних амфібіальних ціанопрокаріот - ціанобактеріальні мати, які визначають як ефективність роботи системи біологічної трансформації органічної речовини біоти в біогенні біологічно-активні речовини пелоїдів, так і консервацію таких речовин. Ціанобактеріальні мати в місцях утворення мулових сульфідних пелоїдів забезпечують не лише синтез органічної речовини, але й вертикальну мікстратифікацію пелоїдоутворюючої системи (на аеробну оліго-мезосапробну еуфотичну зону з переважанням продукційних процесів та анаеробну полісапробну зону з переважанням процесів мікробної трансформації органічної речовини), консервацію продуктів мікробної трансформації та захист останніх від окислення та ресуспендування, накопичення та депонування у пелоїдах органічних речовин, зокрема, амінокислот та ліпідів.

1. Формування головних елементів водоростевої пелоїдоутворюючої системи відбувається на основі водоростевих угруповань, гетерогенних як за біотопічною причетністю (прісноводні, солонувато-водні, морські, наземні)

так і за таксономічним складом. Загалом у складі таких угруповань виявлено 123 види водоростей, які представляють сім відділів: *Cyanoprocaryota* - 65 видів (53%), *Bacillariophyta* - 26 (21%), *Chlorophyta* - 22 (18%), *Rhodophyta* - 6 (5%), *Dinophyta* - 2 (2%), *Xanthophyta* та *Cryptophyta* - по 1 виду (1%).

2. Виявлені види водоростей утворюють 19 різних альгоугруповань, виділених за домінантно-топологічним принципом, в яких домінантами виступають 14 видів із відділів *Cyanoprocaryota* (*Lyngbya aestuarii*, *Chondrocystis sarcinoides*, *Merismopedia glauca*, *Schizothrix calcicola*, *Oscillatoria ornata*, *Hydrocoleum cf. homoeotrichum*, *Nodularia harveyana*, *Nostoc commune*), *Chlorophyta* (*Cladophora siwaschensis*, *Ulva compressa*, *Dunaliella salina*, *Pseudospongiococcum protococcoides*, *Pseudendoclonium sp.*), *Bacillariophyta* (*Nitzschia cf. filiformis*).

3. Аналіз видового складу водоростей за біотопічною причетністю свідчить, що у місцях утворення мулових сульфідних пелоїдів визначальними чинниками формування водоростевих пелоїдоутворюючих комплексів є змінний гідрологічний режим (оводнення-пересихання) та змінний режим солоності (від фази розпріснення до фази глибокого засолення), під дією яких перевагу у розвитку отримують гідрофільно-амфібіальні види, здатні розвиватися у широкому діапазоні солоності (мезогалінно-ультрагалінні, прісноводно-ультрагалінні, прісноводно-полігалінні).

4. Чорні неокислені пелоїди, які за вмістом гідротроїліту, сірководню, іонів Феруму (Fe^{2+} , Fe^{3+}) є найбільш цінними в терапевтичному відношенні, виявляються виключно під бентосними, водно-наземними та наземними угрупованнями з домінуванням ціанопрокаріот (в першу чергу, *Lyngbya aestuarii* та *Chondrocystis sarcinoides*). Менш якісні сірі окислені мулові сульфідні пелоїди виявляються на дні, у зоні заплеску та у зоні обсихання під макроскопічними розростаннями зелених (в першу чергу, *Cladophora siwaschensis*) та галофільних діатомових водоростей.

5. Формування чорних неокислених або сірих окислених мулових сульфідних пелоїдів залежить від наявності та типів водоростевих макроскопічних розростань, від яких, в свою чергу, залежить швидкість деструкції водоростевої органічної речовини (мортмаси) та можливість консервації в осадах продуктів мікробної трансформації. Деструкція мортмаси розростань ціанопрокаріот (за інших рівних умов) відбувається приблизно на порядок повільніше, ніж розростань водоростей-еукаріот.

6. Повільні темпи деструкції водоростевих матів ціанопрокаріот (на прикладі *Lyngbya aestuarii*) обумовлюють захист біологічно активних речовин від окислення протягом тривалого періоду - від одного вегетаційного сезону до наступного, при цьому ціанопрокаріотне розростання виконує бар'єрну функцію, стратифікуючи середовище на аеробну оліго-мезосапробну та анаеробну полісапробну зони; саме в останній виникають умови формування відновного середовища, утворення гідротроїліту та накопичення продуктів мікробної трансформації.

7. Деструкція водоростевих матів еукаріот (на прикладі *Cladophora siwaschensis*) відбувається швидко, внаслідок чого розростання виконує бар'єрну функцію лише протягом короткого часу, тривалість якого є значно меншою від вегетаційного сезону. Як наслідок, продукти мікробної трансформації органічної речовини в пелоїді під розростаннями в достатньому ступені від окислення та ресуспендування не захищені, умови для накопичення гідротроїліту є набагато гіршими, а сам його вміст - значно нижчим.

8. Фізико-хімічні та санітарно-бактеріологічні показники чорних мулових сульфідних пелоїдів під водоростевими ціанопрокаріотними матами *Lyngbya aestuarii* повністю відповідають критеріям МОЗ, встановленим для лікувальних грязей, а сірі окислені пелоїди під альгобактеріальними матами *Cladophora siwaschensis* не вкладаються у ці нормативи лише за вмістом у грубодисперстному остові часток більших, ніж 0,25 мм. При цьому абсолютні показники вказують на вищу якість чорних пелоїдів.

9. Тенденція накопичення біологічно активних речовин у пелоїдах гіпергалійних водойм північно-західного узбережжя Азовського моря під бентосними ціанопрокаріотними і еукаріотними матами різна. Вміст амінокислот у чорних пелоїдах приблизно на 70% вищий, ніж у розташованих над ними розростаннях *Lyngbya aestuarii*. Під розростанням *Cladophora siwaschensis* спостерігається ефект «згоряння», внаслідок чого вміст амінокислот у сірих окислених пелоїдах приблизно у 1,5 рази нижчий порівняно з розростанням цієї зеленої водорості.

10. Вміст гумусових речовин у мулових сульфідних пелоїдах демонструє досить високу кореляцію, в першу чергу, з біомасою водоростевих розростань ($r=0,73$), і не демонструє суттєвого зв'язку з систематичним положенням домінантів на рівні відділу. Вміст гумінових кислот показує від'ємну кореляцію із значеннями біомаси розростань ($r = -0,85$); зв'язок із систематичним положенням домінантів не зафіксований.

11. Ферментативна активність мулових сульфідних пелоїдів свідчить про дуже низький та низький ступінь їх забезпеченості каталазами, уреазамі, фосфатазами та дегідрогеназами, проте забезпеченість цими ферментами чорних пелоїдів під розростаннями ціанопрокаріот є вищою, ніж сірих пелоїдів під розростаннями водоростей-еукаріот. Співвідношення складу насичених і ненасичених жирних кислот у пелоїдах і відповідних макроскопічних водоростевих розростаннях різне. Збільшення частки ненасичених жирних кислот спостерігається в сірих окислених пелоїдах під розростанням еукаріотичних водоростей, тоді як переважання насичених жирних кислот - у пелоїдах під ціанопрокаріотними матами.

12. Теорія утворення мулових сульфідних пелоїдів Л.Я. Яроцького (Яроцкий, 1956) у частині, що стосується водоростей, доповнена та поточнена наступними положеннями: а) провідна роль в утворенні високоякісних мулових сульфідних пелоїдів належить не планктонним, а бентосним водоростям-ціанопрокаріотам, здатним до формування амфібіальних угруповань; б) головними системами, що визначають при

пелоїдоутворенні дію біологічного фактору, є ціанопрокаріотні мати; в) ціанопрокаріотні мати, є не лише продуцентами органічної речовини, але й виконують бар'єрну та консервуючу функції; г) розвиток ціанопрокаріотних матів як елементів пелоїдоутворюючої системи відбувається в умовах змінного гідрологічного режиму та дуже широких коливань солоності.

СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографії

1. Костіков І.Ю. Водорості ґрунтів України (історія та методи дослідження, система, конспект флори) / І.Ю. Костіков, П.О. Романенко, Е.М. Демченко, Т.М. Дарієнко, Т.І. Михайлюк, О.В. Рибчинський, **А.М. Солоненко**. – К.: Фітосоціоцентр, 2001. – 300 с.

*Статті в іноземних виданнях та наукових фахових виданнях України,
які входять до міжнародних наукометричних баз*

1. **Solonenko A.N.** Amino Acid Content of Benthic Macroscopic Growths of Algae and Sediments in Hypersaline Water Bodies / A.N. Solonenko, V.A. Khromyshev, E.I. Maltsev, A.G. Bren // International Journal on Algae. – 2014. – Vol. 16. №4. – P. 392-400. *(Здобувачем проведено експеримент, обробку, аналіз отриманих результатів і оформлення матеріалів для публікації).*

2. **Solonenko A.N.** Some Peculiarities of the Destruction of *Cladophora siwaschensis* C.Meyer (Chlorophyta) Organic Matter in Brine / A.N. Solonenko // International Journal on Algae. – 2014. – Vol. 16. – P. 256-262. *(Здобувачем проведено експеримент, обробку, аналіз отриманих результатів і оформлення матеріалів для публікації)*

3. Scherbina V. V. Peculiarities of postpyrogene development of algae in steppe biocenoses at Askania Nova Biospheric National Park/ V. V. Scherbina , I. A. Maltseva, **A. N. Solonenko** // Contemporary Problems of Ecology. – March 2014, – Volume 7, Issue 2, pp 187-191. *(Здобувачем здійснено аналіз літературних даних, узагальнення первинних матеріалів і оформлення для публікації).*

4. **Солоненко А.Н.** Состав органических веществ и ферментативная активность пелоидов гипергалийных водоёмов северо-западного побережья Азовского моря (Украина) / А.Н. Солоненко // Гидробиологический журнал. – 2015. – Т. 51. – №4 (304).– С. 24-30. *(Здобувачем проведено експеримент, обробку, аналіз отриманих результатів і оформлення матеріалів для публікації)*

Статті у наукових фахових виданнях України

1.Солоненко А.Н. Микробиологический анализ пелоидов амфибиальных водоёмов Бердянской косы и Арабатской стрелки / А.Н. Солоненко, И.А. Мальцева, В.А. Хромышев. – Доповіді НАН України. – 2015. – №5. – С.154-157. *(Здобувачем проведено експеримент, обробку, аналіз отриманих результатів і оформлення матеріалів для публікації).*

2. Мальцев Є.І. Особливості фітоедафону різних типів лісу степової зони України // Є.І. Мальцев, **А.М. Солоненко**, Н.М. Туровцева // Питання степового лісознавства та лісової рекультивациі земель. Збірник наукових праць – 2014. – № 43. – С. 24-29. *(Здобувачем здійснено аналіз літературних даних, узагальнення первинних матеріалів і оформлення для публікації).*

3.Солоненко А.Н. Жирнокислотный состав бентосных макроскопических разрастаний водорослей и пелоидов эфемерных водоёмов / А.Н. Солоненко // Альгология. – 2013. – Т. 23. – №1. – С. 47-52. *(Здобувачем проведено експеримент, обробку, аналіз отриманих результатів і оформлення матеріалів для публікації)*

4.Солоненко А.М. Фізико-хімічні особливості пелоїдів амфібіальних ділянок Арабатської стрілки та Бердянської коси / А.М. Солоненко // Доповіді НАН України. – 2012. – №1. – С. 171-173. *(Здобувачем проведено експеримент, обробку, аналіз отриманих результатів і оформлення матеріалів для публікації)*

5.Солоненко А.М. Водорості солончаків Шелюгівського поду (Запорізька область) / А.М. Солоненко, С.О. Яровий // Український ботанічний журнал. – 2011 – Т. 68, №3. – С.399-406. *(Здобувачем проведено експеримент, обробку, аналіз отриманих результатів і оформлення матеріалів для публікації)*

6. Солоненко А.М. Бактерії-деструктори мортмаси *Cladophora siwaschensis* у рапі амфібіальних ділянок Арабатської стрілки та Бердянської коси / А.М. Солоненко // Мікробіологія і біотехнологія. – 2011. – №2 (14). – С.92-96. *(Здобувачем проведено експеримент, обробку, аналіз отриманих результатів і оформлення матеріалів для публікації)*

7. Солоненко А.Н. Характеристика гуминовых веществ в пелоидах засоленных амфибиальных участков Азово-Черноморского бассейна / А.Н.Солоненко // Грунтознавство. – 2011. – Т. 12. – №1-2 (18). – С. 92-94. *(Здобувачем проведено експеримент, обробку, аналіз отриманих результатів і оформлення матеріалів для публікації).*

8. Солоненко А.М. Водорості солончаків узбережжя озера Солоне (Запорізька область) / А.М. Солоненко, С. О. Яровий, Т.А. Ярова // Вісник Львівського університету імені Івана Франка. – 2010. – Вип. 52. – С. 13-19. *(Здобувачем проведено збір зразків, культивування та визначення водоростей, аналіз та узагальнення даних і оформлення матеріалів для публікації).*

9.Солоненко А.М. Анотований список водоростей солончаків Степанівської коси / А.М. Солоненко, С.О. Яровий // Чорноморський ботанічний журнал. – 2009. – Т.5. – № 4. – С. 617-628. *(Здобувачем проведено*

збір зразків, культивування та визначення водоростей, аналіз і узагальнення даних і оформлення матеріалів для публікації).

10. **Солоненко А.М.** Водорості приморських солончаків півострова Чонгар (Сиваш) / А.М. Солоненко, С.О. Яровий // Чорноморський ботанічний журнал. – 2009. – Т. 5. – №2. – С. 224 – 230. *(Здобувачем проведено збір зразків, культивування та визначення водоростей, аналіз і узагальнення даних, оформлення матеріалів для публікації).*

11. Черевко С.П. Домінуючий комплекс фітопланктону плесів Східного Сиваша / С.П. Черевко, І.Ю. Костіков, **А.М. Солоненко**, С.О. Яровий // Чорноморський ботанічний журнал. – 2008 – Т. 4, № 2. – С.207 – 215. *(Здобувачем проведено обробку й аналіз отриманих результатів і оформлення матеріалів для публікації).*

12. **Солоненко А.Н.** Водоросли солончаков устьєвої часті ріки Корсак и урочища Тубальський лиман / А.Н. Солоненко, С.А. Яровой, Т.А. Яровая // Бюллетень государственного Никитского ботанического сада. – 2008. – Вып. 96.– С. 26 – 29. *(Здобувачем проведено збір зразків, культивування та визначення водоростей, аналіз і узагальнення даних, оформлення матеріалів для публікації).*

13. Яровой С.А. К изучению водорослей солончаков Бердянской косы в районе озера Красное / С.А. Яровой, Т.А. Яровая, **А.Н. Солоненко** // Екологія та ноосферологія. – 2008. – Т. 19, – № 1-2. – С.160-162. *(Здобувачем проведено збір зразків, культивування та визначення водоростей, аналіз і узагальнення даних, оформлення матеріалів для публікації).*

14. Яровий С.О. *Oscillatoria salina* Biswas – новий вид для флори України / С.О. Яровий, **А.М. Солоненко**, І.Ю. Костіков // Чорноморський ботанічний журнал. – 2007. – Т. 3. – № 2. – 2007. – 119-123. *(Здобувачем проведено збір зразків, опис і визначення виду водорості та оформлення матеріалів для публікації).*

15. **Солоненко А.Н.** Водоросли солончаков прибрежной полосы Молочного лимана / А.Н. Солоненко, О.Н. Разнополов // Ґрунтознавство. – 2007. – Т.8. – №1-2. – С.96-100. *(Здобувачем проведено збір зразків, культивування та визначення водоростей, аналіз та узагальнення даних і оформлення матеріалів для публікації).*

16. **Солоненко А.Н.** Водоросли солончаков Степановской и Федотовой кос Северо-Западного побережья Азовского моря / А.Н. Солоненко, С.А. Яровой, С.Н. Подорожный, О.Н. Разнополов // Ґрунтознавство. – 2006. – Т. 7, № 3-4. – С. 123-127. *(Здобувачем проведено збір зразків, культивування та визначення водоростей, аналіз і узагальнення даних, оформлення матеріалів для публікації).*

17. **Солоненко А.Н.** Водоросли солончаков поймы правого берега Молочного лимана / А.Н. Солоненко, О.Н. Разнополов, С.Н. Подорожный // Вісник Запорізького національного університету. – 2006. – №1. – С. 142-148. *(Здобувачем проведено збір, культивування та визначення водоростей, аналіз і узагальнення даних, оформлення матеріалів для публікації).*

18. **Солоненко А.Н.** Водоросли солончаков побережжя залива Сиваша / А.Н. Солоненко, С.А. Яровой, О.Н. Разнополов, С.Н. Подорожный // Вісник Запорізького національного університету. – 2005. – №1. – С. 163-167. *(Здобувачем проведено збір, обробку ґрунтових зразків, визначення водоростей, аналіз та узагальнення даних і оформлення матеріалів для публікації).*

19. **Солоненко А.Н.** Почвенные водоросли солончаков побережжя Молочного лимана в районе Алтагирского лесничества / А.Н. Солоненко, С.А. Яровой, О.Н. Разнополов // Вісник Запорізького державного університету. – 2004. – №1. – С. 206-212. *(Здобувачем проведено збір, культивування та визначення водоростей, аналіз і узагальнення даних, оформлення матеріалів для публікації).*

20. Мальцева И.А. Опыт использования двухфакторного дисперсионного анализа для характеристики альгосинузий почв лесных рекультивационных насаждений / И.А. Мальцева, **А.Н. Солоненко** // Экология и ноосферология. – 1999. – Т.7. – №3. – С. 110-115. *(Здобувачем здійснено аналіз літературних даних, узагальнення первинних матеріалів, оформлення для публікації).*

21. **Солоненко А.Н.** Почвенные водоросли целинных не заповедных степей Причерноморско-Приазовской сухостепной провинции Степной зоны Украины / А.Н. Солоненко, И.А. Мальцева // Екологія та ноосферологія. – 1999. – Т. 6. – №1-2. – С. 230-234. *(Здобувачем проведено збір, культивування та визначення ґрунтових зразків, аналіз і узагальнення даних, оформлення матеріалів для публікації).*

22. **Солоненко А.Н.** К изучению водорослей окультуренных почв сухостепной зоны Украины / А.Н. Солоненко // Альгология. – 1999. – Т. 9. – №4. – С. 38-40. *(Здобувачем проведено збір зразків, культивування та визначення водоростей, аналіз і узагальнення даних, оформлення матеріалів для публікації).*

Статті у наукових виданнях, які не включені до переліку фахових видань України

1. Яровой С.А. Водоросли приморских солончаков левого берега Молочного лимана / С.А. Яровой, **А.Н. Солоненко**, Т.А. Яровая // Біологічний вісник Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького. – 2011. – №1 С. 77-86. (Index Copernicus, Ulrich's Periodicals Directory)

Матеріали наукових конференцій

1. Iarovyi S.A. Macroscopic algae growth on the Azov sea seaboard solonchak soils / S. Iarovyi, I. Yu. Kostikov, **A.N. Solonenko** // Int. Conf. «Biology and taxonomy of green algae V». Congress Center of the Slovak Academy of Sciences Smolenice-Castle, Slovakia, June 25-29, 2007.– P. 46.

2. Yarovoi S.A. *Dilabifilum* – like alga (Chlorophyta) from the seabord solonchak soils// Int. Conf. «Algae in terrestrial ecosystems» / S.A.Yarovoi, I.Yu.Kostikov, **A.N. Solonenko** // Kaniv Nature Reserve, Kaniv, Ukraine, September 27-30, 2005. – P. 66-67.

3. Яровой С.А. О морфологических особенностях *Hydrocoleum homoeotrihum* Kutzing ex Gomont 1892 в условиях культуры / С.А.Яровой, И.Ю.Костиков, **А.Н. Солоненко** // Материалы конф. «Актуальные проблемы современной альгологии» Харьковский национальный университет им. В.Н.Каразина. Харьков 20-23 апреля. – 2005.– С. 190-191.

4. **Солоненко А.Н.** Альгофлора солончаков прибрежной полосы Молочного лимана / А.Н.Солоненко, И.А.Мальцева, О.Н.Разнополов, С.А.Яровой // Материалы I Всероссийской научно-практической конференции «Альгологические исследования: современное состояние перспективы на будущее», 16-18 ноября 2006 г., Уфа. – С.103.

5. Яровой С.А. Почвенные водоросли приморских солончаков Бердянской косы в районе озера Красное / С.А. Яровой, **А.Н. Солоненко**, Т.А.Олейник // Матеріали міжнародної конференції «Біологія ХХІ століття: теорія, практика, викладання» Черкаський національний університет ім. Богдана Хмельницького, КНУ ім. Тараса Шевченка. 1-4 квітня 2007р., м. Черкаси – м. Канів.– С. 97-98.

6. Яровой С.А. Макроскопические разрастания водорослей на приморских солончаках побережья Азовского моря / С.А. Яровой, **А.Н. Солоненко**, Т.А. Яровая// Материалы международной научной конференции и VII Школы по морской биологии «Современные проблемы альгологии» 9-13 июня 2008 г., г. Ростов-на-Дону. – С.394-395.

7. **Солоненко А.Н.** Водоросли окультуренных почв Причерноморско-Приазовской сухостепной провинции Степной зоны Украины / А.Н. Солоненко // Актуальные проблемы современной альгологии. – Киев (26-28 мая 1999 г.). – С. 134.

8. **Солоненко А.Н.** Аминокислотный состав макроскопических разрастаний водорослей мокрых солончаков Северо-Западного Приазовья/ А.Н. Солоненко, В.А.Хромышев, С.А. Яровой // Материалы Всероссийского симпозиума с международным участием «Современные проблемы физиологии, экологии и биотехнологии микроорганизмов», Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова. 24-27 декабря 2009 г. – С.173.

9. Яровой С.А. Водоросли приморских солончаков полуострова Чонгар (Сиваш) / С.А. Яровой, **А.Н.Солоненко** // Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использование в мониторинге: Материалы II всероссийской альгологической конференции (Сыктывкар, 5-9 октября 2009 г.), Республика Коми, Россия. –С. 249-252.

АНОТАЦІЯ

Солоненко А.М. Водорості гіпергалійних водойм північно-західного узбережжя Азовського моря та їх участь в утворенні мулових сульфідних пелоїдів – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора біологічних наук за спеціальністю 03.00.05 – ботаніка. – Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, 2015.

На основі комплексного дослідження водоростей родовищ мулових сульфідних пелоїдів північно-західного узбережжя Азовського моря встановлено, що провідну роль в утворенні високоякісних природних лікувальних грязей цього типу відіграють макроскопічні розростання галофільних амфібіальних ціанопрокаріот - ціанобактеріальні мати. Вони визначають як ефективність роботи системи біологічної трансформації органічної речовини біоти в біогенні біологічно-активні речовини пелоїдів, так і консервацію таких речовин.

До теорії утворення мулових сульфідних пелоїдів у частині, що стосується водоростей внесено наступні зміни та доповнення: а) провідна роль в утворенні високоякісних мулових сульфідних пелоїдів належить бентосним водоростям-ціанопрокаріотам, здатним до формування амфібіальних угруповань; б) головними системами, що визначають при пелоїдоутворенні дію біологічного фактору, є ціанопрокаріотні мати; в) ціанопрокаріотні мати, є не лише продуцентами органічної речовини, але й виконують бар'єрну та консервуючу функції; г) розвиток ціанопрокаріотних матів як елементів пелоїдоутворюючої системи відбувається в умовах змінного гідрологічного режиму та дуже широких коливань солоності.

Ключові слова: водорості, мулові сульфідні пелоїди, гіпергалійні водойми, ціанобактеріальний мат, деструкція, органічна речовина.

АННОТАЦИЯ

Солоненко А.Н. Водоросли гипергалейных водоемов северо-западного побережья Азовского моря и их участие в образовании иловых сульфидных пеллоидов – Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени доктора биологических наук по специальности 03.00.05 – ботаника. – Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, 2015.

На основе комплексных исследований водорослей месторождений иловых сульфидных пеллоидов северо-западного побережья Азовского моря установлено, что ведущую роль в образовании высококачественных природных лечебных грязей этого типа играют макроскопические разрастания галофильных амфибиальных цианопрокарриот - цианобактериальные маты. Они определяют как эффективность работы системы биологической трансформации органического вещества биоты в биологически активные вещества пеллоидов, так и консервацию таких

веществ. Цианобактериальные маты обеспечивают: 1) синтез органического вещества; 2) вертикальную микростратификацию пелоидообразующей системы на аэробную олиго-мезосапробную эуфотическую зону с преобладанием продукционных процессов и анаэробную полисапробную зону с преобладанием процессов микробной трансформации органического вещества; 3) консервацию продуктов микробной трансформации и защиту их от окисления и ресуспендирования, накопление и депонирование в пелоидах органических веществ, в частности, аминокислот, липидов, гумусовых веществ, определяют ферментативную активность пелоидов.

Формирование главных элементов водорослевой пелоидообразующей системы происходит на основе водорослевых группировок, гетерогенных как по биотопической приуроченности (пресноводные, солоноватоводные, морские, наземные), так и по таксономическому составу. В таких группировках обнаружено 123 вида водорослей из семи отделов: *Cyanoprocaryota* - 65 видов (53%), *Bacillariophyta* - 26 (21%), *Chlorophyta* - 22 (18%), *Rhodophyta* - 6 (5%), *Dinophyta* - 2 (2%), *Xanthophyta* та *Cryptophyta* - по 1 виду (1%). В доминирующий комплекс входит 14 видов водорослей, преимущественно из *Cyanoprocaryota*.

Установлено, что определяющими факторами формирования водорослевых пелоидообразующих комплексов выступают переменный гидрологический режим с чередованием фаз обводнения и пересыхания, режим солёности со сменой фаз опреснения и глубокого засоления.

Образование высококачественных чёрных неокисленных пелоидов происходит исключительно под цианопрокариотными матами, и определяется, по сравнению с разрастаниями водорослей эукариот, низкими темпами деструкции мортмассы цианопрокариот, обуславливая их барьерную функцию. Это способствует накоплению в пелоидах под такими разрастаниями гидротроилита и биологически активных веществ. Более обогащены ферментами чёрные иловые сульфидные пелоиды, а содержание аминокислот в них приблизительно на 70% выше, чем в расположенных над ними разрастаниях цианопрокариотных водорослей. В то же время, содержание гумусовых веществ в пелоидах, расположенных под цианопрокариотными и эукариотными матами зависит не от скорости их деструкции, а от биомассы водорослей.

На основе полученных данных в классическую теорию образования иловых сульфидных пелоидов (Яроцкий, 1956) внесены следующие изменения и дополнения: а) ведущая роль в образовании высококачественных иловых сульфидных пелоидов принадлежит бентосным водорослям-цианопрокариотам, способные к формированию амфибиальных группировок; б) главными системами, которые обеспечивают при пелоидообразовании действие биологического фактора, выступают цианопрокариотные маты; в) цианопрокариотные маты служат не только продуцентами органического вещества, но и выполняют барьерную и консервирующую функции; г) развитие цианопрокариотных матов как элементов пелоидообразующей

системы происходит в условиях переменного гидрологического режима и очень широких колебаний солёности.

Ключевые слова: водоросли, иловые сульфидные пелоиды, гипергалийные водоёмы, цианобактериальный мат, деструкция, органическое вещество.

SUMMARY

Solonenko A.N. Algae of hyperhaline water bodies of the North-Western coast of the Azov sea and their part in the formation of mud sulfide peloids— Manuscript.

Thesis for Doctor Degree of Biological Sciences, specialty 03.00.05 – botany. – Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2015.

It was investigated that macroscopic growths of halophylic amphibian cyanoprocaryota play the main role in the process of high-quality peloids formation in the North-West coast of the Azov sea. Cyanobacterial mats define the efficiency of the biota's organic matter biologic transformation system to the biological active compounds of peloids, and conservation of this compounds.

It has been found that the bulk of the biomass, which is included in the processes of peloids formation, is generated by benthic blue-green, green and diatomic algae. It has been defined that the destruction of organic substance of algae develops at different rates and involves different groups of bacteria-destructors, depending on the dominant composition of algae. For the first time the significant differences in the rate of destruction of green algae mortmass and cyanoprokaryota have been shown and a possible connection of this process speed with barrier function of cyanobacterial mats in the process of peloids formation has been demonstrated.

It has been significantly expanded and refined L. Ya. Yarotskyi's theory of formation of mud sulfide peloids (1956), in particular concerning the role of algae in this process: establishing the leading role in the production of high-quality mud sulfide peloids of not planktonic but benthic algae, capable of forming amphibian groups, primarily certain species of cyanoprokaryota. It has been demonstrated that cyanobacterial mat is a biological factor's main system that protects the peloid as a natural barrier from oxidation and ensures the preservation of the products of microbial transformation of algae biomass and hydrotroilite, conditions microstratification of peloids production system on aerobic mesosaprobic and anaerobic polysaprobic zones, thereby transforming hyperhaline water bodies with variable hydrological regime on the deposits of mud sulfide peloids.

Keywords: algae, mud sulfide peloids, hyperhaline water bodies, cyanobacterial mats, destruction, organic substance.