

УДК 582.26/.279+604:631.8

Ф.П. ТКАЧЕНКО, д. б. н., проф., завідувач кафедри,
Одеський національний університет імені І.І. Мечникова,
вул. Змієнка Всеволода, 2, Одеса, 65028, Україна
e-mail: tvf@ukr.net
ORCID 0000-0001-5769-5120

В.О. ІВАНИЦЯ, д. б. н., проф., член-кор. НАНУ, проректор,
Одеський національний університет імені І.І. Мечникова,
вул. Змієнка Всеволода, 2, Одеса, 65028, Україна
ORCID 0000-0001-5325-3800

І.В. СТРАШНОВА, к. т. н., ст. наук. співроб., ст. дослідник,
Одеський національний університет імені І.І. Мечникова,
вул. Змієнка Всеволода, 2, Одеса, 65028, Україна
e-mail: fabiyanska@ukr.net
ORCID 0000-0002-4264-466X

О.В. АНДРЮЩЕНКО, аспірант,
Одеський національний університет імені І.І. Мечникова,
вул. Змієнка Всеволода, 2, Одеса, 65028, Україна
ORCID 0009-0004-6951-2175

О.О. КОВТУН, к. б. н., доц., завідувач гідробіологічної станції,
Одеський національний університет імені І.І. Мечникова,
вул. Змієнка Всеволода, 2, Одеса, 65028, Україна
ORCID 0000-0001-8820-5606

М.Б. ГАЛКІН, к. б. н., доц., доцент кафедри,
Одеський національний університет імені І.І. Мечникова,
вул. Змієнка Всеволода, 2, Одеса, 65028, Україна
ORCID 0000-0002-4957-7148

ШТОРМОВІ ВИКИДИ ЧОРНОМОРСЬКИХ ВОДОРОСТЕЙ ТА ЇХНІЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ

Проведено дослідження видового та біохімічного складу водоростей-макрофітів у штормових викидах Одеської затоки Чорного моря (Україна) та оцінено їхній потенціал як сировини для виробництва біодобрив. Показано, що у серпні 2025 р. на узбережжі затоки накопичувалося близько 47 т водоростей, серед яких домінували зелені (сім видів) та червоні водорості (шість), причому *Cladophora vadorum* (Aresch.) Kütz. та *Ulva flexuosa* Wulfen становили близько 97 % цієї біомаси. У штормових викидах водоростей за хімічним складом переважали полісахариди (41,1 %), зазначено підвищений вміст калію ($12,0 \pm 0,2$ мг/г) та помірний — йоду

Ц и т у в а н н я: Ткаченко Ф.П., Іваниця В.О., Страшнова І.В., Андрющенко О.В., Ковтун О.О., Галкін М.Б. Штормові викиди чорноморських водоростей та їх біотехнологічний потенціал. *Гідробіол. журн.* 2026. Т. 62, № 4. С. 97—109.

($17,0 \pm 0,8$ мкг/г), присутні триметилоцтова кислота та ряд амінокислот. Спостерігалось значне заселення цієї біомаси аеробними мезофільними мікроорганізмами ($2,5 \pm 0,3$) · 10^6 КУО/г) і мікроміцетами ($8,0 \pm 1,2$) · 10^3 КУО/г). На таломатках водоростей можуть закріплюватися та утворювати розвинуті біоплівки штучно привнесені мікробні комплекси. Отримані результати вказують на те, що штормові викиди чорноморських водоростей можуть слугувати основою для створення біодобрив із залученням корисних мікроорганізмів.

Ключові слова: водорості-макрофіти, біохімічний склад, біоплівка, мікроорганізми, Чорне море.

Штормові викиди водоростей використовують у сільському господарстві як добрива, відносно багаті на калій, фосфор та інші мінеральні компоненти [31]. В екстрактах водоростей містяться природні фітогормони, що стимулюють ріст рослин, такі як індолілоцтова кислота, гібереллова кислота, абсцизова кислота та цитокиніни [27, 32]. Крім того, в екстрактах морських водоростей були ідентифіковані й інші важливі біологічно активні речовини, зокрема полісахариди, поліаміни, феноли, бетайні, ліпіди, білки, цукрові спирти, альгінати та ламінарини [5].

Препарати на основі водоростей становлять близько 44 % європейського ринку біостимуляторів. Щорічно як біодобавки до кормів та біостимулятори використовується понад 15 млн. т продуктів на основі морських водоростей [11]. Екстракти водоростей застосовують для позакореневого обприскування рослин, обробки насіння або для внесення в ґрунт, наприклад, сумісно зі стартовими добривами за технологією «in-furrow», з метою стимуляції росту кореневої системи, покращення умов живлення, підвищення стресостійкості, урожайності та якості багатьох культур [2, 7, 18, 19, 24].

Встановлено, що екстракти морських водоростей підвищують активність ферментів, що асимілюють азот (зокрема, глутамінсинтезний цикл), оптимізують експресію генів, які беруть участь у фіксації вуглецю, що призводить до підвищення ефективності фотосинтезу. Позитивний вплив екстрактів морських водоростей при обробці насіння пов'язують з високим вмістом фітогормонів [8, 24]. У рослин з ділянок, збагачених біомасою водоростей, визначається більша кількість фітогормонів, посилюється антиоксидантний захист [15].

Великі маси штормових викидів водоростей, з одного боку, є складним екологічним стресовим чинником, який провокує каскад негативних змін у прибережних екосистемах, що проявляється у зміні біогеохімічних циклів, утворенні біоплівки, деградації біотопів, втраті біорізноманіття та призводить до суттєвого зменшення рекреаційної привабливості узбережжя [6]. А з іншого боку, вони можуть бути цінним джерелом біологічно активних сполук та біомаси для потреб сільського господарства [31]. Використання висушених подрібнених водоростей дозволяє покращити схожість, ріст та врожайність рослин, серед іншого за стресових умов [15]. У ґрунті зростає вміст доступного калію, магнію, фосфору та кількості бактерій, здатних стимулювати ріст рослин [10].

Використання викинутих штормом водоростей як морського біологічного ресурсу може бути економічно вигідним і сприяти покращенню екологічної ситуації на чорноморському узбережжі [29].

Метою роботи було дослідження запасів, видового і біохімічного складу штормових викидів водоростей-макрофітів Одеської затоки Чорного моря і надання рекомендацій щодо їх можливого практичного використання.

Матеріал і методика досліджень

Вивчення штормових викидів морських водоростей проводили в прибережній зоні Одеської затоки Чорного моря в серпні 2025 р. Для цього використовували маршрутний метод уздовж берегової рекреаційної зони затоки (рис. 1), починаючи від її північно-східної частини (пляж «Лузанівка») до південно-західної частини (пляж «Дача Ковалевського»).

На кожній станції відбирали по три проби, для чого використовували облікову рамку розміром 25×25 см (0,0625 м²). Біомасу штормових викидів розраховували на квадратний метр берегової площі викидів. В подальшому ці дані були використані для розрахунку біомаси водоростей, викинутих на берег, уздовж берегової лінії Одеської затоки.

В лабораторних умовах видовий склад водоростей штормових викидів визначали під світловим мікроскопом Carl Zeiss RF 2 (Німеччина), користуючись посібником [3]. Валідність назв видів водоростей перевіряли за відомим зведенням [13]. Також визначали співвідношення водоростей різних таксономічних груп у складі штормових викидів.

Для дослідження біохімічного складу водоростей відбирали наважку (100 г) штормових викидів. Вміст полісахаридів (% від сирої маси) у водоростях визначали методом HPLC-хроматографії [28]. Крім полісахаридів у біохімічному складі водоростей виявляли елементи і речовини, корисні з точки зору використання біомаси водоростей як добрив, а саме — йод, калій, азот, триметилоцтову кислоту, лізин, тирозин, аргінін, глютамінову кислоту за стандартними методиками [1].

Для визначення кількості мікроорганізмів наважку 1 г водоростей суспендували у 9 см³ стерильного фізіологічного розчину, готували десятикратні розведення (до 10⁻⁷). Із приготованих розведень по 0,1 см³ суспензій висівали на відповідні середовища. Для визначення загальної кількості мезофільних аеробних і факультативно-аеробних споротвірних бактерій посіви здійснювали на поверхню живильного агару (Nutrient Agar, Biolife Italiana S.r.l., Milan, Italy). При цьому для виявлення споротвірних бактерій суспензії мікроорганізмів (у розведеннях 10⁻¹, 10⁻² та 10⁻³) перед посівом прогрівали (90 °С, 10 хв). Для визначення кількості мікроміцетів посіви здійснювали на поверхню картопляно-декстрозного агару (70139 Potato Dextrose Agar, NutriSelect[®] Plus Merck KGaA, Darmstadt, Germany). Посіви культивували при 25 °С впродовж 2 діб для виявлення бактерій і 3—7 діб — для виявлення мікроміцетів, після чого проводили кількісний облік мікроорганізмів і виражали у колонієутворюючих одиницях (КУО).



Рис. 1. Карта-схема берегової лінії Одеської затоки Чорного моря з зазначенням місць відбору проб: 1 — пляж «Лузанівка» (46°33'02"N 30°45'48"E); 2 — пляж «Ланжерон» (46°28'24"N 30°45'53"E); 3 — пляж «Дача Ковалевського» (46°22'03"N 30°43'49"E)

Результати досліджень, проведених у трьох повторностях, статистично обраховували як середнє значення та стандартну похибку ($m \pm SE$) за допомогою пакету прикладних програм Excel 2010.

Здатність мікроорганізмів до адгезії на поверхні водоростей вивчали згідно методики [16]. Дослідження проводили з мікробними комплексами А1 (*Streptomyces ambofaciens* ONU 1016, *Bacillus subtilis* ONU 1125, *Trichoderma harzianum* LBX-181), А2 (*S. ambofaciens* ONU 1016, *B. subtilis* ONU 1125, *T. viride* LBX-174), А3 (*S. ambofaciens* ONU 561, *B. subtilis* ONU 1125, *T. harzianum* LBX-181) та А4 (*S. ambofaciens* ONU 561, *B. subtilis* ONU 1125, *T. viride* LBX-174), що демонстрували значну антагоністичну активність

проти фітопатогенних мікроорганізмів, покращували ріст і врожайність злакових культур в умовах *in vitro* та *in vivo* і є перспективними для застосування як інокулянтів для біодобрив.

Таломи водорості *Ulva linza* (L.) J. Agardh нарізали на фрагменти розміром 5×5 мм і позбавляли нативної мікробіоти шляхом УФ-опромінення з довжиною хвилі 214 нм протягом 20 хв. Надалі фрагменти таломів переносили до стерильного імунологічного планшета і додавали по 1 см³ суспензії клітин мікробного консорціуму в концентрації 10⁸ КУО/см³ у середовищі культивування. Водорості з мікроорганізмами у планшетах інкубували 24 год при 37 °С. Надалі проводили фіксацію мікроорганізмів на поверхні талому 96 %-вим етанолом впродовж 15 хв та забарвлювали 1 %-вим розчином акридинового помаранчевого впродовж 5 хв. Забарвлені фрагменти висушували на предметному склі та проводили світлову мікроскопію (Carl Zeiss, Ч600).

Результати досліджень та їх обговорення

Формування штормових викидів у Чорному морі (на прикладі Одеської затоки), згідно наших досліджень, відбувається в основному двічі на рік: наприкінці весни і в середині-наприкінці літа. Весною на узбережжі скупчуються значна біомаса сезонно зимових водоростей, які завершили свою вегетацію і відмирають. Це представники родів *Pyropia* J. Agardh, *Ceramium* Roth, *Polysiphonia* Greville (Rhodophyta) і *Ectocarpus* Lyngb., *Desmarestia* J.V. Lamour., *Punctaria* Greville, *Scytosiphon* C. Agardh (Phaeophyta) з невеликою домішкою Chlorophyta (*Urospora* Aresch., *Ulva* L., *Cladophora* Kütz., *Bryopsis* J.V. Lamour., *Ulothrix* Kütz.) (рис. 2, а).

Цьому процесу передують зміна погодних умов (підвищення температури води більш ніж 10 °С, зміна напрямку вітру та його інтенсивності — переважають штормові вітри). Біомаса відірваних водоростей в основному зосереджується на прибережному мілководді і частково викидається на берег. Це, вочевидь, пов'язано з пластинчастою морфологічною будовою більшості зимово-весняних видів водоростей. Такі слані не зчіплюються і не утворюють сплутану масу. Відмерлі водорості подрібнюються хвилями і використовуються для живлення донними детритофагами і частково ґрунтовими мешканцями пляжів.

Літні штормові викиди представлені в основному двома дуже розгалуженими видами зелених водоростей (*Cladophora vadorum* (Aresch.) Kütz. і *Ulva flexuosa* Wulfen), які і формують вали та кулеподібні структури, що викидаються на берег, добре там затримуються і накопичуються (рис. 2).

У результаті проведених досліджень штормових викидів Одеської затоки Чорного моря в серпні 2025 р. в їхньому складі було виявлено 13 видів морських макроводоростей (табл. 1).

Переважаючою групою водоростей у складі штормових викидів, як за кількістю видів, так і за масовістю, були зелені водорості. Серед них найбільш численними, як зазначено вище, були *Cladophora vadorum* і *Ulva flexuosa*. Поодинокі зустрічалися нитчаста зелена водорість *Chaeto-*

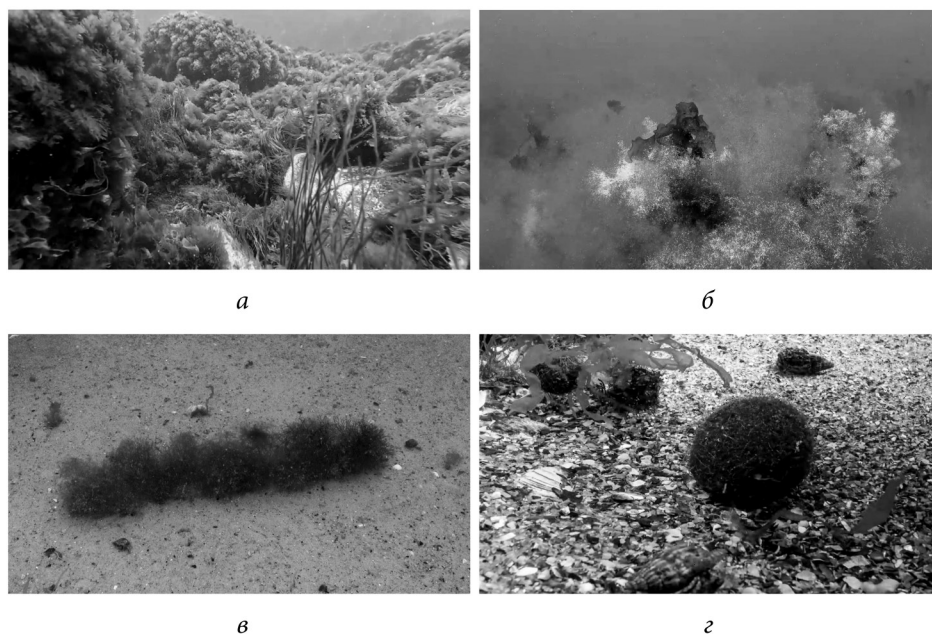


Рис. 2. Водорості-макрофіти Одеської затоки Чорного моря: *а* — загальний вигляд водоростевого фітоценозу (квітень 2025 р.), який до початку літа майже повністю відмирає; *б* — підводні скупчення зелених водоростей; *в* — формування валів з відірваних зелених водоростей, які потім хвилі викидають на берег; *г* — формування кулеподібних структур із зелених водоростей, які море викидає на берег (фото О. Ковтуна)

morpha aerea та пластинчаста *Ulva intestinalis*. На другому місці за кількістю видів були червоні водорості, представлені в основному поодинокими екземплярами. Частіше зустрічались лише види роду *Ceramium*.

Видовий склад водоростей літніх штормових викидів Одеської затоки відносно небагатий, що характерно в літній період і для прибережного мілководдя цієї акваторії моря. Встановлено, що найбільша кількість видів у штормових викидах водоростей характерна для району пляжу «Лузанівка», а найменша — для пляжу «Дача Ковалевського» (див. табл. 1). Це, очевидно, є відображенням екологічних умов місцезростань цих водоростей [4].

Крім видового складу штормових викидів водоростей також оцінювали біомасу цих викидів та запаси водоростевої сировини з урахуванням протяжності берегової лінії Одеської затоки, довжини і ширини покриття викидами. На пляжі «Дача Ковалевського» середня маса літніх викидів водоростей була найменшою — $1,6 \pm 0,3$ кг/м², на пляжі «Ланжерон» вона становила $9,0 \pm 1,2$ кг/м², а на пляжі «Лузанівка» була найбільшою — $11,2 \pm 1,3$ кг/м².

Берегова лінія Одеської затоки становить біля 16 000 м. Штормові викиди водоростей зустрічались приблизно на 20 % цієї лінії. Середня біомаса викидів при їх ширині ~ 2 м становила $14,54$ кг/м² берегової лінії.

Таблиця 1

Видовий склад водоростей-макрофітів у складі штормових викидів (Одеська затока, серпень 2025 р.)

№	Таксони	Пляж «Лузанівка»	Пляж «Ланжерон»	Пляж «Дача Ковалевського»
	Chlorophyta			
1.	<i>Chaetomorpha aerea</i> (Dillwyn) Kütz.	+	—	—
2.	<i>Cladophora vadorum</i> (Aresch.) Kütz.	+	+	+
3.	<i>Cl. vagabunda</i> (L.) Kütz.	+	+	—
4.	<i>Ulva compressa</i> L.	+	—	—
5.	<i>U. flexuosa</i> Wulfen	+	+	+
6.	<i>U. intestinalis</i> L.	+	+	+
7.	<i>U. rigida</i> C. Agardh	—	—	+
	Rhodophyta			
8.	<i>Callithamnion corymbosum</i> (W. Sm.) Lyngb.	+	—	—
9.	<i>Ceramium arborescens</i> J. Agardh	+	+	—
10.	<i>C. deslongchampsii</i> Chauv. ex Duby	—	+	—
11.	<i>C. diaphanum</i> (Ligthf.) Roth	+	+	—
12.	<i>C. virgatum</i> Roth	+	+	+
13.	<i>Polysiphonia elongata</i> (Huds.) Spreng.	—	+	—
	Разом	10	9	5

Примітка. «+» — наявність виду; «—» — відсутність виду.

Отже, запаси водоростевої сировини штормових викидів в серпні 2025 р. становили: 3200 м × 14,54 кг = 46 528,0 кг або ~47 т.

Нами було розглянуто штормові викиди водоростей Чорного моря з огляду на можливість їх використання в якості біодобрив. Біохімічний склад біомаси водоростей представлено у таблиці 2.

Вміст полісахаридів 41,1 % від сирової маси у досліджених нами зразках є типовим для групи зелених водоростей-макрофітів [22, 30].

Полісахариди водоростей позитивно впливають на схожість і ріст рослин, захищають від патогенів та чинників абіотичного стресу. Ульвани — основні полісахариди зелених водоростей — здатні стимулювати захисні реакції у рослин, покращуючи їхній імунітет проти патогенів та стійкість до стресів [14].

Високий вміст калію, а також наявність амінокислот (див. табл. 2) разом з триметилоцтовою кислотою зумовлюють біостимуляційні властивості біомаси водоростей, оскільки ці сполуки беруть участь у синтезі гор-

Таблиця 2

Біохімічний склад біомаси водоростей штормових викидів Одеської затоки

Компоненти	Частка у загальній сирій масі водоростей, %
Полісахариди загальні	41,1±3,4 %
Йод	17,0±0,8 мкг/г
Калій	12,0±0,2 мг/г
Азот	5,2±0,3 мг/г
Триметилоцтова кислота	0,017±0,002 %
Лізин	0,013±0,002 %
Тирозин	0,022±0,001 %
Аргінін	0,054±0,003 %
Глутамінова кислота	0,066±0,002 %

монів, молекулярних сигнальних системах, хелатуванні мінеральних речовин, таким чином опосередковано впливаючи на ріст і стресостійкість рослин [24].

Присутність йоду є індикатором морського походження біомаси. У невеликих концентраціях, виявлених у біомасі штормових викидів, йод стимулює ріст та розвиток рослин, а також покращує їхню стійкість до стресових чинників [25].

Наявність високих титрів мікроорганізмів у біомасі штормових викидів свідчить про активну колонізацію сланей водоростей мікроорганізмами (табл. 3).

Полісахариди водоростей відіграють роль важливого селективного чинника, який сприяє адгезії мікроорганізмів [20]. Отже, використання штормових викидів як біодобрив можна в перспективі поєднувати з інокуляцією корисними мікроорганізмами, які будуть активно прикріплюватися до біомаси водоростей.

З огляду на те, що ефективність біопрепарату залежить від можливості мікроорганізмів прикріплюватися до носія, було досліджено здатність до адгезії на поверхні водорості *U. linza* представників комплексів А1, А2, А3 і А4. Результати досліджень засвідчили, що мікроорганізми

Таблиця 3

Кількість мікроорганізмів у біомасі штормових викидів

Мікроорганізми	КУО/г
Мезофільні аеробні бактерії	(2,5±0,3)·10 ⁶
Факультативно-аеробні споротвірні бактерії	(1,5±0,1)·10 ⁴
Мікроміцети	(8,0±1,2)·10 ³

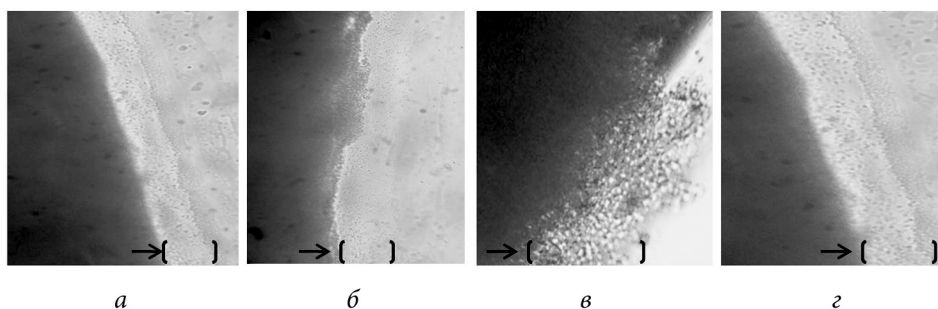


Рис. 3. Біоплівки мікробних комплексів на таломі водорості *U. linza*: а — комплекс А1; б — комплекс А2; в — комплекс А3; г — комплекс А4 (?600); розташування біоплівок позначено стрілками і дужками

усіх комплексів прикріплювалися до поверхні таломів і утворювали розвинуті біоплівки (рис. 3).

Ступінь формування біоплівок чотирма дослідженими мікробними комплексами був однаковим. У біоплівках були присутні численні мікроколонії, оточені сформованим шаром матриксу, що свідчило про зрілість досліджених утворень. Згідно даних попередніх дослідників, морські макроводорості придатні для використання як субстрату для прикріплення та стабілізації корисних мікроорганізмів [17]. За результатами наших експериментів усі досліджені мікробні комплекси можна рекомендувати для іммобілізації на водоростях.

У літературі відомі приклади розробки біодобрив на основі макрофітів та мікроорганізмів — стимуляторів росту рослин. Встановлено дієвість інокуляції мікроорганізмами висушеної біомаси макрофітів [21, 26], однак більш ефективним може бути виготовлення компосту з конверсією мікроорганізмами органічних речовин таломів у форми, більш доступні для живлення рослин. Показано [26], що компост з морських водоростей та ризосферних бактерій значно пом'якшував негативний вплив засоленості на ріст розсади томатів, а внесення бурих водоростей *Sargassum* spp. призводило до значного збільшення кількості архей *Crenarchaeota*, які відіграють вирішальну роль у кругообігу азоту, покращують родючість ґрунту, що значно стимулює ріст рослин та підвищує врожайність рису [21]. Результати досліджень [23] доводять позитивний вплив корисних мікроорганізмів у поєднанні з біостимуляторами на основі водоростей на ріст і врожайність плодів томатів. При цьому відмічається покращення морфологічних параметрів рослин, добра приживлюваність, а також стійкість рослин протягом усього вегетаційного періоду порівняно з неінокульованими рослинами. У дослідженні [9] показано, що комбіноване застосування екстрактів двох макроводоростей (*Fucus spiralis* та *Ulva rigida*) із суспензією клітин штаму *Bacillus* sp. S48S значно покращує ріст рослин та засвоєння поживних речовин пшеницею та бобовими рослинами.

Можливі шляхи використання водоростей без участі мікробіологічних процесів охоплюють виготовлення екстрактів для замочування насіння та фоліарних обробок [19], а також низькоокисневий піроліз з метою отримання біовугілля для покращення характеристик ґрунту [12].

Впровадження переробки штормових викидів у прибережних громадах України є важливим з екологічної точки зору для системного очищення узбережжя Чорного моря. Крім того, техніко-економічні аспекти використання біомаси водоростей-макрофітів демонструють високу перспективність залучення цього ресурсу до виробництва біодобрив.

Висновки

Проведені дослідження показали, що штормові викиди водоростей Одеської затоки в літній період 2025 р. представлені 13 видами з двох відділів — Chlorophyta (7) і Rhodophyta (6). Домінували зелені водорості *Cladophora vadorum* і *Ulva flexuosa*. Їхня біомаса складала приблизно 97 % від загальної біомаси викидів. Загальні запаси водоростевої сировини їх штормових викидів в серпні 2025 р. в Одеській затоці становили близько 47 т.

Дослідження біохімічного складу водоростей виявили наявність в них 41,1 % загальних полісахаридів. Високий вміст калію ($12,0 \pm 0,2$ мг/г), невисока концентрація йоду ($17,0 \pm 0,8$ мкг/г), а також наявність триметилоцтової кислоти і амінокислот (глутамінової кислоти, лізину, тирозину та аргініну) вказують на перспективу застосування біомаси водоростей як основи для біодобрив. Здатність підтримувати високий рівень колонізації мікроорганізмами вказує на можливість інокуляції біомаси водоростей корисними бактеріями і грибами - стимуляторами росту рослин. На таломат водоростей можуть закріплюватися штучно привнесені мікробні комплекси, призначені для виробництва біодобрив. При цьому мікроорганізми усіх досліджених консорціумів були здатними до прикріплення на таломат водоростей і утворення на них зрілих біоплівки.

Отже, водорості штормових викидів Чорного моря є перспективною основою для створення біодобрив, в тому числі, отриманих із застосуванням мікроорганізмів. Впровадження технологій переробки біомаси водоростей в аграрне виробництво матиме як економічну доцільність, так і екологічну користь для прибережних громад.

Список використаної літератури

1. ДСТУ 7881:2015. Добрива органічні та органо-мінеральні. Номенклатура показників якості. Київ, 2016. 42 с.
2. Стасик О., Прядкіна Г., Соколовська-Сергієнко О. та ін. Екстракти морських водоростей — біостимулятори розвитку кореневої системи, стресостійкості та продуктивності рослин. *Агроном*. 2024. № 3. С. 22—23.
3. Ткаченко Ф.П. Морські водорості-макрофіти України (північно-західна частина Чорного моря). Навч. посіб. Одеса: Астропринт, 2011. 104 с.
4. Ткаченко Ф.П., Третяк І.П., Костильов Є.Ф. Водорості-макрофіти як показники екологічного стану Одеського узбережжя Чорного моря. *Чорномор. ботан. журн.* 2008. Т. 4, № 2. С. 222—229.

5. Audibert L., Fauchon V., Blanc N. et al. Phenolic compounds in the brown seaweed *Ascophyllum nodosum*: Distribution and radical-scavenging activities. *Phytochem. Anal.* 2010. Vol. 21, N 5. P. 399—405. DOI: 10.1002/pca.1210
6. Brenckman C.M., Parameswarappa Jayalakshamma M., Pennock W.H. et al. A review of harmful algal blooms: causes, effects, monitoring, and prevention methods. *Water*. 2025. Vol. 17. Article number 1980. 26 p. <https://doi.org/10.3390/w17131980>
7. Craigie J.S. Seaweeds extracts stimuli in plant science and agriculture. *J. Appl. Phycol.* 2011. Vol. 23. P. 371—393. <http://dx.doi.org/10.1007/s10811-010-9560-4>
8. Demir N., Dural B., Yildirim K. Effect of seaweed suspensions on seed germination of tomato, pepper and aubergine. *J. Biol. Sci.* 2006. Vol. 6, N 6. P. 1130—1133. DOI: 10.3923/jbs.2006.1130.1133
9. El Jazouli M., Sammama H., Zehhar N. et al. Effects of individual and combined applications of seaweed extracts and plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on plant growth and physio-biochemical properties of soft wheat and faba bean. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 2024. Vol. 55, N 20. P. 3072—3087. <https://doi.org/10.1080/00103624.2024.2380494>
10. Espinosa-Antyn A.A., Zamora-Natera J.F., Zarazúa-Villasecor P. et al. Application of seaweed generates changes in the substrate and stimulates the growth of tomato plants. *Plants*. 2023. Vol. 12. Article number 1520. 23 p. <https://doi.org/10.3390/plants12071520>
11. (FAO): Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2006. URL: https://www.fao.org/fileadmin/templates/faoitally/documents/pdf/pdf_Food_Security_Cocept_Note.pdf. 3. (Last accessed 10.09.2025).
12. Ginocchio R., Araya M., Machado J. et al. Seaweed biochar (sourced from marine water remediation farms) for soil remediation: towards an integrated approach of terrestrial-coastal marine water remediation. *BioResources*. 2023. Vol. 18, N 3. P. 4637—4656. DOI: 10.15376/biores.18.3.4637-4656
13. Guiry M.D., Guiry G.M. Algae Base. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway, 2025. URL: <http://www.algaebase.org> (Last access 27.08.2025).
14. Hamouda R.A., Hussein M.H., El-Naggar N.E. et al. Promoting effect of soluble polysaccharides extracted from *Ulva* spp. on *Zea mays* L. growth. *Molecules*. 2022. Vol. 27. Article number 1394. 20 p. <https://doi.org/10.3390/molecules27041394>
15. Hashem H.A., Mansour H.A., El-Khawas S.A. et al. The potentiality of marine macro-algae as bio-fertilizers to improve the productivity and salt stress tolerance of canola (*Brassica napus* L.) plants. *Agronomy*. 2019. Vol. 9. Article number 146. 17 p. <https://doi.org/10.3390/agronomy9030146>
16. Limanska N., Merlich A., Galkin M. et al. Biofilm formation and genetic diversity of *Lactobacillus plantarum* strains originated from France and Ukraine. *J. Microbiol. Biotechnol. Food Sci.* 2019. Vol. 8, N 6. P. 1326—1331. DOI: 10.15414/jmbfs.2019.8.6.1326-1331
17. Liu Z., Wang N., Tan Y. et al. Seaweed feed enhance the long-term recovery of bacterial community and carbon-nitrogen sequestration in eutrophic coastal wetland. *J. Environ. Manage.* 2025. Vol. 379. Article number 124846. DOI: 10.1016/j.jenvman.2025.124846
18. Mancuso S., Azzarello E., Mugnai S. et al. Marine bioactive substances (IPA extract) improve ion fluxes and water stress tolerance in potted *Vitis vinifera* plants. *Adv. Hortic. Sci.* 2006. Vol. 20, N 2. P. 156—161. <https://www.jstor.org/stable/42882475>
19. Mughunth R.J., Velmurugan S., Mohanalakshmi M. et al. A review of seaweed extract's potential as a biostimulant to enhance growth and mitigate stress in horticulture crops. *Scientia Horticulturae*. 2024. Vol. 334. Article number 113312. 24 p. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113312>
20. Nahor O., Israel B., Barger N. et al. Epiphytic microbiome associated with intertidal seaweeds in the Mediterranean Sea: comparative analysis of bacterial communities ac-

ross seaweed phyla. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14. Article number 18631. 12 p. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-69362-y>

21. Prasedya E.S., Kurniawan N.S. H., Fitriani F. et al. Sustainable use of organic seaweed fertilizer improves the metagenomic function of microbial communities in the soil of rice plants. *Sustainability*. 2023. Vol. 15. Article number 16328. 14 p. <https://doi.org/10.3390/su152316328>

22. Prisa D., Fresco R., Jamal A. et al. Exploring the potential of macroalgae for sustainable crop production in agriculture. *Life*. 2024. Vol. 14. Article number 1263. 15 p. <https://doi.org/10.3390/life14101263>

23. Quintarelli V., Borgatti D., Baretta M. et al. Microbial biofertilizers and algae-based biostimulant affect fruit yield characteristics of organic processing tomato. *Sci. Food Agric*. 2025. Vol. 105. P. 530—539. <https://doi.org/10.1002/jsfa.13851>

24. Rabhi M.L., Derbak L., Bendif H. et al. Seaweed-derived biostimulants for sustainable crop production: a review. *J. Biotechnol*. 2025. Vol. 408. P. 201—216. doi: 10.1016/j.jbiotec.2025.09.013

25. Shalaby O.A. Iodine application induces the antioxidant defense system, alleviates salt stress, reduces nitrate content, and increases the nutritional value of lettuce plants. *Funct. Plant Biol*. 2025. Vol. 52. Article number FP24273. 12 p. <https://doi.org/10.1071/FP24273>

26. Shang X.C., Zhang M., Zhang Y. et al. Waste seaweed compost and rhizosphere bacteria *Pseudomonas koreensis* promote tomato seedlings growth by benefiting properties, enzyme activities and rhizosphere bacterial community in coastal saline soil of Yellow River Delta, China. *Waste Management*. 2023. Vol. 172. P. 33—42. doi: 10.1016/j.wasman.2023.09.003

27. Stirk W.A., Van Staden J. Plant growth regulators in seaweeds; occurrence, regulation and function / *Advances in botanical research*. / Ed. by N. Bourgoingnon. Cambridge, USA: Acad. Press, 2014. Vol. 71, Chapter 5. P. 125—159. doi: 10.1016/B978-0-12-408062-1.00005-6

28. Valverde S., Hernandez-Apaolaza L., Lucena J. J. A simple method to determine alginic acid, laminarin and mannitol in seaweed extracts fertilizers. *J. Chromatogr. Separation Techniq*. 2022. Vol. 13, N 1. Article number 470. 7 p.

29. Wells E., Wilkinson M., Wood P., Scanlan C. The use of macroalgal species richness and composition on intertidal rocky seashores in the assessment of ecological quality under European Water Framework Directive. *Mar. Pollut. Bull*. 2007. Vol. 55. P. 151—161. doi: 10.1016/j.marpolbul.2006.08.031

30. Xu J., Liao W., Liu Y. et al. An overview on the nutritional and bioactive components of green seaweeds. *FPPN*. 2023. Vol. 5. Article number 18. 21 p. <https://doi.org/10.1186/s43014-023-00132-5>

31. Yasmeeen A.R., Maharajan T., Rameshkumar R. et al. Role of seaweeds for improving soil fertility and crop development to address global food insecurity. *Crops*. 2025. Vol. 5. Article number 29. 19 p. <https://doi.org/10.3390/crops5030029>

32. Yokoya N.S., Stirk W.A., van Staden J. et al. Endogenous cytokinins, auxins and abscisic acid in red algae from Brazil. *J. Phycol*. 2010. Vol. 46, N 6. P. 1198—1205. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2010.00898.x>

Надійшла 9.01.2026

F.P. Tkachenko, Dr. Sci (Biol.), Prof., Head of Department,
Odesa I. I. Mechnikov National University,
Vsevolod Zmiienko St., 2, Odesa, 65082, Ukraine
e-mail: tvf@ukr.net
ORCID 0000-0001-5769-5120

V.O. Ivanytsia, Dr. Sci (Biol.), Prof., NAS Corresp. member, Vice-Rector,
Odesa I. I. Mechnikov National University,
Vsevolod Zmiienko St., 2, Odesa, 65082, Ukraine
ORCID 0000-0001-5325-3800

I.V. Strashnova, PhD (Tech.), Senior Researcher, Senior Researcher,
Odesa I. I. Mechnikov National University,
Vsevolod Zmiienko St., 2, Odesa, 65082, Ukraine
e-mail: fabiyanska@ukr.net
ORCID 0000-0002-4264-466X

O.V. Andriushchenko, Graduate Student,
Odesa I. I. Mechnikov National University,
Vsevolod Zmiienko St., 2, Odesa, 65082, Ukraine
ORCID 0009-0004-6951-2175

O.O. Kovtun, PhD (Biol.), Assoc. Prof., Head of Hydrobiological station,
Odesa I. I. Mechnikov National University,
Vsevolod Zmiienko St., 2, Odesa, 65082, Ukraine
ORCID 0000-0001-8820-5606

M.B. Galkin, PhD (Biol.), Assoc. Prof., Assoc. Prof.,
Odesa I. I. Mechnikov National University,
Vsevolod Zmiienko St., 2, Odesa, 65082, Ukraine
ORCID 0000-0002-4957-7148

STORM EMISSIONS OF THE BLACK SEA ALGAE AND THEIR BIOTECHNOLOGICAL POTENTIAL

Species composition and biochemical profile of macroalgae in storm emissions of the Odesa Bay of the Black Sea (Ukraine) were studied, and their potential as raw material for the production of biofertilizers was assessed. An evaluation of biomass amount showed that in August 2025 approximately 47 tons of algae accumulated along the bay's shoreline, dominated by green (7 species) and red macroalgae (6 species), with *Cladophora vadorum* (Aresch.) Kütz. and *Ulva flexuosa* Wulfen comprising about 97 % of the total biomass. Biochemical analysis revealed a high content of polysaccharides (41.1 %), elevated potassium level (12.0 ± 0.2 mg/g), a moderate iodine concentration (17.0 ± 0.8 mg/g), and the presence of trimethylacetic acid and a number of amino acids, indicating the suitability of this biomass as a basis for biofertilizers. The algal biomass supported substantial microbial colonization, maintaining up to $(2,5 \pm 0,3) \cdot 10^6$ CFU/g of aerobic mesophilic microorganisms and $(8,0 \pm 1,2) \cdot 10^3$ CFU/g of micromycetes. Artificially introduced microbial complexes could attach to seaweed thalli and form well-developed biofilms on them. These findings suggest that storm emissions Black Sea macroalgae represent a promising resource for the development of biofertilizers, including those produced using beneficial microorganisms.

Keywords: macrophyte algae, biochemical composition, biofilm, microorganisms, Black Sea.