агрохімічної служби до служби охорони родючості ґрунтів». — 2004. — Вип. 1. — С. 130–141.
9. *Просянников Е.В.* Закономерности развития природных и антропогенно-трансформированных экосистем Брянской области, пострадавших от глобальной аварии на Чернобыльской АЭС [Електронний ресурс] / Е.В. Просянников. — Брянск: Изд-во Брянской ГСХА, 2002. — (Электр. науч.-учебн. издание) 68,5 Mb; ISBN No. 5-88517-085-1.

УДК 553.973:574.4 (477)

АНАЛІЗ ВИДІВ САПРОПЕЛЮ ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ДЕГРАДОВАНИХ ЗЕМЕЛЬ УКРАЇНИ

В.В. Коніщук[1], М.О. Коніщук[2], В.П. Булгаков[1], І.В. Бобрик[1], О.М. Руденко[1], Л.Л. Онук[3], О.І. Скакальська[3], О.Р. Кирничишин[1]

[1] Інститут агроекології і природокористування НААН
[2] Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України
[3] Кременецький ботанічний сад Міністерства екології та природних ресурсів України

Обґрунтовано важливість збереження речовини і енергії на прикладі екскавації сапропелю і подальшої рекультивації агроландшафтів. Описано донні сапропелеві відклади деяких озер Західного Полісся (Волинська, Рівненська обл. — Україна, Брестська обл., — Республіка Білорусь) та басейну річки Удай (Чернігівська обл.). Визначено видовий склад біогенних решток (Bacillariophyta, Chlorophyta, Cyanoprokaryota та ін.). Узагальнено концептуальні підходи до використання різних типів сапропелю в Україні на засадах зниження евтрофікації акваторій. Пріоритетом у визначенні та класифікації сапропелю має бути біотично-генетичний підхід із додатковими фізико-хімічними характеристиками. Запропоновано продовжити формування колекції сапропелів з метою вивчення перспективних органо-мінеральних добрив у меліорації земель, а також для оцінювання сукцесій водно-болотних угідь, палеоекологічних досліджень глобальних змін довкілля.

Ключові слова: *гідроекосистема, агроландшафт, меліорація, реабілітація, рекультивація земель, сапропель, мул, водорості, класифікація донних відкладів.*

Розв'язання проблеми деградації земель України — актуальне, пріоритетне завдання екології, що потребує обґрунтування комплексу біотехнічних заходів, загальнодержавних програм реабілітації забруднених і рекультивації еродованих агроландшафтів.

У сучасних умовах глобальних змін клімату деякі фізико-хімічні деградаційні, ерозійні процеси часто є незворотними, тобто матерія та якісні характеристики екосистем стають умовно невідновними до автохтонного генетичного стану. Проте своєчасне визначення концептуальних засад, тенденцій, закономірностей у перетворенні екосистем, зокрема агроландшафтів як одних із найбільш динамічних, може посприяти обґрунтуванню проведення системи меліорації, рекультивації у стратегії реалізації загальнодержавних екологічних програм України.

Термін «континуум» (від латинського *continuum* — неперервне, суцільне) дослівно означає неперервне різноманіття, у контексті наших досліджень — певних елементів, компонентів. Фактично, дефініцію поняття можна сформулювати як постійність і взаємозв'язок екологічних процесів. Лейтмотивом цьому стала деградація агроландшафтів, де найінтенсивніше відбувається зміна якості ґрунтів (ерозія, втрата гумусу), та процеси евтрофікації акваторій.

© В.В. Коніщук, М.О. Коніщук, В.П. Булгаков, І.В. Бобрик, О.М. Руденко, Л.Л. Онук, О.І. Скакальська, О.Р. Кирничишин 2015

У першому випадку зменшується кількість органо-мінеральної речовини, у другому — збільшується, але в будь-якому разі ці процеси — неперервні, та несуть загрозу як біотичній компоненті, так і ландшафтній структурі, збалансованому екологічному стану загалом. Якщо застосувати комплексний підхід, можна ефективно впровадити біотехнічні заходи з реабілітації водних і рекультивації земельних (здебільшого ґрунтових) екосистем, мінімізувати негативні тенденції до їх трансформацій.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Було здійснено комплексне оцінювання використання сапропелю для рекультивації агроландшафтів, що обумовлено необхідністю зменшення евтрофікації водойм. Проаналізовано дискусійні питання сапропелегенезу базових бібліографічних джерел. У дослідженнях використано деякі статистичні дані звіту з теми «Аналіз стану мінерально-сировинної бази України, облік родовищ і складання Державних балансів запасів торфу та сапропелю за станом на 1.01.1997–1999 рр.» Державного інформаційного геологічного фонду України Департаменту геології і використання надр при Міністерстві екології та природних ресурсів України за 2000 рік [1]. Фактично після цього періоду загальнодержавні зведення щодо сапропелю відсутні.

Також були проведені комплексні експедиційні польові дослідження донних відкладів типових акваторій і водно-болотних угідь в межах Західного Полісся (Волинська, Рівненська обл. — Україна, Брестська обл. — Республіка Білорусь) та Лісостепу (південна частина Чернігівської обл.) у 2013–2014 рр. Західне Полісся було обрано за принципом найбільших запасів і різноманітності сапропелів в Україні. Проби у пластикові пробірки (віали) об'ємом 50 мл відбирали методом буріння (застосовано бур Гіллера) за стратиграфічним принципом. Зразки (~100 шт.) зберігаються у колекції донних (сапропелемулових) відкладів торфотеки Інституту агроекології і природокористування НААН.

Під час камеральної обробки використовували світловий монокулярний мікроскоп Konus Research 1000× (max 1600×) 4-об'єктивний (ахроматичні об'єктиви 10×, 40× (S), 100× (S, Oil), ширококутні планарні окуляри WF5×, WF10×, діапазон збільшення 50–1000× (максимум 1600×), адаптований під CCD-камеру 45 mm DIN; монокулярну спеціалізовану насадку: візуальна частина — 30 градусів нахил, фотоадаптер вертикальний — 360 градусів оберту; прямокутний предметний столик з кліпсами: 120×125 мм; пелюсткову діафрагму: ∅2–30 mm, фільтр ∅32, конденсер ABE: N.A. 1,25; роздільний механізм грубого і точного налаштування: 20/2 mm. Регулювальний освітлювач: 6V/20W; мікроскоп, адаптований для фотографування, знімання відео з використанням CCD-камери; цифрову камеру — Ucmos 14000 KPA-U-NA-N-M-CY-NA Ucmos14 eTREK 14MPix (P/N: TP6140000 USB 2.0 DC 5V 250 mA) aptina color cmos ultra-fine color engine inside. Програмне забезпечення — CCD & CMOS Digital Camera Solution Disk, програма ToupTek ToupView copyright © 2003–2011, Version: ×86, 3.2.1476. Microsoft Windows Version Support Windows XP / Vista / 7, 32-bit & 64-bit.

Латинські назви таксонів (рід, вид) біоти вжито згідно із сучасними загальноприйнятими зведеннями [2–4]. Дослідження проводили відповідно до сучасної методики [5].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Сапропель (гр. *sapros* — гнилий і *pelos* — мул) — желеподібні відмерлі, добре розкладені до безструктурної маси залишки водних мікроорганізмів, екскрементів гідробіонтів із домішками колоїдних мінеральних речовин хемогенного і теригенного походження. Термін у 1901 р. ввів Р. Лаутенборн для визначення відкладів мілких озер із запахом сірководню. Раніше (1862 р.) Г. Пост озерні відклади означив як «гіттія» (автохтонні) та «дью» (алотигенні). Г. Потоньє (1920 р.) використав термін «сапропель» для всіх озерних відкладів із багатим на білок планктоном, що

проходить процес бітумізації в анаеробних умовах [6]. Сапропель є органічним мулом, відкладом прісних континентальних водойм, що містять понад 15% маси органічних речовин. За меншого вмісту органічних речовин відклади відносять до мінеральних мулів. Сапропель — желеподібна або зерниста маса від рожевого до коричнево-оливкового і майже чорного кольору. За висихання твердне і майже не піддається розмочуванню. Складається з решток гідробіонтів (фітопланктон і зоопланктон), макрофітів і продуктів їх розкладу, розчинених речовин і мінералів. Формування відбувається під впливом біохімічних, мікробіологічних і механічних процесів. Це складний органо-мінеральний комплекс речовин. Елементний склад органічної маси сапропелю (у %): С — 53–60; О — 30–36; Н — 6–8; S — 1,5–3; N — близько 6. Органічна частина містить 3–11% бітумів, близько 40% гумінових та інших біоактивних речовин; мінеральна частина — значну кількість мікроелементів: Co, Mn, Cu, B, Br, Mo, V, Cr, Be, Ni, Ag, Sn, Pb, As, Ba, Sr, Ti. До його складу також входять вітаміни групи В (В1, В12, В3, В6), Е, С, D, Р, каротиноїди, ферменти (каталаза, пероксидаза, редуктаза, протеаза). Мінеральна складова найчастіше представлена глинистими, піщанистими і дрібноалевритовими теригенними або карбонатними частинками. У мінеральному складі виділяють: алотигенні мінерали — кварц, калієві польові шпати, плагіоклази, біотит, мусковіт; сингенетичні аутигенні — опал, кальцит, лімоніт, сидерит, гіпс; діагенетичні — марказит, пірит, сірка та деякі ін.

За вмістом золи розрізняють *органічні* сапропелі (близько 30%), *змішані* (30–65), *мінералізовані* (65–85%). За складом зольної частини — *вапнякові, кремнеземисті, змішані*. Середня густина — 1050 кг/м^3, уміст води 1,5–30 г/г сухої речовини. Сапропелі використовуються як кормові добавки для тварин, добриво, для приготування бурових розчинів як зв'язувальна добавка, у медицині, парфумерії тощо [7].

Із сапропелем пов'язані водно-болотні відклади та їх метаморфізовані форми, а саме: мул, детрит (попередні фази утворення сапропелю), сапроколь, сапропеліт (унаслідок перетворення сапропелю). Особливості утворення сапропелю залежать від гідроекосистеми — чим більший її вік, тим більша ймовірність наявності цих відкладів. Важливу роль відіграє процес евтрофікації, наявність багатого складу гідробіонтів та глибина залягання.

На нашу думку, для використання сапропелю як добрива і рекультиванта деградованих (у т.ч. радіаційно забруднених) земель найбільше підходять відклади малих слабопроточних річок та заростих озер Полісся. У великих ріках, водосховищах, ставах, лиманах сапропель може бути забруднений, повторно відкладатися з різними фракціями донних відкладів. В Україні налічується 63 119 річок, у т.ч. великих (площа водозбору понад 50 тис. км^2) — 9, середніх (2–50 тис. км^2) — 81 і малих (менше 2 тис. км^2) — 63 029. Загальна їх довжина становить 206,4 тис. км, з них 90% припадає на малі річки. До водного фонду України входить близько 8073 озер і лиманів із загальною площею дзеркала 4021,5 км^2 (лимани становлять 1073 км^2) [8]. Для агроугідь засолені мули лиманів непридатні, їх варто використовувати в медицині, косметології тощо. Тому пріоритетним напрямом досліджень є озера і малі річки. Для непроточних озер властива центральна акумуляція сапропелю у найглибших ділянках, а для річок — периферійна, прибережна (рипальна) у заводях, мілководдях і старицях. Для потамічних гідроекосистем імовірність сапропелеутворення більша у разі частих меандр русла, повільної течії, значного фіторізноманіття. У водній масі озер як середовища існування організмів на всій вертикалі з трьох шарів (епілімніон, металімніон і гіполімніон) лише придонний є осередком сапропелеутворення, хоча частки біоморт-маси сюди потрапляють з усіх шарів. Дно озер (бенталь) розділяється на дві зони: глибоководну — профундаль (осередок спапропелегенезу), що відповідає частині ложа, заповненого водами гіполімніона, і прибережну — літораль, що простирається

до межі зростання макрофітів. У літоральній зоні також утворюється сапропель за існування плаву. Генезис сапропелю залежить від типу водойми, материнської (корінної) породи дна, різноманіття зообентосу, утвореного найпростішими (інфузорії, дафнії), п'явками, молюсками, личинками комах тощо, фітобентосу (діатомові, зелені, харові, рідше бурі, червоні водорості, синьо-зелені прокаріоти, водні гриби і мохи, вищі судинні рослини). Одна з основних умов утворення сапропелю — наявність метаногенних та інших бактерій, їх кількість у верхніх пластах палеогену — 180–250 млн мікробних тіл на 1 г сирого сапропелю [1]. У сапропелях існують гнилісні мікроби (збудники бродіння клітковинних, пектинових речовин), бактерії маслянокислого бродіння, денітрифікуючі мікроорганізми, гриби.

Розрізняють три типи сапропелю: *біогенний* (*органічний клас* із протококовим, ціанофітним, змішано-водоростевим, торф'янистим, зоогенно-водоростевим видами; *кремнистий клас* із діатомовим видом); *кластогенний* (*органічно-силікатний клас* із органічно-піщаним, діатомово-піщаним, органічно-глинистим, діатомово-глинистим видами; *силікатний клас* із піщаним, глинистим видами; *карбонатний клас* із органічно-вапнистим, глинисто-вапнистим, вапняковим видами); *змішаний* (*залізистий клас* із органічно-залізистим, вапняково-залізистим, лімонітовим, сульфідним видами) [1]. Останніми роками деякі вчені [9] переглядають поняття змішаний сапропель, вказуючи на необхідність визначення переважаючої компоненти і хімічного складу для спрощення застосування сапропелю в агровиробництві.

Нині особливо актуальним є радіаційний контроль, до того ж, як свідчать наші дослідження донних відкладів озер Черемське, Редичі (Волинська обл., ІІІ зона забруднення внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС), вони є абсолютно безпечними щодо вмісту ^{137}Cs — 1,88–13,95 Бк/л [10]. Екобезпека всіх видів сапропелів щодо відсутності патогенних мікроорганізмів підтверджена мікробіологічними дослідженнями і спеціальними експериментами на тваринах [7].

Колір сапропелю вказує на наявність тих чи інших речовин: зелений — хлорофілу, рожевий — каротину, блакитний — вівіаніту, сіруватий — глини, вапняку. Перевагою сапропелю є висока пластичність, в'язкість, липкість, адсорбційність, висока питома теплоємність. Зольність може варіювати у межах 15–60%. Води сапропелевих відкладів мають нейтральну, значно рідше лужну, слабокислу реакцію, що характеризує їх універсальність в агротехнологіях. Для поліпшення стану кислих торфових і дерново-підзолистих ґрунтів корисним є вапняковий сапропель, що здатний утримувати фосфор, кальцій. Хімічний (елементний) склад вапнякових сапропелів у карстових озерах Західного Полісся доволі різноманітний, сюди входять: Ba, Sn, Ti, Cu, рідше Ni, Co, Mo, Pb. У рослинництві використання сапропелю є раціональним з огляду на наявність життєво важливих мікроелементів: марганець, кобальт, бор, молібден, хром, цинк та ін. Сапропель підвищує родючість, покращує структуру ґрунту — сприяє оптимізації водно-повітряного режиму, конгломерації механічного складу суглинистої фракції. Найціннішими є органогенні сапропелі з діатомеями та включенням ціанопрокаріот з підвищеним умістом органічної речовини.

За результатами нашого аналізу, у донних відкладах сапропелю озера Біле (Брестська обл.) виявлено дрібноуламковий матеріал кварцового піску, численні залишки морени (граніт, кварцит, польовий шпат тощо), а також рештки вищої водної рослинності, нитчастих водоростей, пилок сосни, берези, зелені водорості (*Acutodesmus dimorphus* (Turp.) Tsar.), різні роди діатомей (*Cocconeis, Navicula, Amphora, Karayevia, Thalassiosira* тощо). Це — кластогенний тип, органічно-силікатний клас, органічно-піщаний вид сапропелю.

На деяких ділянках заплави річки Смош (права притока р. Удай, Чернігівська обл.) виявлено сапропель кластогенного типу, карбонатного класу, органічно-вапнистого виду сірого кольору із характерним запа-

хом сірководню. У складі відкладів трапляється дрібний кремнезем, чимало уламкового органічного аморфного матеріалу, рідко діатомові водорості, пилок берези, вільхи, верби.

Найрізноманітніший за складом сапропель було виявлено на карбонатному болоті Болітце (Маневицький р-н, Волинська обл.) з глибини 8,5 м, що належить до біогенного типу, органічного класу, зоогенно-водоростевого виду. Відклади чорного кольору майже повністю розкладені, містять рештки вищих судинних рослин (очерет, осоки, рогіз), сфагнових і гіпнових мохів, озерних голок, комах із хітиновим покривом, пилкових зерен ялини і сосни, діатомей (*Achnanthes, Amphorpa, Cocconeis, Cymbella, Mastogloia, Navicula, Nitzschia, Surirella sp.*), нитчастих, зелених водоростей (*Pediastrum boryanum* (Turp.) Menegh., *Pediastrum duplex* Meyen), кварцовий пісок. У 2003 р. тут створено ботанічну пам'ятку природи «Болітце».

Болото Перебороди (Рівненський природний заповідник, Рівненська обл.) має торф'янистий вид сапропелю із незначною (<0,5 м) товщею.

Плав озера Мошне (Шацький національний природний парк, Волинська обл.) на глибині 6,0 м містить сапропелеві відклади біогенного типу. Зафіксовано рештки вищих судинних рослин, сфагнових, гіпнових мохів, нитчастих, зелених, діатомових водоростей, піщаний дрібноуламковий матеріал. Особливістю є наявність у цих відкладах некроценозів *Arcella artocrea* L.

У заплаві річки Удай (південна частина Чернігівської обл.) сапропель складається із мулистих решток, торф'янистий, темно-чорного кольору, дуже розкладений, із бітумами. Відклади добре гумусовані, зрідка трапляються види *Bacillariophyta*, до його складу входить 5–10% кварцового піску (SiO_2). У регіоні відзначено наявність перспективних ділянок для видобування сапропелю.

Осушене торфовище біля озера Локоття (Волинська обл.) на глибині близько 4–5 м містить діатомовий вид сапропелю коричневого кольору. Видовий склад *Bacillariophyta* доволі різноманітний: *Achnanthes, Amphorpa, Cocconeis, Cymbella, Mastogloia, Navicula, Nitzschia, Surirella sp*.

Озеро Довге (Волинська обл.) містить змішано-водоростевий вид сапропелю із домішками детриту, мулу, решток вищих судинних рослин. Спостерігаються також зелені, діатомові водорості, кварцовий пісок, пилок сосни, берези, озерні голки. Специфічний гнилісно-сірководневий запах спричиняють бактерії в анаеробних умовах, а також суцільні покриви харових водоростей на дні озера.

Озеро Охнич (Волинська обл.) характеризується різними видами сапропелю через значну площу (~40 га) та існування глибин до 5,0 м, а також відмінні умови фітоседиментогенезу. Здебільшого трапляється змішано-водоростевий вид сапропелю зеленого кольору, із включеннями мулу, кварцового піску, детриту, решток водної ентомофауни. Відзначено діатомові (*Amphorpa, Cocconeis, Surirella, Melosira, Navicula*), зелені водорості (*Pediastrum*), озерні голки (*Spongilla lacustris, S. fragilis*), пилок сосни, берези тощо.

Проведення аналізу основних типових родовищ сапропелю було обумовлено тим, що досі прогнозно-оціночна категорія запасів становить значну частину. Геологічні запаси сапропелю в Україні — 116,976 млн т (табл. 1) [1].

За результатами наших досліджень, не завжди довідкові дані є достовірними. Наприклад, проведений нами цифровий аналіз світлової мікроскопії сапропелю родовища Локоття (Волинська обл.) свідчить про його діатомовий генезис, а не органопіщаний [11].

Ілюстрації деяких складових біоти, ідентифікованих нами сапропелів, наведено на рисунку.

У заплаві річки Удай нами виявлено значні поклади сапропелю, натомість у офіційних звітах, деяких наукових працях йдеться лише про лімнічне (озерне) походження сапропелю [1, 6, 7]. Для Волинської обл. характерними є найбільші запаси сапропелів — 71806 тис. т, але за результа-

Геологічні запаси сапропелю України на 01.01.2000 р.

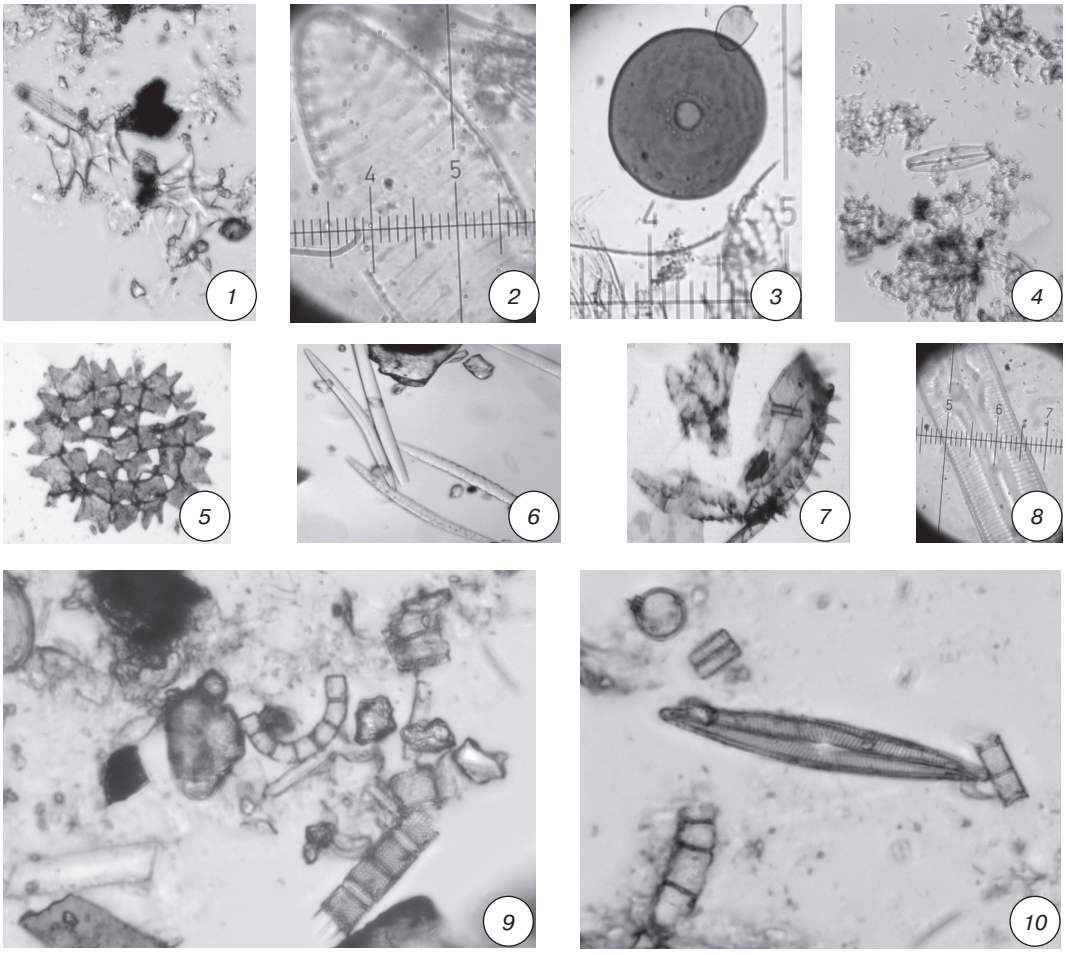
№ пор.	Адміністративні області	Всього			Розвідані			У т.ч. прогнозні			У т.ч. донні		
		Кількість родовищ	Площа озер, га	Геологічні запаси, тис. т	Кількість родовищ	Площа озер, га	Геологічні запаси, тис. т	Кількість родовищ	Площа озер, га	Геологічні запаси, тис. т	Кількість родовищ	Площа озер, га	Геологічні запаси, тис. т
1	Волинська	190	9821	71806	190	9821	71806	–	–	–	–	–	–
2	Рівненська	50	1385	15131	37	1241	13900	13	144	1231	–	–	–
3	Київська	2	102	1307	2	102	1307	–	–	–	–	–	–
4	Сумська	61	11000	8237	21	416	3784	–	–	–	40	684	4453
5	Харківська	37	1416	19206	22	659	6339	15	757	12867	–	–	–
6	Чернігівська	2	17	60	2	17	60	–	–	–	–	–	–
7	Житомирська	2	235	865	–	–	–	2	235	865	–	–	–
8	Донецька	2	22	206	–	–	–	2	22	206	–	–	–
9	Луганська	5	21	158	–	–	–	5	21	158	–	–	–
	В Україні	351	14119	116976	274	12256	97196	37	1179	15327	40	684	4453

тами проведеного аналізу, інформація про всі розвідані геологічні запаси потребує уточнення. Тому постає необхідність детальнішого вивчення як запасів сапропелю, так і його складу для оптимального використання у квітникарстві, садово-парковому, лісовому, сільському господарстві, для відновлення рідкісних видів рослин із подальшою репатріацією. За нашими спостереженнями, одним з індикаторних способів виявлення нових сапропелевих відкладів у річкових системах може бути наявність фітоугруповань аерогідатофітів, гелофітів – зокрема фітоценозів з *Stratiotes aloides* L., *Hydrocharis morsus-ranae* L., *Hottonia palustris* L. і т.п.

В аспекті екологічної безпеки дуже важливу роль відіграють методи видобування сапропелів (землерийний, екскаваторний, гідромеханічний із земснарядами, грейферно-екскаваторний, ковшово-елеваторний, канатно-скреперний, пневмотранспортуючий тощо). Так, оптимальним з цього переліку є гідромеханічний метод (екскавація → намив (або насип) у відстійник → фрезерування → ворушіння → валкування → штабелювання і вивезення) без спуску води акваторії. Обов'язково слід зважати на біоетичні норми та екосозологічні принципи, зокрема, потрібно оминати фітоугруповання Зеленої книги України, не проводити робіт у місцях поширення рідкісних, зникаючих видів Червоної книги України, міжнародних охоронних переліків та у межах заповідних акваторій.

Результати аналізу сапропелевих відкладів із різних регіонів свідчать про абсолютну унікальність кожного з них – відмінності за різними видами і навіть типами у стратиграфічному розрізі родовищ. За видобутку гідромеханічним, помповим методами сапропелі змішуються з мулом та іншими донними відкладами, тому їх склад буде відмінний від початкового обстеження. Значна частина біомортмаси повністю розкладається, здебільшого зберігаються кремнеземні панцирі діатомей, деякі рештки хітину комах, фітомаси мохів, вищих судинних рослин. За механізованого методу екскавації можна видобути автентичні відклади, але рентабельність агровиробництва добрив у цьому разі знизиться, хоча для палеоекологічних досліджень прийнятне лише механічне пошарове буріння [5].

Досі помилковим є твердження про сапропель як лише місцеві корисні копалини через невиправдані економічні затрати транспортування на значні відстані. Звісно, можна розглядати можливість сушки сировини від 50 до 3% вологості на місці й по-



Біотичні відклади органогенних сапропелів Західного Полісся (світлова мікроскопія, збільшення 400×): 1 — *Acutodesmus dimorphus*, 2 — *Surirella ovalis*, 3 — *Arcella artocrea*, 4 — діатомеї з дрібноуламковим матеріалом, 5 — *Pediastrum duplex*, 6 — *Spongilla lacustris*, *S. fragilis*, 7 — *Cladocera sp*. (фрагмент), 8 — *Pinnularia nobilis* (фрагмент), 9 — змішано-водоростевий вид сапропелю, 10 — *Navicula sp*.

тім вивозити від родовища до виробника, споживача або на склад. Зменшити вологість сапропелю експрес-методом можливо у спосіб додавання до сирої маси верхового або перехідного типів торфу з добрими адсорбційними властивостями. Використовують сушку під відкритим небом, але в цьому разі сировина переущільнюється і забруднюється насінням бур'янів, взимку практикують проморожування, є також перевізні дизельні установки підігріву, барабанний метод. За виробництва цінних кормових добавок на основі сапропелю із збереженням для сільськогосподарських тварин поживних речовин і мікроелементів, таких як фосфор (~0,1%), азот (~1,0%), сирий протеїн (~100 г/кг с. р.), сирий жир (20 г/кг с.р.) доцільно для сушки використовувати технологію безводного шару. Методика аеродинамічної дисперсії (швидкість осушуваного агента відносно часток сировини становить понад 25 м/с) прийнятна та актуальна, оскільки утворюється майже суха сировина з вологістю менше

3%. Перспективним напрямом є сепарація і виділення найменших дисперсних часток сировини як концентрату з однорідним фракційно-механічним складом, очищеним від зайвих включень і супутніх домішок. Видобування концентрованого вологого сапропелю і його подальша переробка, у т.ч. на рідкі органічні добрива, біодобавки і стимулятори росту рослин є економічно рентабельними, екобезпечними. Хибним залишається уявлення щодо всебічного вивчення сапропелів України, на жаль, з цієї тематики захищена лише одна докторська дисертаційна робота [6].

У другій частині нашого дослідження проаналізовано проблеми сучасної евтрофікації водойм і, як наслідок, необхідність екскавації донних відкладів. Біотичне забруднення гідроекосистем у XX–XXI ст. унаслідок міжконтинентальних, антропогенних, комунікаційно-техногенних зв'язків набуло глобального масштабу і становить серйозну екологічну загрозу. Інвазії прісноводних риб-адвентів (*Perccottus glenii, Pseudorasbora parva, Ameiurus nebulosus, Gasterosteus aculeatus, Pungitius pungitius*) витісняють і заміщують аборигенну іхтіофауну Полісся. Тому фактично всі водойми втратили здатність до самоочищення, біотично забруднені, а в умовах потепління клімату дедалі більше розвиваються збудники процесу «цвітіння води», зокрема такі види: *Cyanoprokaryota* (*Anabaena affinis* Lemm., *A. flos-aquae* (Lyngb.) Breb., *Anabaena hassalii* (Kütz.) Wittr., *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs., *Microcystis aeruginosa* (Kütz.) Kütz., *M. ichthyoblabe* Kütz., *M. flosaquae* (Wittr.) Kirchn. і тощо), що спричиняють екотоксикацію, зменшення вмісту біоактивного кисню у водоймі, затінення та, своєю чергою, масові замори риби. Серед гідрогелофітів, прибережно-водних рослин адвентивних, активно інвазійних видів спостерігається небагато: *Acorus calamus* L., *Amorpha fruticosa* L., *Azolla filiculoides* Lam., *A. caroliniana* Willd., *Bidens frondosa* L., *Cenchrus pauciflorus* Benth., *Echinocystis lobata* (Michx.) Torr. et Gray, *Eichornia crassipes*, *Elodea canadensis* Michx., *E. nuttallii, Heracleum mantegazzianum, H. sosnowskyi, Juncellus serotinus* (Rottb.) Clarke, *Juncus tenuis* Willd., *Pistia stratiotes, Vallisneria spiralis* L., *Zizania latifolia* (Griseb.) Stapf, *Z. aquatica* L. і т.ін. Проте їх вплив значний. Так, у лімноекосистемах *Elodea, Zizania* спричиняють заболочення (оз. Нечимне, Волинська обл.), захаращують береги такі види, як *Echinocystis* (р. Случ, Рівненська обл.), *Amorpha* (р. Дніпро, Київська обл.), *Pistia* евтрофікує воду (р. Сіверський Донець, Харківська обл.). Саме біотичне забруднення, накопичення біомортмаси, замулення водойм зумовлюють процеси сапропелегенезу, хоча основну роль у цьому відіграють аборигенні, широко поширені гідробіонти.

Чинниками біозабруднення є: збільшення обсягу сапропелевих відкладів, детриту, що обмежує еконіші гідробіонтів; баластові води вантажних суден; обростання на корпусі кораблів; глохідії риб; акваріумні види; зміна фізико-хімічних властивостей; рибогосподарська, ботанічна інтродукція; евтрофікація; збезлісення; іригаційні, осушувальні меліорації; техногенне та агрозабруднення тощо. Тому важливо проводити рекультивацію, очищення водойм. У заповідних об'єктах бажано вилучати особливо агресивні адвенти, які мають негативні алелопатичні, санітарно-епідемічні властивості. Пріоритетним є розвиток глобальної програми кадастру (база DAISIE), стратегії моніторингу інвазійних видів, обґрунтування біотехнічних, реабілітаційних заходів подолання забруднення гідроекосистем із врахуванням біоетичних норм, екосозологічних принципів.

Отже, видобуток сапропелю, мулу, очищення водойм від адвентів і активно інвазійних видів є необхідністю, а подальше використання органо-мінеральних добрив посприяє боротьбі з деградацією агроландшафтів, оптимізує рекультивацію земель.

ВИСНОВКИ

Сапропель із цінними властивостями, унікальним складом мікроелементів, низькою собівартістю та значними покладами є перспективним і безпечним органо-мінеральним добривом, що може бути

використаним для рекультивації земель. До того ж видобування сапропелю сприятиме «екологічному оздоровленню» водойм і зменшенню процесу евтрофікації, анаеробності. Агрономічну ефективність сапропелів визначає вміст азоту, фосфору, калію, обмінна кислотність, мулиста фракція біологічно активних речовин. На нашу думку, оптимальним є гранулювання сапропелів верховим, перехідним торфом. Так, сапропель з умістом $CaCO_3$ (>20%) раціонально використовувати як кондиційну добавку до мінеральних добрив та для вапнування дерново-підзолистих кислих ґрунтів Полісся. Проте слід зважати на природоохоронні принципи, адже значна частина водних угруповань охороняється Зеленою книгою України, деякі види включено до Червоної книги України, також сапропелі є цінними в палеоекологічних, палеокліматичних дослідженнях. Тому видобування сапропелевих відкладів повинно здійснюватися за сучасними технологіями — у спосіб відкачування донної маси без завдання шкоди біоті та зворотного надходження не забрудненої — фільтрованої води у гідроекосистему.

Виробництво сапропелевих кормових добавок є перспективним для скотарства, свинарства, рибництва. Рідкі добрива є ефективними для квітникарства, садівництва, органічного агровиробництва. Сапропель структурує піщані ґрунти, підвищує їх родючість і вміст гумусу. Для степових, напівпустельних регіонів локальне внесення гранул на основі сапропелю сприяє вирощуванню екзотичних дерев і чагарників із тривалим постмеліоративним ефектом (10–15 років). Сапропель ефективний для відновлення, реабілітації радіаційно забруднених територій. Мули засолених акваторій для рослинництва, на жаль, — не придатні, але можуть використовуватись в інших цілях (медицина, хімічна промисловість).

Екскаваційну (вибрану) органо-мінеральну компоненту донних відкладів водно-болотних угідь після її переробки (створення добрив) доцільно вносити на деградовані, еродовані землі. У такий спосіб будуть ефективно і раціонально розв'язані дві екологічні проблеми — евтрофікація водойм і деградація земель. Після застосування безпечної технології видобутку сапропелю для рекультивації агроугідь зменшується сапробність гідроекосистем, що безперечно має позитивний реабілітаційний ефект на природні акваторії.

ЛІТЕРАТУРА

1. Звіт по темі «Аналіз стану мінерально-сировинної бази України, облік родовищ і складання Державних балансів запасів торфу та сапропелю за станом на 1.01.1997–1999 рр.». — К.: Геоінформ, 2000. — Кн. XVI: Сапропель. — 158 с.
2. Разнообразие водорослей Украины / Под ред. С.П. Вассера, П.М. Царенко // Альгология. — 2000. — Т. 10, № 4. — С. 1–309 с.
3. Algae of Ukraine: Diversity, Nomenclature, Taxonomy, Ecology and Geography. Bacillariophyta. / V.P. Gerasimiuk, O.V. Gerasymova, M.O. Struk (Konishchuk) et al.; Eds. P.M. Tsarenko, S.P. Wasser, E. Nevo / A. R. G. Gantner Verlag Kommandit Geselschaft, Ruggell. — Vol. 2. — Liechtenstein, 2009. — 414 p.
4. *Mosyakin S.L.* Vascular plants of Ukraine a nomenklatural checklist / S.L. Mosyakin, M.M. Fedoronchuk; Editor S.L. Mosyakin / M.G. Kholodny Institute of Botany. — Kyiv, 1999. — 345 p.
5. *Коніщук В.В.* Методика палеоекологічних досліджень водно-болотних, торфових відкладів / В.В. Коніщук. — К.: Глобус, 2012. — 20 с.
6. *Шевчук М.Й.* Сапропелі України: запаси, якість та перспективи використання / М.Й. Шевчук. — Луцьк: Надстир'я, 1996. — 384 с.
7. *Кордэ Н.В.* Биостратификация и типология русских сапропелей / Н.В. Кордэ. — М.: Изд. Академии наук СССР, 1960. — 220 с.
8. *Бондар О.І.* Екологія гідроекосистем: Навчальний посібник / О.І. Бондар, В.В. Коніщук. — Херсон: Олді-плюс, 2013. — 316 с.
9. *Бенсман В.Р.* Проблемы классификации торфяников и сапропелей / В.Р. Бенсман // Молодой ученый. — 2010. — № 1–2 (13). — Т. 1. — С. 146–147.
10. *Коніщук В.В.* Забруднення радіоактивним ізотопом ^{137}Cs окремих видів флори та найтиповіших екотопів Черемського природного заповідника / В.В. Коніщук, Є.О. Зоря // Природа Західного Полісся та прилеглих територій: Матеріали наук.-практ. конф. (Луцьк, 22–24 вересня 2005 р.) / Відп. ред. Ф.В. Зузук. — Луцьк: РВВ «Вежа», 2005. — С. 168–179.
11. Справочник ресурсов сапропеля Украины по состоянию на 1.01.1993 г. // Госкомитет Украины по геологии и использовании недр, Государственное геологическое предприятие «Севукргеология». — К., 1994. — Кн. 1: Волынская область. — 193 с.