



**Cuiavian University  
in Wloclawek**



**Kherson State Agrarian  
and Economic University**

**THE CURRENT STATE  
OF FUNDAMENTAL AND APPLIED NATURAL  
SCIENCES RESEARCH**

**Scientific monograph**



2022

*Recommended for printing and distribution via Internet  
by the Academic Council of Baltic Research Institute of Transformation  
Economic Area Problems according to the Minutes № 2 dated 28.03.2022*

**Reviewers:**

dr **Jolanta Miziolek**, Cuiavian University in Wloclawek;

dr **Elżbieta Nowakowska**, Cuiavian University in Wloclawek;

dr **Mirosława Struś**, Cuiavian University in Wloclawek;

**Oleksandr Averchev**, Doctor of Agriculture, Professor, Vice Rector for Research and International Affairs, Kherson State Agrarian and Economic University;

**Ivan Mrynskyi**, PhD in Agriculture, Associate Professor, Dean of the Faculty of Agronomy, Kherson State Agrarian and Economic University.

**The current state of fundamental and applied natural sciences research:** Scientific monograph. Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2022. 384 p.

ISBN 978-9934-26-212-8

© Cuiavian University in Wloclawek, 2022  
© Kherson State Agrarian  
and Economic University, 2022

# CONTENTS

SECTION 1. The features of the formation of agrophytocenosis of perennial herbs vegetation (Averchev O. V., Vasylenko N. Y.).....	1
1. Impact of natural conditions on the development of perennial herbs .....	2
2. Floral composition depending on the productive grass.....	6
3. Grass density .....	9
4. Degradation of the ecological conditions of soil and water systems .....	12
5. Formation and preservation of productive grasslands.....	18
SECTION 2. The impact of modern climate change on aviation on the example of the AMSC Kherson (Voloshyna O. V., Rodinova I. O.) .....	29
1. The impact of modern climate change on aviation .....	30
2. Dangerous phenomena for aviation activities .....	32
3. Spatio-temporal variability of fogs at the AMSC Kherson for 2005–2020 .....	39
SECTION 3. Factors of economic efficiency development in territorial-industrial systems disclosed in economic and social geography (Hladkyi O. V., Kylivnyk V. S., Rudyi Yu. Yo., Ruda I. V., Mishchuk A. A.) .....	46
1. Factors of effective development of territorial-industrial systems.....	47
2. Rational natural resources usage and complex recycling of raw materials as a key factors of territorial-industrial systems' economic efficiency.....	58
SECTION 4. Ecological assessment of the state of agroecosystems subject to bioorganic and traditional farming methods (Hlovyn N. M., Pavliv O. V.) .....	72
1. Spects of the application of organic farming.....	73
2. Research of agroecosystems on the example of the farm LLC “Zhyva zemlya Potutory” (organic method of agriculture) .....	81
SECTION 5. Relationships between prooxidant and antioxidant parameters of bacteria of sulfur cycle under the influence of heavy metal compounds (Hnatush S. O., Maslovska O. D., Kompliyevych S. Ya., Segin T. B., Diakiv S. V.).....	100
1. Physiological and biochemical properties of <i>Desulfuromonas acetoxidans</i> IMV B-7384 under the influence of ferric citrate .....	103
2. Physiological and biochemical properties of <i>Chlorobium limicola</i> IMV K-8 under the influence of copper (II) sulfate .....	107

3. Relationships between the processes of free radical damage to lipids and proteins, the accumulation of biomass of bacteria <i>Chlorobium limicola</i> IMV K-8 and the concentration of copper (II) sulfate in the environment....	112
4. Relationships between the processes of free radical damage to lipids and proteins, the accumulation of biomass of bacteria <i>Desulfuromonas acetoxidans</i> IMV B-7384 and the concentration of ferric citrate.....	116
SECTION 6. System ideas of functions of soil organic matter from the perspective of allelopathic research in Ukraine (Dzyuba O. I.).....	
1. Achievements of the Ukrainian school of allelopathy .....	127
2. Some perspectives of allelopathy.....	135
SECTION 7. The experience with transboundary groundwater bodies identification within the territory of Ukraine (Dyoniak O. V., Koshliakova I. Ye., Koshliakov O. Ye., Luta N. G., Sanina I. V.).....	
1. Actuality of groundwater bodies identification .....	144
2. Brief view of the main transboundary groundwater bodies and the main water and environmental problems .....	146
3. The results of transboundary groundwater bodies identification on the border of Ukraine with Belarus.....	153
SECTION 8. Formation of hyssop phytocenoses on technogenically transformed lands of Mykolaiv region (Dobrovolsky P. A., Andriichenko L. V., Kachanova T. V., Kovalenko O. A.).....	
1. The problem's prerequisites emergence and the problem's formulation...	162
2. The analysis of existing methods for solving the problem formation of hyssop phytocenoses .....	164
3. Agroecological conditions of growing <i>Hyssopus officinalis</i> in Mykolayiv region .....	166
4. Productivity parameters of hyssop for the creation of effective phytocenoses .....	170
SECTION 9. Soil and vegetation cover of mining landscapes of Kryvyi Rih landscape technical system (on the example of Burshchitskyi, Shymakivskyi and Stepovyi dumps) (Koptieva T. S.) .....	
1. General characteristics and soil cover of Burshchitskyi, Shymakivskyi and Stepovyi dumps.....	180
2. Reclamation and vegetation cover on the Burshchitskyi, Shymakivskyi and Stepovyi dumps.....	192

SECTION 10. Method of natural analogy in geological and engineering geological research: theoretical aspect (Melkonyan D. V.) .....	204
1. Fundamentals of natural analogy method.....	207
2. Geological similarity criteria.....	216
3. Methods of pattern recognition theory. Similarity measure.....	222
SECTION 11. Culture of isolated cells and tissues of flax ( <i>Linum usitatissimum</i> L.) <i>in vitro</i> (Mishchenko S. V.).....	232
1. Biological features of flax .....	235
2. Induction of callusogenesis and organogenesis of flax <i>in vitro</i> .....	237
3. The effect of cytokinin 6-benzylaminopurine and auxins 1-naphthylacetic and indole-3-acetic acid on the intensity of callusogenesis and organogenesis of flax.....	244
4. Screening of flax genotypes for the ability to callusogenesis and organogenesis .....	252
SECTION 12. Improving the efficiency of dedusting installations in cement plants (Paraniak N. M., Datsko O. S.) .....	262
1. Research materials and technological processes used in the experiment.....	264
2. Results of research on sources of fine dust.....	265
3. Discussion of the research results of dedusting units .....	268
SECTION 13. Characteristics of cases of mass distribution of ice deposits on the territory of Ukraine in the months of the cold period of the year and some months of transition seasons by decades of the period 1991–2020 (Pyasetska S. I.) .....	276
1. Collection of ice deposit of a mass character with a stretch of 1991–2000.....	281
2. Collection of ice deposit of a mass character with a stretch of 2001–2010.....	286
3. Collection of ice deposit of a mass character with a stretch of 2011–2020.....	290
SECTION 14. Practical aspects of apomixis in tobacco breeding to fix heterosis (Savina O. I., Hliudzyk-Shemota M. Yu., Sheidyk K. A.) .....	301
1. Methodological improvement of apomixis use in tobacco selection for heterosis. ....	304
2. Variability of the structure of flowers in tobacco using apomixes .....	307
3. Analysis of the manifestation of the effect of apomixis in A <sub>1</sub> .....	315

4. Analysis of the cleavage of apomites A <sub>1</sub> .....	318
5. Analysis of apomic A <sub>2</sub> and duration of constancy of signs.....	320
6. The use of apomixis in the selection process.....	321

SECTION 15. The intermolecular and intramolecular interactions in complex phenylone based systems: a quantum-chemical interpretation (Tokar A. V., Chigvintseva O. P.).....	327
1. Some features of effective <i>stacking</i> interactions in aramid type polymeric materials .....	329
2. The quantum-chemical and spectral criteria for hydrogen bonding efficiency in structural analysis of aramids .....	330
3. The quantum-chemical investigation of intermolecular interactions in complex systems “Polyamide-Silica Gel” .....	340

SECTION 16. Oolite limestone – unique formations of the marine environment (Tuzyak Ya. M.).....	353
1. Scientific and terminological definition and diagnostic features spheroaggregates (spheroids/oolites) .....	359
2. Spatial model of environment of origin and localization of different categories of spheroids/ooids (skeletal grains) .....	360
3. Dependence of formation of ooid microstructure from sedimentation environment.....	361
4. Theoretical-classification aspect .....	367

## ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ АГРОФІТОЦЕНОЗУ РОСЛИННОСТІ БАГАТОРІЧНИХ ТРАВ

Аверчев О. В., Василенко Н. Є.

### ВСТУП

Актуальним питанням сільського господарства є гарантоване забезпечення нашої країни продовольством за умови збереження і підвищення родючості ґрунтів, зменшення енергоспоживання, охорони навколишнього середовища. Вирішенню його, особливо на етапі становлення багатокладних форм господарювання, сприятиме впровадження новітніх технологій.

Лучні угіддя мають природоохоронне значення в агроландшафті. Вони захищають ґрунти від ерозії, прируслові береги річок від руйнування та замулення болотами, є природним біофільтром поверхневого і ґрунтового стоків, фактично формують кількість і якість водних ресурсів України. Велика розораність лучних угідь, яка навіть у зоні західного регіону майже в два рази перевищує допустимий рівень<sup>1</sup>, поряд з широкомасштабним осушенням боліт, негативно впливає на екологічний стан регіону і особливо на зниження якісних і кількісних показників водних ресурсів. Тому відновлення лучних угідь шляхом створення високопродуктивних тривалостійких травостоїв з високим ґрунтовим водоохоронним ефектом не тільки на лучних угіддях, а й на орних землях, зокрема в природоохоронній зоні річок, є одним із важливих завдань науки та сільськогосподарської практики.

Все це висуває необхідність вивчення закономірностей формування лучних травостоїв і розробки практичних заходів їх створення на основі ефективного використання генетичного потенціалу рослинних ресурсів, в першу чергу багаторічних трав, та застосування ефективних технологій поліпшення й використання лучних угідь.

---

<sup>1</sup> Антонив С. Ф., Колесник С. И. Семеноводство злаковых трав, особенности технологии выращивания семян новых и перспективных сортов. Семеноводство, 2005. № 11. С. 7–10, 15–16.

Оптимізація водного режиму є одним із найбільш ефективних технологічних прийомів спрямованих на формування високої продуктивності багаторічних трав. Активно наростають молоді листки та пагони при достатньому зволоженні ґрунту посилюється процес кушіння трав, в листі рослин міститься більше білкового азоту, органічного фосфору, каротину, процеси синтезу переважають над гідролізом<sup>2</sup>.

Кліматичні ресурси зони Степу дуже обмежені вологою при великих запасах тепла і світла. Нами були проаналізовані зв'язки між сумою температур, кількістю опадів і гідротермічним коефіцієнтом (ГТК). Це дозволило спрогнозувати рівень урожайності багаторічних трав та визначити природну вологозабезпеченість території посушливого Степу.

### **1. Вплив природних умов розвиток багаторічних трав**

Для виявлення залежності впливу природних умов на урожайність багаторічних трав були проведені розрахунки забезпеченості території південного Степу метеорологічними факторами (вологою, теплом) за періодами та місяцями вегетації у середньому за 25 років по даним Херсонського обласного центру з гідрометеорології.

Так, гідротермічний коефіцієнт функціонально позитивно пов'язаний з кількістю опадів, в той же час має обернену істотну залежність із сумою позитивних температур, тобто, чим вища сума позитивних температур за певний період вегетації, тим швидше йде випаровування вологи і ГТК знижується. Аналіз проведений за методом дефіциту випаровуваності. Метод полягає в тому, що сумарне водоспоживання рослин прирівнюється до випаровуваності поля зайнятого тою чи іншою культурою.

Південна частина степової зони України за прийнятою методикою визначення природної вологозабезпеченості території відноситься до дуже посушливої. А через нерівномірність випадання атмосферних опадів як у просторі, так і в часі, в окремі роки якийсь період вегетації виявляється гостро посушливим, що негативно позначається на урожайності багаторічних трав.

---

<sup>2</sup> Макаренко П. С., Деркач В. С. Роль верхових і низових злакових трав при створенні сіяних травостоїв пасовищного і укісного використання. Корми і кормовиробництво. К., 2004. Вип. 54. С. 61–65.



В умовах аномальної атмосферної посухи 1972 р., коли фізична випаровуваність була максимальна, водоспоживання травостоїв «відставало» від нього, а в умовах прохолодного літа 1976 р. з високою відносною вологістю повітря, коли випаровуваність була мінімальна, водоспоживання навпроти, перевищувало її майже на 100 мм.

В літературі чимало є відомостей, що указують на зв'язок між швидкістю росту і інтенсивністю транспірації рослин<sup>3</sup>. Протягом усього періоду вегетації, трави знаходяться практично в стані постійного росту вегетативних пагонів, тому середньорічна сезонна динаміка водоспоживання має незначне коливання. Так, за чотири роки середньосезонне водоспоживання змінювалось від 5516 до 5654 м<sup>3</sup>/га. При поліпшенні поживного режиму ґрунту, а саме внесення мінерального удобрення в дозі N<sub>180</sub>P<sub>60</sub> сумарне водоспоживання травостою змінилось дуже мало від 5593 до 5838 м<sup>3</sup>/га. Це свідчить проте, що сумарне водоспоживання багаторічних травостоїв визначається такими факторами природного середовища як волога, тепло і сонячна радіація.

Потреба багаторічних трав, залежить від стану вологості верхнього шару ґрунту. Глибина зволоження шару ґрунту, при розрахунках норми поливу, за літературними даними, обумовлюється зоною активного поширення коренів<sup>4</sup>.

Дослідами Лоренца і ін. (Lorenz, Rogler 1967) встановленого основна маса коренів лучних трав знаходиться в шарі ґрунту 0–15 см (46,7–83,6 %) і 15–30 см (10,0–17,2 %). За повідомленнями (К. Эрингиса), на пасовищах і сіножатях в шарі 0–10 см знаходиться 90 ц сухої речовини коренів на 1 га, а в шарі 10–20 см – лише 12 ц. Нашими дослідженнями ще раз підтверджено, що основна маса коренів злакових трав зосереджується в шарі ґрунту 0–30 см.

За численними дослідженнями вітчизняних та закордонних вчених, при надмірних опадах на багаторічних травах, рекомендується приділяти увагу на вміст вологи у верхніх шарах ґрунту. Результати цих досліджень показали, що достатньо орієнтуватись на верхні шари ґрунту (0–20 і 0–30 см) при оцінці

---

<sup>3</sup> Козяр О. М., Ярмоленко О. В., Лещенко Ю. В. Динаміка ботанічного складу травостою сіяної сіножаті залежно від його складу та рівня мінерального удобрення в умовах Правобережного Лісостепу України. Корми і кормовиробництво, К., 2004. Вип. 54. С. 52–60.

<sup>4</sup> Коломойченко В. В., Овсинников Р. И. Ботанический состав лугов Шатиловской опытной станции и возможности их улучшения. Кормопроизводство, 2001. № 7. С. 12–16.

наявності води, доступної рослинам<sup>5,6,7</sup>. Оскільки в ґрунтовому шарі (0–20 і 0–30 см) сконцентрована основна маса коренів, завдяки цьому, вологообмін, більш чітко виражений між поповненням водного запасу (опади) і засвоюванням ґрунтової вологи рослинами порівняно з глибшими шарами.

Глибина, на яку проникає вода, залежить головним чином від швидкості водопроникнення ґрунту, а сам процес називається усмоктуванням. Швидкість усмоктування води змінюється залежно від механічного і мікроагрегатного складу ґрунту та його вологості. Сухий ґрунт усмоктує більше води чим вологий. Досліджено, що 1мм води промочує шар ґрунту до 1 см<sup>8</sup>. Петерсон (Peterson) указує, що при вологості ґрунту відповідно точці стійкого в'янення, 1мм води промочує глинистий ґрунт на глибину 0,5 см, суглинистий на 0,6–1,0 см і піщаний на 1,2 см і більше<sup>9</sup>.

Корені, що увійшли в ґрунт нижче 70 см і глибше, через їх нечисельність не мають суттєвого значення, вони не забезпечують приросту надземної маси, особливо отави, оскільки в період посухи вони можуть тільки підтримувати життєздатність рослин. Проте, в умовах природного волого забезпечення, рослини з добре розвинутою кореневою системою використовують вологу не тільки з метровою, а й з більш глибоких шарів ґрунту, також суттєво змінюється зона активного вологообміну і використання вологи

---

<sup>5</sup> Коломойченко В. В., Овсинников Р. И. Ботанический состав лугов Шатиловской опытной станции и возможности их улучшения. Кормопроизводство, 2001. № 7. С. 12–16.

<sup>6</sup> Nataliia Vasylenko, Oleksandr Averchev, Sergiy Lavrenko, Nataliia Avercheva, Nataliia Lavrenko Growth, development and productivity of *Bromus inermis* depending on the elements of growing technology in non-irradiated conditions University of Agronomic Sciences and Veterinary Medicine of Bucharest *AgroLife Scientific Journal* – Volume 9, Number 2, 2020 ISSN 2285-5718; ISSN CD-ROM 2285-5726; ISSN ONLINE 2286-0126; ISSN-L 2285-5718 (Science).

<sup>7</sup> Кургак В. Г., Лук'янець О. П., Тітова В. М. Біохімічний склад корму лучних травостоїв залежно від системи удобрення і режиму використання. Збірник наукових праць Інституту землеробства УААН / Ред.кол.: В. Ф. Сайко (відп. ред.), 2003. № 3. С. 70–75.

<sup>8</sup> Шевчук Р. В., Ярмолюк М. Т. Вплив удобрення і частоти використання на якість корму бобово-злаковою травостою. Передгірське та гірське землеробство і тваринництво, 2007. № 49. С. 180–185

<sup>9</sup> Тараріко О. Г. Підвищення сталості та продуктивності агросистем в умовах недостатнього вологозабезпечення. Наукові основи землеробства в умовах недостатнього зволоження. Київ : Аграрна наука, 2001. С. 15–19.

з різних шарів ґрунту оскільки в орному шарі сконцентрована основна маса коренів<sup>10</sup>.

Отже, волога з шару ґрунту 70–100 см і нижче не може суттєво поліпшити рівень водозабезпечення через незначну кількість її використання з огляду на мілкість укорінення трав. Враховуючи особливості використання вологи травами з різних шарів ґрунту, на практиці дозволить суттєво скоротити витрати ресурсів на зрошення, запобігти гравітаційних втрат води за межі зони активного вологообміну.

Найбільш співпадають дати наставання фаз розвитку мітлиці тонкої, костриці червоної, та костриці тонколистої. Фази бутонізації і колосіння наставали майже одночасно. Мітлиця тонка, костриця червона та костриця тонколиста найкраще співпадають за фенологічним розвитком травостою. Стоколос безостий відноситься до трав пізнього розвитку і його фенофази наступають пізніше, не співпадають з розглянутими видами.

У науково-дослідних установах і сортовипробувальних станціях в кожній області нашої країни вивчаються поряд із кормовими культурами і лукопасовищні трави. За результатами сортовипробування проводять районування культур і сортів, а також розробляються злакові посіви для окремих районів з нормою їх висіву. Керуючись цими матеріалами можна на місці із рекомендованих у даному районі видів злакових трав вибирати найбільш адаптовані трави в кожному конкретному випадку<sup>11</sup>.

Сортовипробування у Швейцарії проводиться у два етапи. На першому, попередньому протягом, двох-трьох років відбираються перспективні сорти для основного сортовипробування. На другому – основному сортовипробуванні, сорти протягом двох-трьох років оцінюють за такими ознаками як продуктивність при різних способах використання, вимоги до ґрунтового-кліматичних умов, конкурентна здатність, реакція на високі дози добрив, стійкість проти шкідників та хвороб, строки дозрівання і смакові якості корму, придатність до консервування. Порівняння урожайності окремих сортів проводять лише за сухою речовиною. На основі результатів сортовипробування

---

<sup>10</sup> Тараріко О. Г. Підвищення сталості та продуктивності агросистем в умовах недостатнього вологозабезпечення. Наукові основи землеробства в умовах недостатнього зволоження. Київ : Аграрна наука, 2001. С. 15–19.

<sup>11</sup> Ковтун К. П. Наукове обґрунтування технологічних прийомів створення високопродуктивних травостоїв при конвеєрному виробництві кормів на орних землях Лісостепу: автореф. дис. ... доктора с-г. наук. Вінниця, 2006. 44 с.

науководослідні установи на кожні два роки складають списки сортів, рекомендованих виробництву.

Одною із важливих проблем лучного травосіяння було і залишається удосконалення структури сіяних лучних травостоїв на рівні всіх складових структурно-функціональної їх організації, іншими словами, по даних досліджень І. П. Мініної<sup>12</sup> удосконалення принципів створення травостоїв різного цільового призначення на основі більш глибокого врахування біологічних, екологічних і фітоценотичних властивостей видів і сортів багаторічних трав, їх сумісності на різних типах лучних угідь, фонах добрив і при різних режимах використання травостою.

Актуальним питанням в наш час, є всебічне вивчення взаємодоповнюючого чи взаємогальмуючого факторів одного компоненту травостоїв на інший дозволяє керувати структурою і продуктивністю лучних рослинних угруповань. Узагальнивши проведені дослідження І. П. Мініної<sup>13</sup>, В. Г. Кургака<sup>14</sup>, А. В. Боговіна<sup>15</sup>, можна зробити висновок, що еколого-біологічні основи створення, догляду і раціонального використання багаторічних трав базуються на вивченні про рослині угруповання.

## **2. Флористий склад залежно від продуктивного травостою**

Варто зазначити, що у природному угрупованні, екологічно адаптованому не дивлячись на несприятливі погодні умови, які ведуть до різких коливань продуктивності травостою, постійними залишаються флористичний склад та послідовність сезонних реакцій і аспектів<sup>16</sup>.

Як свідчить В. С. Шарашова, періодичність і річна зміна в штучно створеному угрупованні здійснюється завдяки ритмологічній

---

<sup>12</sup> Кургак В. Г., Малинка Л. В., Лук'янець О. П., Тітова В. М. Продуктивність травостою залежно від строків підсівання конюшини лучної. Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства» / за ред. кол. В. Ф. Сайко. К., Екмо. 2006. № 1–2. С. 127–131.

<sup>13</sup> Сафин Х. М. Травы и травосмеси для улучшения естественных малопродуктивных склоновых угодий. Кормопроизводство. М., 2006. № 10. С. 9–11.

<sup>14</sup> Куксин Н. В. Интенсивное использование сенокосов и пастбищ на Украине. Кормопроизводство. М., вып. 21. С. 165–173.

<sup>15</sup> Боговин А. В., Куксин Н. В. Интенсивное использование сенокосов и пастбищ на Украине. Кормопроизводство, Тр. ВИК. М, 1979. Вып. 21. С. 165–173.

<sup>16</sup> Кургак В. Г. Способи підвищення ефективності використання багаторічних бобових трав. Корми і кормовиробництво: Міжв. темат. наук, зб., Вінниця, 2006. Вип. 58. С. 20–27.

несхожості і екологічній пластичності видових популяцій. Забезпечення саморегуляції травостою і сприяють більш повному використанню екотипу і всі емпіричні упущення по добору компонентів при створенні сіяних луків виправляє природа реалізуючи флористичну і ценотичну повночленність, відпрацьовуючи синусозіально-ярусну структуру травостою<sup>17</sup>.

Оптимальні погодні умови в період вегетації багаторічних трав сприяли збільшенню щільності травостоїв. Так, кількість грястиці збірної збільшилась, при проведенні осінніх підрахунків на 290 шт./м, стоколосу безостого – на 156, тимофіївки лучної – на 191, костриці лучної на двох варіантах збільшилось відповідно на 105 та 152 шт./м. Найбільшу щільність з травостоїв спостерігали у костриці червоної, яка коливалась від 1057 до 1163 пагона/м<sup>2</sup> в залежності від варіантів. Несприятливі погодні умови 2013 року призвели до часткового випадання верхових злакових трав із даних травостоїв, особливо костриці лучної та тимофіївки лучної. Густота костриці червоної при проведенні весняних та осінніх підрахунків в згаданий рік майже не змінилась. Умови перезимівлі та весняний період на третій рік використання травостою, менше вплинули на щільність пажитниці багаторічної, кількість пагонів якої була майже такою як в перший рік використання і становила 877 пагонів/м<sup>2</sup>. Тоді як щільність стоколосу безостого знизилась майже на 275 пагонів/м, а костриці лучної в першому і другому варіантах знизилась до 105 та 130 пагонів, що значно менше ніж в перший рік використання.

Проведений підрахунок густоти травостою восени на третій рік досліджень показав, що внесення мінеральних добрив і достатнє вологозабезпечення, особливо в період літньо-осіннього кушіння, сприяло збільшенню щільності травостою.

Тимофіївка лучна практично випала з травостою на третій рік використання, а костриці очеретяна та червона, навпаки, збільшили щільність в ньому, яка становила 1222 та 1408 шт./м відповідно.

Посіви стоколосу безостого, як злакової трави озимого типу розвитку, азотні добрива необхідно вносити в першій декаді вересня, що сприяє закладанню більшої кількості генеративних пагонів.

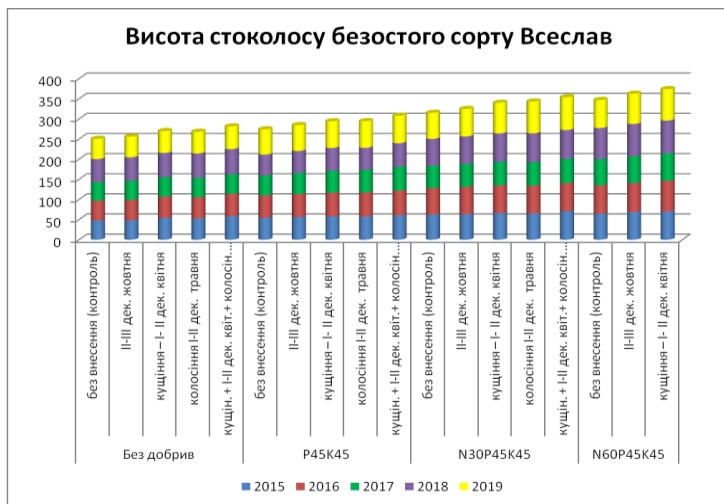
---

<sup>17</sup> Кузьменко О. Б. Проблема збереження і відтворення гумусу в ґрунтах Миколаївської області. Наукові праці: *Науково-методичний журнал*. Т. 81. Вип. 68. Екологія: Сучасний стан родючості ґрунтів та шляхи її збереження. Миколаїв : Вид-во МДГУ ім. Петра Могили, 2008. С. 95–98.

Середня висота вегетативних пагонів в середньому за 2011–2018 роки для сорту Марс коливалась в межах 50,1–76,7 см, генеративних – 76,6–107,7 см. Для сорту Всеслав висота вегетативних стебел (середнє за 2012–2016 рр.) склала 49,2–75,6 см, генеративних – 73,0–101,2 см. Найбільшим приростам висоти сприяли добрива внесені в основне удобрення. Так при внесенні  $N_{60}$  висота генеративних пагонів порівняно з варіантом без добрив залежно від сорту зростала на 9,0–11,1 см, вегетативних – на 6,2–10,6 см, при внесенні мінеральних добрив в повному складі ( $N_{60}P_{45}K_{45}$ ) спостерігалось подальше зростання висоти генеративних пагонів на 8,1–12,7 см, вегетативних – 6,8–7,1 см. що в загальній сумі склало для генеративних пагонів 17,1–23,8, вегетативних – 13,0–17,7 см.

Позакореневе підживлення водорозчинним добривом Мастер з вмістом елементів живлення  $N_{18}P_{18}K_{18}$  в дозі 5 кг, внесених шляхом обприскування посівів робочим розчином з розрахунку 300 л/га сприяло збільшенню висоти генеративних пагонів, яке залежало від строків внесення і склало в варіантах без добрив від 0,5 до 8,0 см, на фоні  $N_{60}$  від 1,1 до 5,8 см, на фоні  $N_{60}P_{45}K_{45}$  від 1,0 до 4,2 см. Висота вегетативних пагонів зростала відповідно до фонів основного удобрення на 1,1–4,0; 1,2–5,4, та 1,2–5,2 см. Що до впливу строків проведення позакореневого підживлення, то найменші прирости висоти було зафіксовано при осінньому строкові: відповідно – 0,5–3,2 для генеративних та 1,1–2,5 см для вегетативних пагонів. Дещо більше зростання висоти пагонів спостерігалось при внесенні водорозчинних добрив в фазу кушіння та фазу колосіння стоколосу. Найбільше водорозчинні добрива впливали на висоту генеративних та вегетативних пагонів при дворазовому внесенні, при цьому вона зростала для сорту Марс відповідно на 6,6–9,0 та 5,6–7,1 см, для сорту Всеслав – 4,4–7,2 та 5,3–8,7 см.

В 2015–2019 роках перезимівля багаторічних трав проходила в несприятливих кліматичних умовах, а саме відсутність снігового покриву в зимові місяці та опадів в весняний період і низька температура призвели до затримання відновлення вегетації трав на два тижні, що негативно вплинуло на щільність травостою. Літо виявилось сухим та жарким, що також спричинило різке зменшення густоти злакових трав у досліджуваних агрофітоценозах, особливо пажитниці багаторічної та тимофіївки лучної.

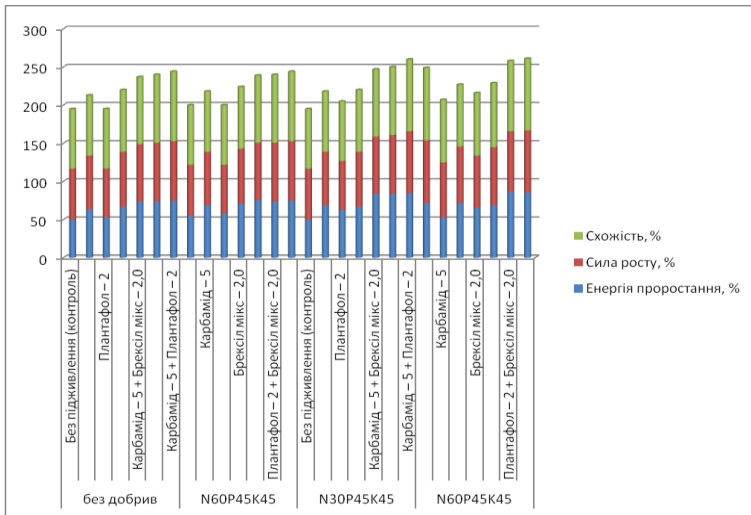


**Рис. 1**

Підрахунок кількості пагонів на досліджуваних ділянках укіснопасовищного використання навесні 2012–2018 роках показав, що найвищу густоту мала ранодозріваюча трава – 2321 пагонів/м<sup>2</sup>, з них грястиця збірна – 702 шт./м, а пажитниця багаторічна – 782 пагонів/м.

### 3. Щільність травостою

Подальша вегетація багаторічних трав проходила в сприятливих умовах, що позитивно вплинуло на збільшення щільності травостою досліджуваних видів трав, які входили до складу травостояння різної інтенсивності наростання біомаси, окрім пажитниці багаторічної, кількість пагонів якої несуттєво знизилась при випасанні і коливалась від 1022 до 1047 шт./м<sup>2</sup>. Осінні підрахунки показали, що найвищу щільність з верхових злакових трав забезпечила грястиця збірна 1014 пагонів/м, яка входила до складу трав раннього строку і досягання. В травостоях середнього та пізнього строків дозрівання включені трави з меншою інтенсивністю кущіння, такі як стоколос безостий та тимофіївка лучна, де їх щільність в 1,5 та 2,4 рази була нижче від грястиці зірної, тоді як костриця червона збільшила щільність на всіх варіантах в 1,2 рази.



**Рис. 2. Вплив удобрення на насіннєву продуктивність**

Результати проведених досліджень показали, що внесені мінеральні добрива впливали на індивідуальний ріст рослин костриці червоної сорту Айра. Так, якщо середня висота генеративних пагонів в середньому за 2014–2015 роки в варіантах без основного удобрення коливалась в межах від 82 см до 96 см, то при внесенні  $N_{60}$  вона збільшувалась на 4–6 см. При внесенні повного мінерального удобрення ( $N_{60}P_{45}K_{45}$ ) середня висота пагонів зростала на 9–11 см, порівняно з варіантами без основного удобрення.

Позакореневі підживлення карбамідом (5 кг/га), Плантафолом (2 кг/га) та регулятором росту Аміно Вікс (0,5 кг/га) на фоні основного удобрення ( $N_{60}$ ) незначно збільшували середню висоту, на 4; 3; 4 см, порівняно з аналогічними варіантами без основного удобрення. При внесенні повного мінерального добрива ( $N_{60}P_{45}K_{45}$ ), в поєднанні з позакореневим підживленням вище вказаними препаратами, середня висота додатково зростала ще на 5–6 см, в порівнянні з фоном основного удобрення  $N_{60}$ .

В наших дослідженнях найбільша середня висота рослин (105 см) була в варіанті, де на фоні мінеральних добрив ( $N_{60}P_{45}K_{45}$ ) проводилось позакореневе підживлення Плантафолом (2 кг/га) в поєднанні з Аміно Віксом (0,5 кг/га).



Фактори, що вивчались в досліді мали вплив на кількість генеративних та вегетативних пагонів. Найменшою кількістю генеративних та вегетативних пагонів була в варіанті без добрив: відповідно 424 та 700; шт./м<sup>2</sup>. Найбільш суттєво кількість пагонів зростала від фону основного удобрення. Так при N<sub>60</sub> збільшення генеративних пагонів склало 100–135, вегетативних 94–191 шт./м<sup>2</sup>, при N<sub>60</sub>P<sub>45</sub>K<sub>45</sub> відповідно 142–180 та 205–259 шт./м<sup>2</sup>, порівняно з варіантами без основного удобрення. Позакореневі підживлення карбамідом (5 кг/га), Пантафолом (2 кг/га) та регулятором росту Аміно Вікс (0,5 кг/га) сприяли зростанню кількості генеративних пагонів в варіантах без основного удобрення, на фонах N<sub>60</sub> та N<sub>60</sub>P<sub>45</sub>K<sub>45</sub> відповідно на 44...82, 23...81, та 16...58 шт./м<sup>2</sup>, кількість вегетативних пагонів зростала відповідно на 37...106, 22...67, 23...132 шт./м<sup>2</sup>.

В наслідок впливу негативних умов перезимівлі та подальшої вегетації рослин відбулося різке зменшення густоти злакових трав у досліджуваних – то фітоценозах, особливо пажитниці багаторічної та тимофіївки лучної.

Сумарне водоспоживання рослин різних видів характеризується транспіраційним коефіцієнтом який указує на рівень витрат води на одержання одиниці продукції. Величина його дуже залежить від умов живлення рослин. В умовах пониженої родючості ґрунту якими є вилучені землі, транспіраційний коефіцієнт мав кращі показники на бобових травостоях порівняно із злаками. На формування 1 т сухої речовини, злакові трави витрачали 1040 м<sup>3</sup> води. При застосуванні азотного підживлення до 120 кг/га, злакова трави знизили витрати води на формування 1 т сухої речовини до 737 м<sup>3</sup>, а при підвищенні дози азоту до 180 кг/га витрати води зменшились до 650 м<sup>3</sup>/т.

Таким чином, проведені дослідження з сіяними злаковими травостоями на вилучених землях дають нам зробити висновок, що в умовах як природного зволоження, так і при зрошенні, зміни видового складу травос визначались біологічними властивостями компонентів, поліпшенням поживного режиму ґрунту та інтенсивністю використання травостоїв.

В результаті надмірного розорювання, широкомасштабної меліорації земель та інтенсивного використання негативному впливу піддалися й трав'янисті біогеоценози, внаслідок чого знизилась їх біосферна роль. На даний час доведено, що трав'яниста рослинність, а саме сіножаті і пасовища, які в світі займають 3,4 млн. га землі майже вдвічі перевищують площу ріллі, а в Україні їх площа в 7,7 разів

менша від орних земель, відіграють позитивну роль у підвищенні родючості ґрунту. Лучні травостої мають не лише кормовиробниче значення, їм належить велика природоохоронна роль в агроландшафті: вони захищають ґрунти від ерозії, береги річок від руйнування та замулення русел. Разом з лісами та болотами вони є могутнім природним біофільтром поверхневого та ґрунтового стоку і фактично формують кількість і якість водних ресурсів. На сучасному етапі розвитку лучного кормовиробництва важливим завданням є забезпечення тваринництва високоякісними кормами, зниження енергетичних, матеріальних, трудових і фінансових витрат на одиницю тваринницької продукції і підвищення її конкурентоспроможності.

#### **4. Погіршення екологічного стану агроландшафтів ґрунтових і водних систем**

Глобальна зміна клімату, посилення його посушливості на території України ставлять перед суспільством, державою, наукою і сільськогосподарським виробництвом завдання запровадження адаптованих до цих умов систем землекористування, ефективних комплексних заходів щодо їхнього відновлення і раціонального використання. Рослини які входять до складу травостоїв відносяться до різних типів по характеру облиствленості, кореневим системам, способам розмноження, по відношенню до температурних режимів, по адаптивності до основних екологічних факторів і ін. При створенні складу трав'яних посівів залежать високопродуктивні фітоценози<sup>18</sup>.

При складанні травосіяння Мініна І. П. пропонує дотримуватись таких принципів: запланованої урожайності, визначення способів використання, оптимізації прийомів регулювання рівня і складу добрив, рівномірність і ступінь волого забезпечення рослин.

При складанні травосіяння потрібно враховувати фактори середовища: клімат, ґрунт, вологозабезпечення, спосіб та інтенсивність використання, зону вирощування, при цьому зважати на вимоги рослин до умов середовища, їх біологічні особливості і господарську придатність на цьому наполягають Боговин А. В., Куксин Н. В. пропонують при підборі трав'яних посівів також

---

<sup>18</sup> Кургак В. Г., Товстошкур В. М. Ефективність способів відтворення природних кормових угідь. Вісник аграрної науки. № 7. 2009. С. 16–18.

враховувати економічні умови і біологічні особливості трав, агротехнічний вплив, тип ґрунту, природне вологозабезпечення та температурний режим.

Відомо, що шляхом науково обґрунтованого розміщення насінневих посівів багаторічних трав можна підвищити виробництво насіння на 40–50 % без додаткового збільшення площ за значного зниження затрат на їх виробництво.

Багаторічні злакові трави краще ростуть при освітленні. Рослини вирощені в темноті не мають хлорофілу, характеризуються слабкорозвинутою механічною тканиною, в них мало поживних речовин, особливо цукрів. За стійкістю до затінення багаторічні трави поділяють на 3 групи:

- 1) *відносно тіньовитривалі* – тонконогі звичайний і лучний, грястиця збірна, костриця червона, чина лучна;
- 2) *малотіньовитривалі* – лисохвіст лучний, стоколос безостий, костриця лучна, мітлиця велетенська, конюшини луна і гібридна;
- 3) витримують лише слабе затінення – пажитниця багаторічна, райграс високий.

Лучні трави поділяють на три групи:

- 1) ростуть при підвищених температурах повітря: колосняк велетенський, свинорий пальчастий, люцерна жовта;
- 2) при помірних температурах: грястиця збірна, костриця лучна, тонконіг лучний, пажитниця багаторічна, люцерна синя, еспарцет посівний;

Врожайність багаторічних трав залежить від відповідності трав до умов середовища, це показало по даних досліджень проведених у Франції про продуктивність злакових трав. Багаторічні злакові трави добре адаптуються до несприятливих умов (важкі, кислі, перезволожені ґрунти), тому вони швидше розвиваються переважають у травостоях. Сприятливе середовище для багаторічних трав, – то шляхом внесення добрив можна регулювати їх рівновагу в травостой<sup>19</sup>.

Чисті посіви багаторічних трав були і донині залишаються основним способом вирощування<sup>20</sup>. Висока врожайність культурних

<sup>19</sup> Кургак В. Г., Товстошкур В. М. Ефективність способів відтворення природних кормових угідь. Вісник аграрної науки. № 7. 2009. С. 16–18.

<sup>20</sup> Моспан Г. М., Чепур С. С. Удобрення сіяних багаторічних трав – важливий фактор впливу на їх продуктивність і стабільність лучних екосистем. Корми і кормовиробництво. Міжвідомчий тематичний науковий збірник / за ред. кол.: В. Ф. Петриченко; Вінниця, 2006. Вип. 58. С. 66–71.

сіножатей визначається обґрунтованим вибором багаторічних трав, який встановлюють залежно від природних умов, господарського призначення, тощо. Дослідження, закладені на різних типах луків у різноманітних регіонах України показали, по вивченню закономірностей штучно створених лучних агрофітоценозів в процесі їх розвитку, що для сіяних лук, як і для природних, властива саморегуляція і адаптація, вони характеризуються більш високою динамічністю рослинного ценозу. Основним і найбільш важливим принципом підбору видів трав є – урахування їх екологічного пристосування і реакції на заданий режим використання. При цьому важливо, злакові компоненти сприяли формуванню міцної дернини і отриманню збалансованого корму, не виявили пригнічення<sup>21,22,23</sup>. При певному догляді і використанні травостою необхідно проводити підбір компонентів для трав таким чином, щоб вони зберігалися протягом тривалого часу і забезпечували високу і стабільну врожайність. Розрізняють три види культурних пасовищ: короткострокові, які використовуються 1–3 роки; середньострокові – 4–6 років; довгострокові – 7–10 і більше років<sup>24,25,26</sup>.

По припущенню Травина І. С., Машак Я. І., Мізерник І. Д., Нагірняк Т. Б., Слобода О. М., Слобода Л. Я. вважалось, що основні агробіологічні особливості видів і сортів, характерні для одновидових посівів, в агроекологічних умовах. Але в даному

---

<sup>21</sup> Машак Я. І., Любченко Л. М., Панахид К. М. Проблема поєднаного використання біологічного і технічного азоту на бобово-злакових пасовищах. Корми і кормовиробництво / за ред. А. О. Бабич. К., Аграрна наука. 1999. № 46. С. 96–101.

<sup>22</sup> Уланов А. Н., Царенко В. П., Сивов А. А. Влияние азотных удобрений на продуктивность и качество сена многолетних трав. Кормопроизводство. 2008. № 8. С. 11–14.

<sup>23</sup> Ковтун К. П. Наукове обґрунтування технологічних прийомів створення високопродуктивних багаторічних травостоїв при конвеєрному виробництві кормів на орних землях Лісостепу: автореф. дис. ... докт. с.-г. наук. Вінниця, 2006. 40 с.

<sup>24</sup> Кілочок Т. П., Амброзяк Ю. В., Іжболдін О. О. Вплив лізорецифіну на урожайність ріпаку ярого в умовах північного Степу України. Вісник ДДАУ. 2011. № 1. С. 16–18.

<sup>25</sup> Боговін А. В., Слюсар І. Т., Царенко М. К. Трав'янисті біогеоценози, їхнє поліпшення та раціональне використання. К., Аграрна наука. 2005. 360 с.

<sup>26</sup> Richardson A. C., Syers J. K. Edaphic limitations and soil nutrient requirements of legume-based forage systems in temperate regions of New Zealand. Forage legumes for energy-efficient animal production. 1988. P. 89–94.

випадку недостатньо враховується взаємовплив одних компонентів на інші, який визначається не тільки абіотичними умовами середовища, системою удобрення, догляду і використання, а й цено-тичними особливостями, які відображають поведінку компонентів у сіяних фітоценозах<sup>27</sup>. У рослинних угрупованнях компоненти різних видів і одного й того ж виду впливають на ріст один одного, до того ж цей вплив залежить від властивостей як видів так і сортів. Види трав, а також і сорти мають досить різну агресивність, внаслідок чого їхній взаємний гальмуючий вплив також різний<sup>28</sup>. Як свідчить А. П. Мовисянц<sup>29</sup> зсилаючись на Р. Б. Гельчинську, відмічає суттєву різницю за вмістом амінокислот як між окремими видами рослин, так і між сортами одного й того ж виду.

Отже, при створенні культурних пасовищ і сінокосів велике значення мають сортові особливості окремих видів трав – їх довголіття, агресивність, смакові якості, відношення до режиму удобрення і використання. На думку Тищенка О. Д., Андрусієвої Л. В., Шевчук Р. В., що сорти сільськогосподарських культур за однакових умов дають різний за величиною і якістю урожай тобто вони різняться за генотипом, потужністю й фізіологічною активністю кореневих систем та мають високу кореляційну залежність між нагромадженням кореневої маси і продуктивністю. По даним голландських дослідників сортові відмінності в продуктивності пажитниці багатоквіткової сінокісного типу складають 20 %, а грястиці збірної, костриці лучної, і пажитниці багаторічної – 10 %. Детальне вивчення біоекологічних особливостей не тільки видів, а й сортів, в західних країнах, зокрема в Англії, Данії, Швейцарії, Німеччині, США і ін. країнах дало можливість перейти на сортовий склад травостоїв.

---

<sup>27</sup> Чепур С. С. Підвищення кормової продуктивності багаторічних трав залежно від їх добору та удобрення в умовах гірської зони Карпат: автореф. ... канд. с.-г. наук. Вінниця, 2007. 23 с.

<sup>28</sup> Шевчук Р. В. Продуктивність сіяних бобово-злакових травостоїв залежно від удобрення та режимів скошування на низинних луках західного Лісостепу: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук. Київ, 2008. 25 с.

<sup>29</sup> Машак Я. І., Любченко Л. М., Черепанов В. П., Панахид К. П. Вплив азотного живлення на продуктивність бобовозлакового травостою пасовищ. Науково-технічний бюлетень Інституту землеробства і біології тварин (серія кормовиробництво і тваринництво). 1999. № 1(2). С. 7–10.

Практика сучасного луківництва за кордоном базується на досить великому виборі сортів злакових видів трав різного цільового призначення з врахуванням їх екологічного оптимуму. Особливо велика селекційна робота з травами проводиться у Великобританії, Голландії.

У країнах з розвиненим луківництвом: США, Новій Зеландії, Данії, Англії і навіть Росії, зовсім по іншому стоїть питання про селекції й насінництву багаторічних трав, де створений широкий спектр сортів багаторічних трав, які характеризуються пластичністю пристосування до конкретних умов росту. Серед злакових травостоїв найбільш високу продуктивність забезпечують ранньо- та середньостиглі травостої, до складу яких входять високопродуктивні верхові, такі як грястиця збірна, костриця лучна та східна, пажитниче-кострицевий гібрид, стоколос безостий. Крім того, ранньо- та середньостиглі трави по роках забезпечували 3–4 цикли стравлювання, в тим часом як пізньостиглі лише 2–3<sup>30</sup>. При організації лучних конвеєрів структура площ повинна бути такою: ранні травостої – 20–25 %, середньостиглі – 50 % і пізньостиглі – 25–30 відсотків.

В умовах західного Лісостепу за багаторічними даними дослідженнями Інституту землеробства і тваринництва західного регіону<sup>31</sup>, при створенні ранньостиглих травостоїв необхідно включати грястицю збірну, лисохвіст лучний (на торфових ґрунтах), в середньостиглі посіви – кострицю лучну і східну, стоколос безостий, пажитницю багаторічну, очеретянку звичайну, та і інші, у пізньостиглі – тимофіївку лучну, та мітлицю велетенську<sup>32</sup>. Рослини з повільним ритмом розвитку, тобто додавання до середньо- і тим більше до ранньостиглих травостоїв пізньостиглих видів, не змінює строків збиральної стиглості і не знижує якість корму, але приводить до швидкого зрідження пізньостиглих видів, як

---

<sup>30</sup> Кургак В. Г., Лук'янець О. П. Вплив типу травостою, системи удобрення та використання на продуктивність суходільних лучних угідь Північного Лісостепу України. Збірник наукових праць Вінницького державного аграрного університету. 2004. № 17. С. 9–15.

<sup>31</sup> Дудник С. В., Дзвоник О. М. Ефективність системи удобрення заплавних лук Лісостепу. Збірник наукових праць Інституту землеробства УААН / за ред. В. Ф. Сайко К., «Фітосоціоцентр». 2002. № 3–4. С. 57–61.

<sup>32</sup> Madziar Z. Efektywnosc mineralnego nawozenia wielokosnego uzytku zielonego w zalezności od deszczowania i poziomu nawozenia. Efektywnosc wody i nawozow w roznych warunkach srodowiska i agrotechniki. 1986. S. 691–701.

слабоконкурентних і як наслідок – до нераціонального використання їх насіння. Посилення слабоконкурентних, або послаблення сильноконкурентних видів у травостої шляхом коректування їх норм висіву, як правило, не дають бажаних результатів<sup>33</sup>. В Лісостеповій зоні, як свідчать літературні дані, співвідношення козлятнику до стоколосу безостого зростає. Азотне добриво внесене в якості підживлення, сприяло значному зміцненню в травостої групи злаків.

При визначенні тривалості життя багаторічних трав в ценозах як відмічає Т. А. Работнов через ненадійність методів, вивчені недостатньо Вільямс В.Р., Серебрякова Т. І., Смелов С. П., Работнов Т. А., Архипенко Ф. М., Слюсар С. М. відмічають, що тривалість життя кожного виду вважати спадково обмеженим, а процес природного старіння треба признати як неминучий.

Виродження сіяних пасовищ і сінокосів як наслідок випадання із травостоїв цінних видів приводиться роботі Смелової С. П. Автор свідчить про зниження життєздатності, ослаблення рослин і випадання їх із ценозу відбувається під впливом різних причин: природного старіння, зміни зовнішніх умов в результаті життєдіяльності самих рослин, порушення нормального проходження життєвого циклу через нераціональні режимами використання травостоїв.

Ботанічний склад травостою – один із головних показників перемін, що відбуваються у фітоценозі за роками використання. На першому етапі життя сіяного рослинного угруповання спостерігається витіснення в травостою низових злак. Це кардинально змінює якість корму та стабільність урожаїв їх економічну і енергетичну ефективність.

В. Р. Вільямс свідчить в своїй теорії дернового процесу прийшов до висновку, що строк перебування сіяних трав в кормовій сівозміні обмежений 7–8 роками. Збільшення групи різнотрав'я в травостоях характеризується уже як початок небажаного впливу дернового процесу. Це підтверджується для злакових травостоїв. Щодо бобово-злакових травостоїв, то при інтенсивному використанні та зрошенні їх строк перебування в сівозміні, як показали дослідження, обмежений 4–5 роками<sup>34</sup>.

---

<sup>33</sup> Приступа В. М. Урожай і якість канарника очеретяного на торфових ґрунтах залежно від удобрення та кількості укосів. Республіканський міжвідомчий тематичний науковий збірник / за ред. І. П. Проскура. К., Аграрна наука, 1980. Вип. 10. С. 30–32.

<sup>34</sup> Ярмолюк М. Т. Демчишин Н. Б., Демчишин А. М., Котяш У. О., Панахид Г. Я., Шевчук Р. В. Зміна родючості ґрунту на довготривалих лучних травостоях. залежно від інтенсивності удобрення і використання. Передгірське та гірське землеробство і тваринництво. 2006. № 48. С. 165–168.

## 5. Формування і збереження продуктивного травостою

Важливою умовою формування й збереження продуктивного травостою та отримання високих врожаїв є його раціональне використання. Для ефективного використання пасовищ, разом із прийомами правильного створення високоврожайних травостоїв і догляду за ними, велике значення мають питання ефективного випасання таких угідь. До них, в першу чергу, відносяться загінна і порційна системи випасання, встановлення оптимального навантаження і щільності тварин на одиницю площі пасовищ, строки початку і закінчення випасання, організації території і обладнання пасовищ. Раціональне використання пасовищ – одна з найбільш значних проблем в лукопасовищному господарстві<sup>35</sup>. Через швидке наростання трави весною, близько третини площі пасовищ в першому циклі випасання не можливо використати в оптимальній строк. Тому, перерослий травостій слід своєчасно скосити на сіно, сінаж або трав'яне борошно. Таке підкошування перерослих трав у кілька строків забезпечить у наступні цикли не одночасне досягнення ними пасовищної стиглості, а отже безперерйне надходження худобі повноцінного корму<sup>36</sup>.

Збільшення кількості укосів не завжди призводить до зниження урожайності. Смелов С. П., встановив, що при сприятливих умовах живлення рослин, часте зрізання верхівки генеративного пагону злакових трав, стимулює їх куціння і сприяє збільшенню пагонів в послідуєчих циклах. Подальшими дослідженнями<sup>37</sup> встановлено, що поєднання багатоукісного використання з оптимальним забезпеченням травостою вологою та елементами живлення призводить до підвищення їх продуктивності. Щоб підвищити врожай і зменшити негативний вплив на травостій однобічного укісного чи пасовищного використання, доцільно їх чергувати по роках або окремих періодах. Як свідчать дані Смелова С. П.

---

<sup>35</sup> Боговін А. В., Дудник С. В. Особливості створення та використання господарсько-цінних луко-пасовищних травостоїв. Збірник наук, праць Інституту землеробства УААН. 2002. Вип. 2. С. 52–60.

<sup>36</sup> Макаренко П. С., Ковтун К. П., Михайлов К. С., Назаров С. Г., Дедов О. В., Полулях М. М., Романюк С. П. Наукове обґрунтування прогресивних технологій у лувівництві. Корми і кормовиробництво. / за ред. кол. : А. О. Бабич. К., Аграрна наука, 1999. № 46. С. 82–95.

<sup>37</sup> Куксін М. В., Сухомлін Ф. М. Створення і раціональне використання культурних пасовищ. К., Урожай, 1980. 200 с.



і Іванова Д. А., найбільш ефективно чергування укісного і пасовищного використання через рік.

При визначенні тривалості життя багаторічних трав в ценозах як відмічає Т. А. Работнов через ненадійність методів, вивчені недостатньо В. Р. Вільямс, Т. А. Работнов та ін., відмічають що процес природного старіння треба признати як неминучий, а тривалість життя кожного виду вважати спадково обмеженим.

Виродження сіяних пасовищ і сінокосів як внаслідок випадання із травостоїв цінних видів приводиться в наукових роботах<sup>38</sup>. На думку автора зниження життєздатності, ослаблення рослин і випадання їх із ценозу відбувається під впливом різних причин: природного старіння, зміни зовнішніх умов в результаті життєдіяльності самих рослин, порушення нормального проходження життєвого цикла через нераціональні режимами використання травостоїв.

Ботанічний склад травостою – один із головних показників перемін, що відбуваються у фітоценозі за роками використання. На першому етапі життя сіяного рослинного угруповання спостерігається витіснення із травостою щільнокущові злаки кореневищними злаками. Це кардинально змінює якість корму та стабільність урожаїв їх економічну і енергетичну ефективність.

Деякі вчені відмічають, що прості травостої за продуктивністю краще реагують на удобрення. Для 4–5 річного використання найбільш придатні верхові трави із видів багаторічних трав<sup>39</sup>. Із злакових трав перевагу віддають стоколосу безостому, грястиці збірній, костриці лучній, пажитниці багаторічній, тимофіївці лучній.

При складанні травостоїв необхідно враховувати також режим використання травостоїв. Для багатукісного використання до травостоїв включають швидкорослі види, такі як кострицю східну, кострицю лучну, стоколос безостий, грястицю збірну. Число видів, які входять у норми їх висіву значно відрізняються. В Англії загальна норма висіву травостоїв менше 30 кг. Взагалі висівають 3–4 види, але залежно від взаємозамінності протягом сезону, способу використання, зміни погодних умов у різні роки часто беруть по два сорти

---

<sup>38</sup> Аверчев А. В., Василенко Н. Е. Влияние удобрений на семенную продуктивность и посевные качества овсяницы красной на юге Украины, Вісник Хмельницького національного університету, 2020, № 2. С. 226–230. DOI: 10.31891/2307-5740-2020-280-2-40

<sup>39</sup> Василенко Н. Е. Продуктивність сортів стоколосу безостого залежно від позакореневого підживлення органічним добривом Біо-гель Таврійський вісник, № 121, Херсон, 2021 р. С. 13–20. DOI 10.32851/2226-0099.2021.121.2

кожного виду (ранньостиглий і пізньостиглий, сіножатний, пасовищний, різних за довголіттям)<sup>40</sup>.

Багатьма дослідниками встановлено, що видовий склад висіяних посівів трав залежить від багатьох факторів і перш за все, від біологічних особливостей. У перші роки завжди формується злаковий травостій із повільно ростучих, переважно кореневищних і низових злаків. Видовий склад може змінюватися при загущеному травостої – розростаються більш тіневитривалі грястиця збірна, костриця лучна, житняк, стоколос безостий) і гинуть тонконіг лучний, тимофіївка лучна. На торфових нормально осушених і удобрених ґрунтах швидко розростається тимофіївка лучна. Провідне місце швидко займає стоколос безостий, при внесенні високих доз азоту (N<sub>180</sub> P<sub>240</sub>) розростаються тонконіг лучний, лисохвіст, грястиця, стоколос безостий (46).

Слід зазначити про необхідність виваженого підходу до підбору компонентів для травостоїв і вибору агротехнічних заходів із догляду та режиму використання. Отже, аналіз біологічних особливостей багаторічних трав свідчить, що при складанні травостоїв необхідно враховувати такі вимоги: в даних ґрунтово-кліматичних умовах включати такі види і сорти трав які є найбільш стійкими і найбільш врожайними в одновидових посівах; обов'язково враховувати строки і характер використання травостоїв при визначенні у трав різних біологічних груп і проектуванні норм їх висіву; посіви трав короткострокового використання (двох-трьох років) необхідно включати в основному коротковічні рослини, а для забезпечення високого врожаю на другий і третій рік використання – невеликий відсоток (від норм висіву) рослин середнього довголіття; рослини середнього довголіття в основному переважають у травостоях середньої тривалості використання. Причому, для забезпечення високого врожаю у перші і останні два роки використання необхідно включати невеликий відсоток коротковічних і кореневищних злаків; при сінокісно-пасовищному, або пасовищному використанні трав протягом п'яти років і більше, крім малолітніх і трав середнього довголіття необхідно включати низові злаки.

---

<sup>40</sup> Ковтун К. П. Наукове обґрунтування технологічних прийомів створення високопродуктивних багаторічних травостоїв при конвеєрному виробництві кормів на орних землях Лісостепу: автореф. ... д-ра с.-г. наук / К. – Вінниця, 2006. 40 с.

Багато уваги приділялося вивченню багаторічних злакових трав в Україні. Загальні принципи доволі ґрунтовно висвітлено формування штучно створеного травостою у підвищенні його продуктивності та поліпшенні якості кормів у працях А. В. Боговіна, Куксіна М. В., Макаренка П. С., Аверчева О. В., та ін. Видова структура сіяних травостоїв, в першу чергу, доведено багаторічними дослідженнями, залежить від видових особливостей трав, їх життєвих стратегій та особливостями умов місцезростання і режимами догляду і використання угідь, які сприяють поширенню тих або інших видів у сіяному рослинному угрупованні.

Спостереження показали, що густина травостоїв неоднакових за видовим складом та способами використання змінювалася за роками досліджень. Вплив різних видів злакових трав на формування агрофітоценозів почався з другого року їх життя, що дало можливість краще прослідкувати дію цього фактора.

Для підвищення продуктивності злакових трав при створенні сіножатей і пасовищ необхідно вивчити одновидові посіви багаторічних трав і реакцію їх на удобрення та способи використання. З цією метою нами протягом 2012–2020 рр. проводилися дослідження по вивченню продуктивності одновидових посівів багаторічних трав.

За умовний контроль нами було прийнято посіви пажитниці багаторічної, як найбільш поширеної злакової трави на сіножатях і пасовищах. Проведені дослідження по вивченню продуктивності новостворених сортів – лукопасовищних багаторічних трав показали, що в сприятливих умовах місце зростання, де екологічні фактори не є лімітуючими в житті рослин, всі – види багаторічних трав забезпечили досить високу урожайність, яка коливалася в середньому за роки в межах 6,1–7,3 т/га сухої речовини.

Вплив мінеральних добрив на продуктивність і якість корму в літературі є досить багато, але мало фізіологічних досліджень по вивченню дії мінеральних елементів на процеси життєдіяльності рослин. В період кущіння, є найбільша потреба рослинами в мінеральному живленні багаторічних трав. Тому критичним періодом у використанні азоту, фосфору і калію злакових трав є – фаза кущіння. У фазі кущіння слід використовувати найкраще пасовищні трави на випас. У цей період потреба рослин у хімічних елементах і важається в різних видів багаторічних трав у різному ступені

і залежить від умов реакції середовища (рН ґрунту), температури повітря та ґрунту, освітлення, забезпечення водою і ін.<sup>41</sup>.

У наших дослідженнях на наступний рік життя трави почали інтенсивно розвиватися і створили міцну дернину, тому що умови для росту і розвитку були досить сприятливі. Між видами багаторічних трав спостерігали різницю у відростанні навесні та тривалістю періоду вегетації восени, що мало важливе практичне значення.

## ВИСНОВКИ

Найбільшу щільність з травостоїв спостерігали у костриці червоної, яка коливалась від 1057 до 1163 пагона/м<sup>2</sup> в залежності від варіантів. Несприятливі погодні умови 2013 року призвели до часткового випадання верхових злакових трав із даних травостоїв, особливо костриці лучної та тимофіївки лучної.

Підрахунок кількості пагонів на досліджуваних ділянках укіснопасовищного використання навесні 2012–2018 роках показав, що найвищу густоту мала ранодозріваюча трава – 2321 пагонів/м<sup>2</sup>, з них грястиця збірна – 702 шт./м, а пажитниця багаторічна – 782 пагонів/м.

В результаті надмірного розорювання, широкомасштабної меліорації земель та інтенсивного використання негативному впливу піддалися й трав'янисті біогеоценози, внаслідок чого знизилась їх біосферна роль

На основі проведених досліджень теоретично узагальнено і практично запропоновано нове вирішення питання формування лучних агроecosystem створених на землях вилучених з інтенсивного обробітку та підвищення їх продуктивності в Південному Степу.

Висока врожайність культурних сіножатей визначається обґрунтованим вибором багаторічних трав, який встановлюють залежно від природних умов, господарського призначення, тощо.

Дослідження, закладені на різних типах луків у різноманітних регіонах України показали, по вивченню закономірностей штучно створених лучних агрофітоценозів в процесі їх розвитку, що для сіяних лук, як і для природних, властива саморегуляція і адаптація,

---

<sup>41</sup> Ковтун К. П., Дедов О. В. Продуктивність грястиці зірної і її сумішок залежно від рівня мінерального живлення. Корми і кормо виробництво. Міжвидомчий тематичний науковий збірник / за ред. О. Бабич. К., Урожай. 1994. № 38. С. 15–19.

вони характеризуються більш високою динамічністю рослинного ценозу. Основним і найбільш важливим принципом підбору видів трав є – урахування їх екологічного пристосування і реакції на заданий режим використання.

Формування фітоценозів проходило залежно від зміни ботанічного складу травостоїв. Зміни відбувались за видовим складом ценозу, фоном живлення, укосами і роками використання. При внесенні азотних добрив диференціація видів за конкурентною здатністю посилюється, що призводить до істотного послаблення їх біологічної сумісності.

Злакова трава при внесенні азотних добрив в дозах N30–60 забезпечила меншу урожайність 3,60–4,19 т/га СР. Енергетична та протеїнова поживність 1кг СР складала 0,75 корм, од., 101–117 г перетравного протеїну та 8,9–9,7 МДж ОЕ.

### **АНОТАЦІЯ**

В результаті надмірного розорювання, широкомасштабної меліорації земель та інтенсивного використання негативному впливу піддалися й трав'янисті біогеоценози, внаслідок чого знизилась їх біосферна роль. На даний час доведено, що трав'яниста рослинність, а саме сіножаті і пасовища, які в світі займають 3,4 млн га землі майже вдвічі перевищують площу ріллі, а Україні їх площа в 7,7 разів менша від орних земель, відіграють позитивну роль у підвищенні родючості ґрунту.

Лучні травостої мають не лише кормовиробниче значення, їм належить велика природоохоронна роль в агроландшафті: вони захищають ґрунти від ерозії, береги річок від руйнування та замулення русел. Разом з лісами та болотами вони є могутнім природним біофільтром поверхневого та ґрунтового стоку і фактично формують кількість і якість водних ресурсів. На сучасному етапі розвитку лучного кормовиробництва важливим завданням є забезпечення тваринництва високоякісними кормами, зниження енергетичних, матеріальних, трудових і фінансових витрат на одиницю тваринницької продукції і підвищення її конкурентоспроможності.

При внесенні повного мінерального удобрення (N<sub>60</sub>P<sub>45</sub>K<sub>45</sub>) середня висота пагонів зростала на 9–11 см, порівняно з варіантами без основного удобрення. Позакореневі підживлення карбамідом (5 кг/га), Плантафолом (2 кг/га) та регулятором росту Аміно Вік (0,5 кг/га) на фоні основного удобрення (N<sub>60</sub>) незначно збільшували

середню висоту, на 4; 3; 4 см, порівняно з аналогічними варіантами без основного удобрення. При внесенні повного мінерального добрива ( $N_{60}P_{45}K_{45}$ ), в поєднанні з позакореневим підживленням вище вказаними препаратами, середня висота додатково зростала ще на 5–6 см, в порівнянні з фоном основного удобрення  $N_{60}$ .

### Література

1. Антонив С. Ф., Колесник С. И. Семеноводство злаковых трав, особенности технологии выращивания семян новых и перспективных сортов. Семеноводство, 2005. № 11. С. 7–10, 15–16.

2. Макаренко П. С., Деркач В. С. Роль верхових і низових злакових трав при створенні сіяних травостоїв пасовищного і укісного використання. Корми і кормовиробництво. К., 2004. Вип. 54. С. 61–65.

3. Козяр О. М., Ярмоленко О. В., Лещенко Ю. В. Динаміка ботанічного складу травостою сіяної сіножаті залежно від його складу та рівня мінерального удобрення в умовах Правобережного Лісостепу України. Корми і кормовиробництво, К., 2004. Вип. 54. С. 52–60.

4. Коломойченко В. В., Овсинников Р. И. Ботанический состав лугов Шатиловской опытной станции и возможности их улучшения. Кормопроизводство, 2001. № 7. С. 12–16.

5. Nataliia Vasylenko, Oleksandr Averchev, Sergiy Lavrenko, Nataliia Avercheva, Nataliia Lavrenko Growth, development and productivity of *Bromus inermis* depending on the elements of growing technology in non-irradiated conditions University of Agronomic Sciences and Veterinary Medicine of Bucharest *AgroLife Scientific Journal* – Volume 9, Number 2, 2020 ISSN 2285-5718; ISSN CD-ROM 2285-5726; ISSN ONLINE 2286-0126; ISSN-L 2285-5718 (Science)

6. Кургак В. Г., Лук'янець О. П., Тітова В. М. Біохімічний склад корму лучних травостоїв залежно від системи удобрення і режиму використання. Збірник наукових праць Інституту землеробства УААН / Ред. кол.: В. Ф. Сайко (відп.ред.), 2003. № 3. С. 70–75.

7. Шевчук Р. В., Ярмолюк М. Т. Вплив удобрення і частоти використання на якість корму бобово-злакового травостою. Передгірське та гірське землеробство і тваринництво, 2007. № 49. С. 180–185.

8. Тараріко О. Г. Підвищення сталості та продуктивності агросистем в умовах недостатнього вологозабезпечення. Наукові

основи землеробства в умовах недостатнього зволоження. Київ : Аграрна наука, 2001. С. 15–19.

9. Гаврилук М. М., Кургак В. Г. Сучасні напрями досліджень у лувківництві. Вісник аграрної науки. К., 2010. № 8. С. 14–18.

10. Ковтун К. П. Наукове обґрунтування технологічних прийомів створення високопродуктивних травостоїв при конвеєрному виробництві кормів на орних землях Лісостепу: автореф. дис. ... доктора с-г. наук. Вінниця, 2006. 44 с.

11. Кургак В. Г., Малинка Л. В., Лук'янець О. П., Тітова В. М. Продуктивність травостою залежно від строків підсівання конюшини лучної Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства» / за ред.кол. В. Ф. Сайко К., Екмо. 2006. № 1–2. С. 127–131.

12. Сафин Х. М. Травы и травосмеси для улучшения естественных малопродуктивных склоновых угодий. Кормопроизводство. М., 2006. № 10. С. 9–11.

13. Куксин Н.В. Интенсивное использование сенокосов и пастбищ на Украине. Кормопроизводство. М., вып. 21. С. 165–173.

14. Боговин А. В., Куксин Н. В. Интенсивное использование сенокосов и пастбищ на Украине. Кормопроизводство, Тр. ВИК. М., 1979. Вып. 21. С. 165–173.

15. Кургак В.Г. Способи підвищення ефективності використання багаторічних бобових трав. Корми і кормо виробництво. Міжв. темат. наук, зб., Вінниця, 2006. Вип. 58. С. 20–27.

16. Кузьменко О. Б. Проблема збереження і відтворення гумусу в ґрунтах Миколаївської області. Наукові праці: *Науково-методичний журнал*. Т. 81. Вип. 68. Екологія: сучасний стан родючості ґрунтів та шляхи її збереження. Миколаїв : Вид-во МДГУ ім. Петра Могили, 2008. С. 95–98.

17. Кургак В. Г., Товстошкур В. М. Ефективність способів відтворення природних кормових угідь. Вісник аграрної науки. № 7. 2009. С. 16–18.

18. Моспан Г. М., Чепур С. С. Удобрення сіяних багаторічних трав – важливий фактор впливу на їх продуктивність і стабільність лучних екосистем. Корми і кормовиробництво. Міжвідомчий тематичний науковий збірник / за ред. кол.: В. Ф. Петриченко; Вінниця, 2006. Вип. 58. С. 66–71.

19. Мащак Я. І., Любченко Л. М., Черепанов В. П., Панахид К. П. Вплив азотного живлення на продуктивність бобовозлакового травостою пасовищ. Науково-технічний бюлетень Інституту

землеробства і біології тварин (серія кормовиробництво і тваринництво). 1999. № 1(2). С. 7–10.

20. Уланов А. Н., Царенко В. П., Сивов А. А. Влияние азотных удобрений на продуктивность и качество сена многолетних трав. Кормопроизводство. 2008. № 8. С. 11–14.

21. Ковтун К. П. Наукове обґрунтування технологічних прийомів створення високопродуктивних багаторічних травостоїв при конвеєрному виробництві кормів на орних землях Лісостепу: автореф. дис. ... доктора с.-г. наук. Вінниця, 2006. 40 с.

22. Кілочок Т. П., Амброзюк Ю. В., Іжболдін О. О. Вплив лізорецифіну на урожайність ріпаку ярого в умовах північного Степу України. Вісник ДДАУ. 2011. № 1. С. 16–18.

23. Боговін А. В., Слюсар І. Т., Царенко М. К. Трав'янисті біогеоценози, їхнє поліпшення та раціональне використання. К., Аграрна наука. 2005. 360 с.

24. Richardson A. C., Syers J. K. Edaphic limitations and soil nutrient requirements of legume-based forage systems in temperate regions of New Zealand. Forage legumes for energy-efficient animal production. 1988. P. 89–94.

25. Чепур С. С. Підвищення кормової продуктивності багаторічних трав залежно від їх добору та удобрення в умовах гірської зони Карпат: автореф. канд. с.-г. наук. Вінниця, 2007. 23 с.

26. Шевчук Р. В. Продуктивність сіяних бобово-злакових травостоїв залежно від удобрення та режимів скошування на низинних луках західного Лісостепу: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук. Київ, 2008. 25 с.

27. Машак Я. І., Любченко Л. М., Черепанов В. П., Панахид К. П. Вплив азотного живлення на продуктивність бобовозлакового травостою пасовищ. Науково-технічний бюлетень Інституту землеробства і біології тварин (серія кормовиробництво і тваринництво). 1999. № 1(2). С. 7–10.

28. Кургак В. Г., Лук'янець О. П. Вплив типу травостою, системи удобрення та використання на продуктивність суходільних лучних угідь Північного Лісостепу України. Збірник наукових праць Вінницького державного аграрного університету. 2004. № 17. С. 9–15.

29. Дудник С. В., Дзвоник О. М. Ефективність системи удобрення заплавних лук Лісостепу. Збірник наукових праць Інституту землеробства УААН/ за ред. В. Ф. Сайко К., «Фітосоціоцентр». 2002. № 3–4. С. 57–61.



30. Madziar Z. Efektywnosc mineralnego nawozenia wielokosnego uzytku zielonego w zalezności od deszczowania i poziomu nawozenia. Efektywnosc wody i nawozow w roznych warunkach srodowiska i agrotechniki. 1986. S. 691–701.

31. Приступа В. М. Урожай і якість канарника очеретяного на торфових ґрунтах залежно від удобрення та кількості укосів. Республіканський міжвідомчий тематичний науковий збірник / за ред. І. П. Проскура. К., Аграрна наука, 1980. Вип. 10. С. 30–32.

32. Ярмолюк М. Т., Демчишин Н. Б., Демчишин А. М., Котяш У. О., Панахид Г. Я., Шевчук Р. В. Зміна родючості ґрунту на довготривалих лучних травостоях залежно від інтенсивності удобрення і використання. Передгірське та гірське землеробство і тваринництво. 2006. № 48. С. 165–168.

33. Боговін А. В., Дудник С. В. Особливості створення та використання господарсько-цінних луко-пасовищних травостоїв. Збірник наук, праць Інституту землеробства УААН. 2002. Вип. 2. С. 52–60.

34. Макаренко П. С., Ковтун К. П., Михайлов К. С., Назаров С. Г., Дедов О. В., Полулях М. М., Романюк С. П. Наукове обґрунтування прогресивних технологій у луковництві. Корми і кормовиробництво. / за ред. кол. : А. О. Бабич. К., Аграрна наука, 1999. № 46. С. 82–95.

35. Куксін М. В., Сухомлін Ф. М. Створення і раціональне використання культурних пасовищ. К., Урожай, 1980. 200 с.

36. Аверчев А. В., Василенко Н. Е. Влияние удобрений на семенную продуктивность и посевные качества овсяницы красной на юге Украины. Вісник Хмельницького національного університету, 2020, № 2. С. 226–230. DOI: 10.31891/2307-5740-2020-280-2-40

37. Василенко Н. Є. Продуктивність сортів стоголосу безостого залежно від позакореневого підживлення органічним добривом Біогель. Таврійський вісник, № 121, Херсон, 2021. С. 13–20. DOI 10.32851/2226-0099.2021.121.2

38. Ковтун К. П. Наукове обґрунтування технологічних прийомів створення високопродуктивних багаторічних травостоїв при конвеєрному виробництві кормів на орних землях Лісостепу: автореф. ... д-ра с.-г. наук. К. – Вінниця, 2006. 40 с.

39. Ковтун К. П., Дедов О. В. Продуктивність грястиці збірної і її сумішок залежно від рівня мінерального живлення. Корми і кормовиробництво. Міжвідомчий тематичний науковий збірник / за ред. О. Бабич. К., Урожай. 1994. № 38. С. 15–19.

**Information about the authors:**

**Averchev Oleksandr Volodymyrovych,**

Doctor of Agricultural Sciences,  
Professor at the Department of Agriculture  
Kherson State Agrarian and Economic University  
23, Sritenska str., Kherson, 73006, Ukraine

**Vasylenko Nataliia Yevhenivna,**

Candidate of Agricultural Sciences,  
Graduate of the Degree of Doctor of Sciences  
at the Department of Agriculture  
Kherson State Agrarian and Economic University  
23, Sritenska str., Kherson, 73006, Ukraine

## ВПЛИВ СУЧАСНИХ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА АВІАЦІЮ НА ПРИКЛАДІ АМСЦ ХЕРСОН

Волошина О. В., Родінова І. О.

### ВСТУП

Інтенсивний розвиток авіації, автомобільного транспорту та морського флоту викликає підвищений інтерес до туманів. Останнім часом безліч аварій у всіх видах транспорту викликано наявністю поганої погоди. При туманах та інших явищах, які обумовлюють погану видимість, польоти іноді виконувати неможливо. Тому припущення утворення і розсіювання туманів має велике значення.

Виникнення туманів часто призводить до закриття аеропортів за погодних умов. Найбільшу небезпеку для авіації представляють адвективні тумани, як найбільш тривалі за часом, мають найбільшу вертикальну потужність і здатні виникнути в будь-який час доби.

Кліматичні умови району враховуються не тільки при метеорологічному забезпеченні польотів повітряних суден, а й при плануванні польотів, а також при плануванні роботи служб аеродрому.

Зміна клімату в даний час розглядається багатьма державами як один з найважливіших глобальних викликів нашого століття. Причиною зміни клімату є динамічні процеси на Землі, зовнішні впливи, такі як коливання інтенсивності сонячного випромінювання, та з недавніх пір діяльність людини.

У Глазго (Шотландія) 31 жовтня 2021 року розпочалась кліматична конференція ООН, мета якої – підтримувати рівень глобального потепління якомога ближче до мети 1,5 °С, встановленої Паризькою угодою 2015 року. Цей показник є порогом, за яким зміни клімату можуть мати незворотні наслідки на всі екосистеми. Втім, на думку вчених, із кожним роком ця мета все більш недосяжна. Температура планети вже зросла на 1,1 градуса й, за поточними прогнозами до 2100 року може загалом збільшитись на 2,7 градуса. Це призведе до танення льодовиків, підвищення рівня світового океану та збільшення ймовірності виникнення природних катаклізмів. Низка держав оголосили про намір переслідувати більш жорсткі цілі у боротьбі з глобальним потеплінням.

Тумани відносяться до небезпечних атмосферних явищ, що погіршують видимість, і роблять великий вплив не тільки на транспорт, а й на інші види народного господарства. З огляду на це, слід спрямувати зусилля на виявлення дійсних причин виникнення і розподілу туманів. Це дозволить більш точно враховувати ці характеристики при плануванні роботи транспорту та інших галузей. У великих містах все частіше туман поєднується з утворенням смогу, що вкрай несприятливо позначається на здоров'ї та самопочутті людей. Тому вивчення даної тематики є важливим і актуальним на сьогоднішній день

Детальна характеристика та виявлення закономірностей поширення туману на певній території дають уявлення про регіональні зміни клімату, які відбуваються протягом десятиліть, і можуть бути використаними при прогнозуванні даного явища.

### **1. Вплив сучасних кліматичних змін на авіацію**

Сучасні глобальні та регіональні зміни клімату сприяють збільшенню частоти екстремального стану погоди та призводять до катастрофічних наслідків, зумовлених стихійними явищами. Причиною такої флуктуації клімату є аномальні циркуляційні процеси, що відбуваються в атмосфері.

Погода істотно впливає на всю діяльність авіації. Вона швидко і часто змінюється у часі та просторі.

Мінливість погоди тягне за собою необхідність чіткого метеорологічного забезпечення кожного польоту. Кліматичні дані внаслідок відносної сталості клімату певного району чи певної авіатраси не потрібні для забезпечення окремих польотів. Але вони необхідні при вирішенні питань більшого масштабу, наприклад, при плануванні рейсів на сезон, виборі типу літака для польотів по певній трасі в заданих кліматичних умовах, оцінці умов посадки в різних аеродромах, плануванні сільськогосподарських і будівельних робіт, льодовій розвідці, проектуванні аеропортів.

Герберт Пюмпель, представник ВМО у Комітеті ІКАО з охорони навколишнього середовища від впливу авіації з 2000 року. Його пояснення потенційного впливу зміни клімату на польоти відіграють важливу роль у підвищенні інтересу зацікавлених авіаційних організацій до пов'язаних із кліматом ризиків для авіатранспортного сектора. Пюмпель дає уявлення про те, як можуть здійснюватися польоти в атмосферних умовах, що змінилися в найближчому майбутньому.

**Вплив на повітряний транспорт загального підвищення температури.** Передбачувані максимальні значення підвищених температур в поєднанні з підвищеними значеннями питомої вологості в деяких районах могли б мати серйозний вплив на злітні характеристики в високорозташованих аеропортах або аеропортах з короткими злітно-посадковими смугами, обмежуючи вантажопідйомність або споживання палива. Ці дії потребують проведення більш детальних аналізів для різних регіонів.

На планування вильоту далеких авіарейсів у більш прохолодні вечірні та нічні години в деяких регіонах подальший вплив буде надавати скорочення періоду нічної прохолоди, при якому часто спостерігається висока хмарність, частково обумовлена конденсаційними слідами літаків, що довго зберігаються. У цих випадках ефект нагрівання, що викликається пір'ястими хмарами, уповільнює радіаційне охолодження в нічний період і може являти собою додаткову проблему. У деяких районах це може ще більше скоротити і без того обмежений час роботи.

Проблема глобального потепління починає безпосередньо стосуватися і аеровокзалів. Ті з них, які не обладнані достатньою потужною системою кондиціонування повітря, будуть змушені проходити повну реконструкцію. Крім того, у старих аеропортах вже зараз починає виявлятися така проблема, як ув'язування літаків у розплавленому асфальті.

Втім, не лише спека негативно впливає на аеропорти. Очевидно, що зі зміною клімату та посиленням вихрових потоків навігаційне обладнання в авіаційних вузлах вимагатиме повного переоснащення.

**Потенційні впливи більш дрібномасштабних локальних явищ, що впливають на безпеку польотів.** Наукові дослідження майбутніх впливів зміни клімату на авіацію стикаються з проблемою, що полягає в тому, що багато метеорологічних явищ із значними впливами та наслідками пов'язані з просторовими та тимчасовими масштабами, які значно поступаються за величиною тим масштабам, які реалізовані в сучасних прогностичних моделях. Ця проблема стає ще більш очевидною при використанні кліматичних моделей зі значно нижчою роздільною здатністю, тому для отримання, як мінімум, статистично надійних результатів для дрібно- та мікромасштабних явищ будуть потрібні інтелектуальні методи даунскейлінгу, статистична подальша обробка та більш передові методи використання концептуальних моделей. Це стосується метеорологічних явищ зі значними впливами та наслідками, таких як конвекція та пов'язані з нею явища від

низькорівневого зсуву вітру до граду та ударів блискавок, турбулентності при ясному небі та турбулентності орографічних гірських хвиль, а також турбулентності поблизу верхньої межі та низькорівневого зсуву вітру, поганої видимості та низької хмарності.

**Обледеніння та піщані/пильні бурі.** Обледеніння літака вважається проблемою для цивільної авіації. Наявність великих переохолоджених крапель при діапазоні температур від  $-4$  до  $-14$  °C залежить від ряду умов. До таких умов відносяться наявність великої кількості водяної пари, мезомасштабної смуги висхідних потоків повітря і обмежена концентрація відповідних аерозолів, що виконують функцію ядер конденсації, які сприяють утворенню великих переохолоджених крапель.

Тенденція загального потепління і збільшення вологості на деяких широтах при більш активній динаміці потоку – все це вказує на підвищену імовірність появи умов, сприятливих для обледеніння.

На сьогодні, при значному розвитку метеорологічних і кліматичних досліджень, глобальній зміні клімату приділяється значна увага, а такий стан клімату, який сформувався за останні роки, ставить перед науковцями завдання дослідження сучасних особливостей формування атмосферних явищ, особливо небезпечних та стихійних, одним з яких є туман.

Міжнародним організаціям, таким як ІКАО або Європейське агентство з безпеки польотів, необхідно розробити інструктивну документацію та моделі передової практики для підтримки управління ризиками. Ці організації мають залучити усі зацікавлені сторони – від операторів, пілотів, начальників аеропортів та фірм-виробників до урядів та керівників служби держнагляду з техніки безпеки. Багатодисциплінарна робота вчених спільно з експертами з оперативної діяльності та безпеки могла б зробити внесок у підготовку проектів такої інструктивної документації. Важливо, щоб інструктивна документація регулярно переглядалася і оновлювалася з тим, щоб відображати статистичні дані про клімат, що виникають і змінюються.

## 2. Небезпечні явища для діяльності авіації

В Україні майже щорічно у будь-якому районі створюються умови виникнення стихійних метеорологічних явищ. Стихійні метеорологічні явища мають аномальний характер утворення і пов'язані з особливостями циркуляційних процесів, на які впливає орографія<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> «Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986–2005 рр.)» / За ред. В. М. Ліпінського, В. І. Осадчого, В. М. Бабіченко. Київ : Ніка-Центр, 2006. 312 с.

Стихійні метеорологічні явища зазвичай спостерігаються у комплексі, що значно посилює їх негативний вплив. Так, зливові дощі супроводжуються грозами, градом, штормовим вітром; хуртовини – снігопадом та сильним вітром, відкладенням мокрого снігу, обледенінням тощо.

За даними гідрометеорологічної служби України, у державі упродовж 2011–2020 років зафіксовано 2752 випадки стихійних метеорологічних явищ. Особливістю останнього 10-річчя є значна кількість випадків дощу, вітру та снігу, які досягли критеріїв стихійного явища.

Так, у зв'язку із кліматичними змінами 7 серпня 2016 року в Одесі за неповні чотири години випало понад 90 мм опадів, а шквали вітру сягали до 29 м/с. У Івано-Франківській області 22–23 червня 2020 року інтенсивність дощів склала 106–168 мм, що спричинило катастрофічні повені, що призвели до трагічних наслідків.

На підставі аналізу статистичних даних та прогностичних показників визначили регіони України, у яких найбільш можливі стихійні метеорологічні явища. До локальних територій потенційних затоплень в Україні віднесли Закарпатську, Львівську, Чернівецьку, Івано-Франківську та інші області.

Атмосферна турбулентність, гроза, ожеледиця (переохолоджений дощ, мряка, крижаний дощ), а також атмосферні явища, що погіршують видимість і ускладнюють польоти (туман, хуртовина, сніг, дощ, мряка), відносяться до небезпечних для авіації явищ погоди.

Несприятливі і насамперед стихійні явища погоди завжди перебувають у царині інтересів учених-кліматологів як екстремальні складові природного середовища.

Сильний дощ формується за складної взаємодії макро- і мікромасштабних синоптичних процесів та орографії. Найчастіше (60 %) сильні дощі випадають під час переміщення південних і південно-західних циклонів з Чорного моря і Середньодунайської низовини, а також внаслідок блокуючих синоптичних процесів, що є одним з головних факторів формування сильних опадів. Вони утворюються під час переміщення холодних фронтів із заходу (15 %) у глибоких улоговинах, де створюються умови для розвитку хвильового збурення. Рідше (10 %) сильні опади спостерігаються під час активізації малорухомих фронтів у районі Чорноморської депресії і під час формування над територією України малорухомих циклонів (5 %). Сильні опади випадають також при переміщенні циклонів з північного заходу та на стаціонарних фронтах (10 %).

Під час переміщення південних циклонів сильний дощ може випадати у будь-якій частині України і охоплювати значну територію. Оподи, зумовлені переміщенням холодних фронтів із заходу, відмічається здебільшого на півночі України. Під час переміщення циклону з північного заходу оподи випадають у північних і східних регіонах, а за активізації Чорноморської депресії – на півдні країни. Кількість опадів, їх повторюваність, інтенсивність залежать від багатьох чинників: місця формування, стадії розвитку, потужності, траєкторії руху, вологовмісту циклону, а також від фізико-географічних умов, орографії, місцевих особливостей території.

Снігопади – це одна із важливих характеристик зимового сезону в Україні. Залежно від особливостей циркуляції атмосфери іноді відзначаються дуже сильні снігопади, які належать до стихійних гідрометеорологічних явищ. Це снігопади з кількістю опадів 20 мм та більше 12 годин і менше.

На території України у зимовий сезон залежно від особливостей циркуляції атмосфери іноді відмічається дуже сильний снігопад (кількість опадів 20 мм і більше за 12 год та менше), який відносять до стихійного метеорологічного явища. Інколи він буває весною і восени.

Сильні снігопади, зазвичай, пов'язані з виходом на територію України південних і південно-західних циклонів (50 %) із Середземного моря, а також західних (10 %) і північно-західних циклонів (10 %) із Західної Європи. За таких умов дуже сильні снігопади бувають в Українських Карпатах і західних областях. Рідко (10 %) їх формування спричиняють фронти, що переміщуються в улоговинах «пірнаючих» циклонів і у штормовій зоні між циклонами над Чорним морем і антициклоном над європейською частиною Росії.

Сильні снігопади виникають у меридіональній зоні Дніпропетровськ – Суми внаслідок стаціонавання області низького тиску над Чорним морем та блокуючих процесів (10 %) під час активізації циклону над заходом Сибіру, а також проходження із заходу холодного фронту із хвильовими збуреннями або на теплих фронтах (10 %).

В аеропортах через сильні снігопади відбуваються скасування та затримки рейсів. Будь-які сильні дощі та снігопади ускладнюють переліт. Під час опадів дуже погіршується видимість. Роботі аеропортів заважає також сильний вітер. Так, у січні 2014 року сніг та хуртовини паралізували дороги в центрі, на півдні та на сході України. У деяких областях висота снігового покриву складала від 1 до 1,7 метра.

Великий град (діаметр частинок 20 мм і більше) – стихійне метеорологічне явище, яке завжди завдає значної шкоди. Швидкість



падіння градин досягає 25–27 м/с. Градини діаметром 30 мм і більше можуть пробити в літаку вм'ятини, взагалі знищити посіви і навіть побити дрібну худобу; повторюваність такого граду в Україні становить майже 20 %<sup>2</sup>.

До градоутворення призводять також циклони, що стаціонують над територією України. У літні місяці формування граду найчастіше відбувається під впливом фронтальних процесів, а в квітні та вересні зумовлено внутрішньомасовими процесами. Холодні фронти з півночі також призводять до випадання крупного граду<sup>3</sup>.

Особливо крупний град відмічається у денні години на фронтах з хвильовими збуреннями. Різноманітність фізико-географічних умов також впливає на просторовий розподіл граду. Українські Карпати, Кримські гори і височини Донецька, Волинська, Подільська та Придніпровська) сприяють розвитку висхідних потоків, посиленню турбулентності у приземному карі повітря і збільшенню конвективної хмарності, а отже посиленню градових процесів.

26 червня 2021 року у Бучанському районі Київської області, у селі Бобриця, на відстані близько 10 км від Києва випав град, розміром до 5 см у діаметрі. Шматки льоду ламали не лише садові рослини, а й ушкоджували автомобілі. У серпні 2021 року в Сумській області та Миронівці (Київська область) випав великий град діаметром 38 мм<sup>4</sup>.

За своїми фізичними властивостями туман подібний до хмар, з яким має багато спільного за процесами утворення. Тим паче вони тісно взаємопов'язані: піднімаючись, туман переходить у низькі розірвано-шаруваті хмари, і, навпаки, при зниженні хмар до приземного шару утворюють явище туман.

Залежно від висоти верхньої межі шару туману можна умовно розрізняти: поземні тумани при висоті до 2 м, низькі 2–10 м, середні – 10–100 м і високі – понад 100 м. Крім туману та серпанку, погіршення видимості може бути викликане запиленістю повітря чи його задимленістю у зв'язку з лісовими чи торф'яними пожежами тощо.

Тумани складаються з крапельок води («водяний туман») або з крижаних кристалів («крижаний туман»). Величини крапельок туману значною мірою залежать від температури повітря: з підвищенням температури краплі стають більшими. Середні

---

<sup>2</sup> Климат Украины / за ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. Київ : Вид-во Расвського, 2003. 343 с.

<sup>3</sup> Сулаквелидзе Г. К. Ливневые осадки и град. Л. Гидрометеоздат. 1968.

<sup>4</sup> Український гідрометеорологічний центр. URL: <http://www.meteo.gov.ua>

розміри крапель за позитивних температур досягають радіуса 7–15  $\mu$ , а при негативних – 2–5  $\mu$ .

Підраховане число крапель туману в одиниці об'єму сильно коливається в широких межах. У середньому 1 см<sup>3</sup> при слабкому тумані міститься 50–100 крапельок, а за сильному тумані – 500–600 крапель і більше.

Туман може утворитися лише після насичення або навіть деякого пересичення водяної пари. Тому відносна вологість у тумані, взагалі кажучи, має становити 100 %. Такі ж показники відносної вологості спостерігаються у хмарах. До таких спостережень слід ставитися критично, враховуючи недосконалість станційних методів вимірювання вологості повітря, особливо при негативних температурах.

Тумани утворюються, коли повітряна маса охолоджується до температури нижче точки роси. Процес охолодження може відбуватися внаслідок різних фізичних процесів. Велику роль у цьому відіграє тепловий баланс, приплив та відтік тепла.

Аналіз теплового балансу та інших умов показує, що найбільше суттєвими процесами утворення туману є: 1) радіаційне охолодження підстилаючої поверхні та від її повітряної маси (радіаційні тумани); 2) охолодження теплої повітряної маси при її горизонтальному переміщенні (адвекції) вздовж холодної поверхні, що підстилає (адвективні тумани); 3) адіабатичне охолодження повітряної маси при піднятті вздовж схилів височин і гір (тумани схилів); 4) конвективне перемішування повітря при розташуванні холодної повітряної маси над теплою водною поверхнею.

У всіх цих випадках не менш важливе значення має турбулентність повітряного руху, через який охолоджується більш потужний шар повітря підстилаючої поверхні. Найчастіше утворення та розсіювання туманів залежить від багатьох додаткових факторів: а) зволоження та охолодження повітря завдяки випаровуванню випадajoчих опадів та випаровування з підстилаючої поверхні; б) конденсація (сублімація) пари на підстилаючій поверхні; в) склад та стан ґрунту; г) рельєф місцевості; д) зниження тиску в горизонтальному потоці повітря, що рухається, і деякі інші.

Отже, тумани утворюються за участю комплексу метеорологічних процесів, які розділити не завжди вдається.

Тумани в Україні найчастіше бувають у холодний період року (особливо в грудні-лютому). Протягом року найбільша кількість днів з туманами характерна для Карпат і Кримських гір (понад 120 днів), а також для території, що простяглася широкою смугою від Донецького

кряжа на захід через усю Україну; найменше туманів буває на узбережжі Чорного моря, особливо у Криму (15–30 днів).

Так, наприклад, за інформацією Укргідрометцентру, 5 листопада 2021 року над аеродромом Одеса був сильний туман і дощ. Видимість у зоні посадки не перевищувала 400 метрів, а вертикальна видимість – лише 30 м<sup>4</sup>.

28 листопада 2021 року у північних, більшості західних, центральних та південних областях України спостерігався туман, з видимістю 200–500 м (І рівень небезпеки, жовтий).

20 грудня 2020 року через туман на Правобережжі, у Чернігівській та Сумській областях видимість становила від 200 до 500 метрів. У зв'язку із цим синоптики оголосили перший (жовтий) рівень небезпеки.

Тумани створюють несприятливі умови для земного, водного й, особливо, авіаційного транспорту, через що науково-дослідні інститути розробляють і впроваджують різні методи розсіювання тумані. Штучне створення туманів використовується в наукових дослідженнях, хімічній промисловості, теплотехніці та інших галузях.

Вітер – переміщення повітряних мас відносно земної поверхні. Він пов'язаний з нерівномірним розподілом атмосферного тиску та нестійкістю в атмосфері. Вітер рідко буває стійким і характеризується посиленням або послабленням його складової – швидкості. Збільшення баричних градієнтів і як результат, посилення вітру спостерігається переважно у зимовий та перехідні сезони. Сильний вітер з максимальною швидкістю 25 м/с і більше відносять до стихійного метеорологічного явища, яке завдає матеріальних збитків економіці<sup>5</sup>. У цілому на території України вітер зі швидкістю 25 м/с і більше відмічається щорічно (100 %-ва ймовірність).

Важливою характеристикою вітрового режиму є швидкість вітру, яка визначається баричним градієнтом та умовами циркуляції. Найбільша середня місячна швидкість вітру спостерігається майже на всій території України у лютому, іноді цей максимум припадає на січень або грудень. Різниця швидкості вітру між північними та південними районами у холодний період сягає 3,5 м/с. Найменша швидкість вітру відмічається влітку, коли Україна перебуває під впливом Азорського антициклону, а циклонічна діяльність послаблена. У липні-серпні на

---

<sup>5</sup> Настанова по службі прогнозів та попереджень про небезпечні (НЯ) та стихійні гідрометеорологічні явища (СГЯ) погоди. УкрГМЦ. Київ, 2003.

більшій частині території швидкість вітру зменшується до мінімальних значень<sup>6</sup>.

Шквалом називається короткочасне місцеве посилення вітру до значень, які набагато перевищують значення градієнтного вітру у цьому районі. Більшість шквалів пов'язана з проходженням потужних купчасто-дощових хмар Сб з випаданням зливи або граду, що супроводжуються грозою. Однак спостерігаються і сухі шквали, коли при великій сухості нижнього шару повітря випадають опади не досягають поверхні землі (подібно до сухих гроз).

Смерч являє собою сильний вихор складної структури з вертикальною (нахиленою чи зігнутою) віссю, що опускається з нижньої межі потужних купчасто-дощових хмар до поверхні землі у вигляді білястої чи темноподібної воронки, яка обертається і характеризується значною швидкістю вітру, потужними низхідними (у центральній частині) і висхідними потоками, значною різницею атмосферного тиску від центра воронки до периферії, що у комплексі створює надзвичайну енергію смерчу. Іноді виникає дугоподібний смерч з майже горизонтальною віссю.

Пилова буря – небезпечне явище, зумовлене перенесенням сильним вітром (15 м/с та більше) у період тривалого бездощів'я значної кількості пилу, частинок сухого ґрунту, піску, що спричинює значне погіршення видимості.

Сильні пилові бурі, що охоплюють великі площі, часто спостерігаються над південним сходом України і можуть продовжуватися декілька діб. При цьому явищі швидкість вітру досягає ураганної сили – 30 м·с<sup>-1</sup> і більше. Пилові бурі виникають як за антициклонічної, так і за циклонічної діяльності<sup>7</sup>.

На півдні і південному сході України бурі спостерігаються в теплий період року – з березня по вересень. Незвично сильні «чорні» бурі були в березні і квітні 1960 р. на півдні України. Східний і південносхідний вітер мав швидкість 16–28 м·с<sup>-1</sup> при поривах до 40 м·с<sup>-1</sup>. Площа розповсюдження бурі досягла 1 млн. км<sup>2</sup>. Видимість погіршувалася до

---

<sup>6</sup> Репетин Л. Н., Белокопытов В. Н. Режим ветра над побережьем и шельфом северо-восточной части Черного моря. Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту: Зб. наук. пр. 2008. Вип. 257. С. 84–105.

<sup>7</sup> Положення про порядок складання та передачі попереджень і донесень про виникнення стихійних явищ, різких змін погоди, поєднання небезпечних явищ та випадків екстремально високого забруднення природного середовища. Київ, Держгідромет, 1994. 169 с.

50 м. Висота підйому пилу, за даними розвідки погоди, перевищувала 1500 м, а на окраїнах Одеси досягала 2400 м. Зазвичай чорні бурі тривають не більше 5 год, але іноді бувають дуже тривалими.

З діяльністю вітру також пов'язане таке явище як хуртовина. Хуртовинну діяльність формують два взаємозумовлені процеси. Один – перенесення снігу, який випав раніше, та снігу, що випадає у даний момент (загальна хуртовина); другий – перенесення снігу, що випав раніше, над земною поверхнею (низова хуртовина). Розрізняють ще поземок – перенесення снігу у шарі, безпосередньо прилеглому до земної поверхні.

Інтенсивна хуртовинна діяльність зумовлена міжширотним обміном повітряних мас у холодний період. Основним синоптичним процесом, що спричинює утворення хуртовин є вихід південних та південно-західних циклонів. Проте вони розрізняються за характером розвитку, масштабом поширення та траєкторіями переміщення. Найчастіше (50 %) сильні хуртовини виникають під час переміщення циклонів із Середземного та Чорного морів на територію південних та центральних областей. Інший шлях таких циклонів проходить через Донецьку височину.

### **3. Просторово-часова мінливість туманів на АМСЦ Херсон за 2005–2020 роки**

Відомо, що останні десятиліття кліматична система перебуває у нестійкому стані. Це призводить до глобального потепління клімату та зміни метеорологічних процесів, що відбуваються в атмосфері. У зв'язку з цим зроблено спробу оцінити можливий вплив потепління на утворення туманів у Херсонській області.

Був проведений порівняльний аналіз кліматологічних характеристик на АМСЦ Херсон за різні періоди: 1891–1960 рр., 1961–1990 рр. та 2005–2020 рр.

Проведена оцінка мінливості днів з туманом, тривалості даного явища та взаємозв'язок з глобальним потеплінням та зміною характеристик вологості.

В основу дослідження покладено метеорологічну інформацію, яка була отримана за строковими спостереженнями за холодний (листопад-березень) й теплий (квітень-жовтень) періоди на АМСЦ Херсон.

Холодний період року – період року, який характеризується середньодобовою температурою зовнішнього повітря, що дорівнює  $+10^{\circ}\text{C}$  і нижче. Теплий період року – період року, який характеризується середньодобовою температурою зовнішнього середовища вище  $+10^{\circ}\text{C}$ .

У таблиці 1 наведена загальна повторюваність туманів за період 2005–2020 рр на АМСЦ Херсон<sup>8</sup>. Дана таблиця показує, що в холодний період спостерігалася більша кількість туманів, ніж в теплий – 467 випадок (в середньому 29,2). На теплий період року припадає 182 випадків з туманом (в середньому 11,4). Найбільше туманів в холодний період спостерігалось в 2018 році (57), а в теплий в 2019 році (19). За весь період 2005–2020 було 649 випадків з туманом (в середньому припадає 40,6 на рік). Найбільша кількість туманів за рік була в 2019 році – 76 випадків.

Таблиця 1

**Загальна повторюваність туманів за період 2005–2020 рр.  
на АМСЦ Херсон**

Рік/ Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Холод. пер.	Тепл. пер.	Рік
2005	–	4	3	3	2	–	–	–	–	6	7	5	25	5	30
2006	4	5	6	1	3	–	–	–	2	4	7	7	29	10	39
2007	5	5	3	2	1	1	–	–	3	7	4	1	18	14	32
2008	2	4	4	4	1	1	–	1	–	6	7	3	20	13	33
2009	13	7	2	4	–	2	–	–	3	6	9	10	41	15	56
2010	5	6	3	4	3	–	–	–	–	2	5	7	26	9	35
2011	8	–	3	1	2	–	–	–	2	4	2	10	23	9	32
2012	3	1	1	3	2	–	–	–	4	2	7	5	16	11	27
2013	5	4	3	2	–	–	–	–	2	8	8	5	25	12	37
2014	4	7	5	1	4	–	–	–	–	3	6	7	29	8	37
2015	11	5	3	–	–	–	–	–	2	4	6	5	30	6	36
2016	4	8	4	3	4	–	–	–	2	7	3	5	24	16	40
2017	2	5	4	3	–	–	–	–	3	3	7	6	24	9	33
2018	10	8	10	3	2	–	–	–	3	4	13	16	57	12	69
2019	11	12	5	4	–	–	–	2	4	10	10	18	56	20	76
2020	4	4	2	–	2	–	–	–	4	7	4	10	24	13	37
Сума	91	85	61	38	26	4	–	3	34	83	105	120	467	182	649
Середн.	6.1	5.7	3.8	2.7	2.4	1.3	–	1.5	2.8	5.2	6.6	7.5	29.2	11.4	40.6
Імовір- ність (%)	16	13	9	6	4	0,4	–	0,4	5	11	16	20	73	27	100

Порівнюючи дані кількості днів з туманом за 2005–2020 роки з даними за 1891–1960 роки та 1961–1990 роки, що занесені у табл. 2 бачимо таку тенденцію. За 1961–1990 роки число днів з туманами

<sup>8</sup> Щоденники погоди АВ-6 по аеродрому Херсон (2005–2020 рр.)

збільшилось у порівнянні з попереднім періодом<sup>9</sup>. А за 2005–2020 роки середня кількість днів з туманом дещо зменшилась. Значне зменшення помітне у зимові місяці: у грудні на Херсонщині середнє число днів з туманом за період 1891–1960 роки становило 10 днів<sup>10</sup>, а вже за 2005–2020 рр. в середньому налічується 7,5 днів; у січні середнє число днів з туманом з 9 (1891–1960 рр.) зменшилось до 6,1 днів (2005–2020 рр.); за лютий місяць середня кількість днів з туманом зменшилась з 7 до 5,7 днів.

Таблиця 2

**Середнє число днів з туманом у Херсоні за три періоди  
(2005–2020 рр., 1961–1990 рр., 1891–1960 рр.)**

Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	X–III	IV–IX	Рік
2005–2020	6,1	5,7	3,8	2,7	2,4	1,3	–	1,5	2,8	5,2	6,6	7,5	29,2	11,4	40,6
Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	X–III	IV–IX	Рік
1961–1990	7,7	6,5	5,2	4,1	2,7	2,1	1,1	1,2	3,0	6,0	8,4	9,8	43,6	14,2	57,8
Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	X–III	IV–IX	Рік
1891–1960	9	7	5	3	2	0,8	0,4	0,5	2	4	7	10	42	9	51

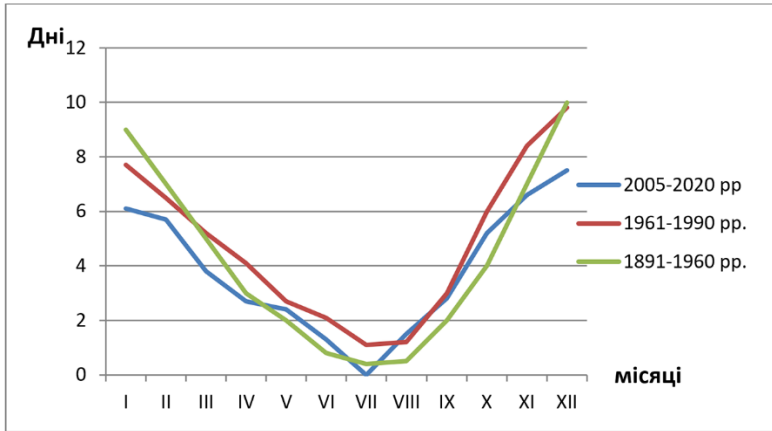
За березень число днів з туманом у Херсоні зменшилось з 5 до 3,8 днів, а за квітень і травень майже не змінилось. У червні спостерігалось незначне збільшення середнього числа днів з туманом з 0,8 (1891–1960 рр.) до 2,1 дня (1961–1990 рр.), а потім зменшення до 1,3 дня (2005–2020 рр.). У липні за 2005–2020 роки туманів зовсім не було. За серпень-жовтень у 2005–2020 рр. спостерігається збільшення середнього числа днів з туманом у порівнянні з 1891–1960 рр. У листопаді за 2005–2020 роки середня кількість днів з туманом майже не змінилась у порівнянні з 1891–1960 рр., але зменшилась на 1,8 днів, якщо порівнювати з 1961–1990 рр.

Графічно порівняння середнього числа днів з туманом у Херсоні за різні періоди (2005–2020 рр., 1961–1990 рр., 1891–1960 рр.) представлено на рис. 1.

На рис. 2 зображений графік, що показує середнє число днів з туманом у Херсоні за холодний період, теплий період та протягом року (1891–1960 рр., 1961–1990 рр., 2005–2020 рр.).

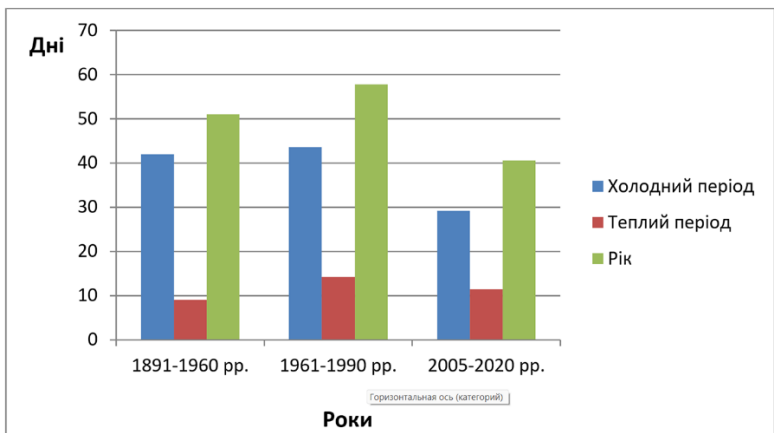
<sup>9</sup> Косовець О.О. Кліматичний кадастр України. УкрНДГМІ та ЦГО. Київ, 2005.

<sup>10</sup> Справочник по климату СССР. Вып. 10: Украинская ССР. Часть 5. Облачность и атмосферные явления. Л. : Гидрометеоздат, 1968.



**Рис. 1. Середньомісячне число днів з туманом у Херсоні за три періоди (1891–1960 рр., 1961–1990 рр., 2005–2020 рр.)**

За період 1891–1960 рр. кількість днів з туманом протягом року становила 51 день, за 1961–1990 рр. – 57,8 днів, а за 2005–2020 рр. – 40,6 днів.



**Рис. 2. Середнє число днів з туманом у Херсоні за холодний період, теплий період та протягом року (1891–1960 рр., 1961–1990 рр., 2005–2020 рр.)**



Значно зменшилась кількість днів з туманною погодою за холодний період року – з 43,6 (1961–1990 рр.) до 29,2 днів (2005–2020 рр.); за теплий період з 14,2 до 11,4 днів. Найменше днів з туманом за теплий період нараховується протягом 1891–1960 рр. – 9 днів.

Зниження температури повітря є однією з основних причин конденсації водяної пари як поблизу земної поверхні, так і у вільній атмосфері. Внаслідок зниження температури утворюються найбільш інтенсивні тумани. Температура за останні 16 років в середньому вища, ніж в минулому столітті (табл. 3–5) і для досягнення стану вологонасичення та утворення туману потрібно більше водяної пари<sup>11</sup>.

Таблиця 3

**Середня місячна і річна температура повітря та відносна вологість у Херсоні за довідником по клімату ССРСР (1891–1960 рр.)**

Рік/Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Т °С	-3,2	-2,6	2,2	9,3	16,2	20,0	23,0	21,9	16,8	10,5	4,1	-0,8	9,8
Відносна вологість, %	88	84	79	67	63	62	59	59	66	75	85	84	73

Таблиця 4

**Середня місячна і річна температура повітря та відносна вологість у Херсоні за кліматичним кадастром (1961–1990 рр.)**

Рік/Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Т °С	-3,0	-1,8	2,3	10,0	16,0	19,9	21,9	21,3	16,4	9,8	4,4	0,1	9,8
Відносна вологість, %	85	84	79	70	66	65	63	62	68	76	86	88	74

Таблиця 5

**Середні місячні значення характеристик вологості за 2005–2020 рр.**

Рік/Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Т °С	-1,0	-0,3	4,6	10,7	16,8	22,5	24,1	24,1	17,9	10,9	5,1	1,7	11,8
Т <sub>d</sub> °С	-9,2	-6,5	2,0	4,4	9,9	16,5	16,5	14,4	9,7	5,8	2,9	-0,8	6,4
f (%)	85	84	74	68	67	67	63	55	62	75	86	88	73
d °С	8,2	6,2	2,6	6,3	6,9	6,0	7,6	9,7	8,2	5,1	2,2	2,5	5,4

<sup>11</sup> Справочник по климату СССР. Вып. 10: Украинская ССР. Часть 2. Температура воздуха и почвы Л. : Гидрометеоздат. 1965.

Отже, основною причиною скорочення числа днів з туманом служить зменшення відносної вологості під впливом збільшення температури.

Порівнюючи дані характеристик температури та вологості за 2005–2020 роки з даними за довідником по клімату, бачимо, що річна температура в середньому на 2 °С вища, ніж за попередній період, а відносна вологість незначно збільшилась.

## **ВИСНОВКИ**

Отримані результати проведеного порівняльного аналізу кліматологічних характеристик на АМСЦ Херсон за різні періоди: 1891–1960 рр., 1961–1990 рр. та 2005–2020 рр. вказують на те, що кількість днів з туманом зменшилася за останній період у середньому з 51 до 41 днів на рік, а в холодний період значно з 42 до 29 днів.

Кількість туманів та його тривалість зменшується під впливом температурно-влагночного режиму. Зниження температури повітря є однією з основних причин конденсації водяної пари як поблизу земної поверхні, так і у вільній атмосфері. Внаслідок зниження температури утворюються найбільш інтенсивні тумани.

За останні 16 років річна температура в середньому підвищилася на 2 °С, ніж у минулому столітті і для досягнення стану вологонасичення та утворення туману потрібно більше водяної пари, на що вказують результати порівняльного аналізу відносної вологості.

## **АНОТАЦІЯ**

Оскільки погодні умови з туманом ускладнюють або лімітують роботу в багатьох галузях економіки, вивчення даної тематики є важливим і актуальним на сьогоднішній день, особливо у зв'язку з сучасними змінами клімату.

Задля безпеки польоту повітряного судна важливим є точний прогноз видимості, так як туман ускладнює спостереження, орієнтацію й управління літаком, що може призвести до аварійної ситуації. Окрім авіації утруднення виникають у діяльності залізничного, водного, автомобільного транспорту, адже при поганій видимості можуть виникати аварії на трасах. У великих містах все частіше туман поєднується з утворенням смогу, що вкрай несприятливо позначається на здоров'ї та самопочутті людей.

Проведено дослідження метеорологічних умов формування туманів, оцінено вплив місцевих геофізичних чинників, що сприяють утворенню туманів та проаналізовано розподіл туманів в часі. Отримані статистичні характеристики та синоптичні умови утворення туманів можуть бути використані для покращення методів прогнозування.

## Література

1. «Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986–2005 рр.)» / За ред. В. М. Ліпінського, В. І. Осадчого, В. М. Бабіченко. Київ : Ніка-Центр, 2006. 312 с.
2. Климат Украины / за ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. Київ : вид-во Раєвського, 2003. 343 с.
3. Сулаквелидзе Г. К. Ливневые осадки и град. Л. : Гидрометеиздат. 1968.
4. Український гідрометеорологічний центр. URL: <http://www.meteo.gov.ua>
5. Настанова по службі прогнозів та попереджень про небезпечні (НЯ) та стихійні гідрометеорологічні явища (СГЯ) погоди. УкрГМЦ. Київ, 2003.
6. Репетин Л. Н., Белокопытов В. Н. Режим ветра над побережьем и шельфом северо-восточной части Черного моря. Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту: Зб. наук. пр. 2008. Вип. 257. С. 84–105.
7. Положення про порядок складання та передачі попереджень і донесень про виникнення стихійних явищ, різких змін погоди, поєднання небезпечних явищ та випадків екстремально високого забруднення природного середовища. Київ, Держгідромет, 1994. 169 с.
8. Щоденники погоди АВ-6 по аеродрому Херсон (2005–2020 рр.).
9. Косовець О. О. «Кліматичний кадастр України» УкрНДГМІ та ЦГО. Київ, 2005.
10. Справочник по климату СССР. Вып. 10: Украинская ССР. Часть 5. Облачность и атмосферные явления. Л. : Гидрометеиздат, 1968.
11. Справочник по климату СССР. Вып. 10: Украинская ССР. Часть 2. Температура воздуха и почвы Л. : Гидрометеиздат. 1965.

### **Information about the authors:**

**Voloshyna Olena Viktorivna,**

Candidate of Geographical Sciences,

Associate Professor at the Department of Meteorology and Climatology

Odessa State Environmental University

15, Lvivska str., Odesa, 65016, Ukraine

**Rodinova Iryna Oleksiivna,**

Master of Meteorology and Climatology

Odessa State Environmental University

15, Lvivska str., Odesa, 65016, Ukraine

*Світлій пам'яті професора  
Степана Іщука присвячується*

**ФАКТОРИ ФОРМУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ  
ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕРИТОРІАЛЬНО-ВИРОБНИЧИХ  
СИСТЕМ (ТВС) В ЕКОНОМІЧНІЙ  
ТА СОЦІАЛЬНІЙ ГЕОГРАФІЇ**

**Гладкий О. В., Килівник В. С, Рудий Ю. Й.,  
Руда І. В., Міщук А. А.**

**ВСТУП**

Дослідження передумов і факторів формування та розвитку різних компонентів життєдіяльності суспільства (промислових, агропромислових, соціальних) – це одна з найбільш сильних та виграшних сторін суспільної географії. Саме детальною розробкою теорії факторів території і аналізом їх впливу на конкретній місцевості в конкретних умовах, географічні науки істотно та виграшно відрізняються від регіональної економіки та політики. Однак, дослідження факторів, в силу своїх універсальності і комплексності, а також всезагальності і уніфікованості, в суспільній географії дещо відірвано від конкретних потреб управління регіональним розвитком, від менеджменту ефективного регіонального розвитку підприємства. Спрямування аналізу факторів території на вирішення конкретних проблем підприємницьких кіл – отримання максимального прибутку від особливостей розміщення підприємства у просторі – в наш час визначається особливою актуальністю.

Дослідженню передумов і факторів ефективності функціонування територіально-виробничих систем присвячені праці багатьох учених. В межах географії промислових комплексів ці питання досліджували А. Т. Хрущов, С. І. Іщук, Г. П. Підгрушний, В. І. Захарченко, Л. М. Корецький, М. М. Паламарчук, А. Ю. Пробст та ін., в межах агропромислових – Я. Б. Олійник, М. Д. Пістун, Н. І. Провотар, в межах соціальних комплексів – О. Г. Топчєв, О. І. Шаблій, А. В. Степаненко, Д. М. Стеченко, М. О. Слука, М. Д. Шаригін тощо. Серед зарубіжних учених, питання факторів ефективності

розміщення ТВС піднімалось в працях класиків теорії розміщення – Й. фон Тюнена, А. Вебера, Р. Льоша, В. Кристаллера, У. Айзарда, а серед сучасних учених – в роботах С. Джонса, М. Енрайта, Н. Калдора, Г. Кларка, А. Маршалла, К. Матсіями, Е. Мілля, М. Портера, Д. Старрета, Ж.-Ф. Тісса, М. Фельдмен, М. Фуджити, Р. Холла. Проте, цілісне бачення особливостей впливу передумов і факторів на формування регіональної економічної ефективності підприємства в системі економічної та соціальної географії ще не сформувалось.

### **1. Фактори ефективності функціонування територіально-виробничих систем**

В сучасних умовах розвитку суспільства, *природно-географічні фактори*, які раніш займали провідну домінуючу роль у розвитку підприємств, почали все більше відходити на другорядний план і наразі мають лише допоміжні та додаткові функції. Все ХХ ст. переважна більшість промислових підприємств розвинених країн Європи та світу істотно залежала від наявності і територіальної доступності мінеральної сировини, палива, водних, у тому числі гідроенергетичних, лісових, морських ресурсів. На початкових стадіях науково-технічної революції залежність між розвитком промисловості, наявністю сировини і палива посилювалась. Споживання сировини, матеріалів, енергії, незважаючи на застосування нових ресурсозберігаючих технологій, наприкінці ХХ ст. зростало доволі високими темпами. Однак, із формуванням основних засад постіндустріалізму, значним розвитком модульних високотехнологічних виробництв, системи зв'язку і комунікацій та в наслідок переходу до інтелектуальних інформаційних технологій, вплив факторів наявності, розвіданості, умов видобутку, запасів та територіальної доступності природних ресурсів на ефективність виробництва постійно зменшується<sup>1</sup>.

Природні ресурси, скоріш, залишаються найбільш характерним та важливим фактором розвитку добувних та переробних підприємств паливної, енергетичної галузей, чорної та кольорової металургії.

---

<sup>1</sup> Гладкий О. В., Килівник В. С. Сутність регіональної конкурентоспроможності локальних територіально-виробничих систем. Теорії конкуренції та практики визначення конкурентоспроможності в умовах безкоорієнтованого розвитку: колективна монографія / За ред. М. М. Меркулова; відп. ред. В. І. Захарченко; ОНПУ, ІДГУ. Ізмаїл, Одеса : Фенікс, 2020. С. 46–58.

Проте, навіть в таких традиційних "сировинно-орієнтованих" галузях активізується розвиток технологій з меншим рівнем сировинної залежності, найвища економічна ефективність виробництва формується не на традиційних організаційно- й інфраструктурно-пов'язаних комплексах підприємств-гігантів, а в малій металургії, альтернативній енергетиці, модульних гірничодобувних підприємствах. Класичними прикладами таких перетворень є не лише дрібні металургійні заводи в Україні (Бровари, Біла Церква, Чугуїв, Винники тощо), але й зарубіжні підприємства у складі кластерів з добування нерудних корисних копалин в Італії, Іспанії, Франції, описані в працях М. Портера та М. Енрайта.

Організація малих модульних виробництв, їх гнучкість на ринку і широка можливість пристосування до умов комерційного середовища, низькі затрати на виробничий процес, земельну та природно-ресурсну ренту, капітальне будівництво та інфраструктуру, високий рівень сприйняття нововведень та інновацій – все це, виявляється, має набагато більше значення, ніж близькість до джерел сировини, води, палива, енергії тощо. Однак, недооцінювати значення природних факторів не варто. Природні багатства, нарівні з трудовими, фінансовими, інформаційними та ін. складають основу конкурентоздатності будь-якого виробництва за ресурсним принципом. І наявність та доступність значних за обсягами, дешевих та стабільно-прибуткових природних ресурсів (особливо, паливних) в майбутньому складатиме основу конкурентної боротьби не лише окремих підприємств і їх об'єднань, але й різних держав та регіонів світу<sup>2</sup>.

Як же можна оцінити в сучасних умовах ефективність територіальної наближеності до природних ресурсів? Традиційними методами радянських часів були затратні та балансові методи. Враховувались запаси ресурсів родовища і річні обсяги видобутку (при чому, парадокс: чим більше підприємство добувало ресурсів – тим краще й ефективніше, вважалось, воно працювало). При цьому, само собою розумілось, що підприємство-користувач має знаходитись у безпосередній територіальній близькості від джерела ресурсу. В основі такої концепції була формула приведених затрат  $Z$

---

<sup>2</sup> Гладкий О. В. Теоретичні основи територіально-виробничого системотворення в національній економіці. Національна економічна діяльність і міжнародні економічні відносини: сучасний стан та тенденції розвитку : колективна монографія / Кол. авторів. Полтава : ПП «Астроя», 2020. С. 8–12.

$$3 = C + E_n \cdot K; \quad (1)$$

де  $C$  – собівартість одиниці продукції;  $K$  – капітальні затрати на виробництво одиниці продукції;  $E_n$  – нормативний коефіцієнт ефективності приведених капітальних затрат.

Зараз вважається, що ефективність використання природних ресурсів обов'язково має містити: 1) грошовий вираз продукції, що отримується від певного родовища (ділянки) і 2) дохід, що вираховується із суми, що є грошовим виразом продукту за вирахуванням поточних затрат.

В першому випадку, діє така формула:

$$R = g \cdot l \cdot S_d, \text{ де } l = L/S \quad (2)$$

$R$  – грошова оцінка одиниці добутого (виробленого) природного компоненту;  $g$  – віддача одиниці площі джерела природних ресурсів (родовища, надр, земельної ділянки тощо);  $l$  – інтенсивність обробки джерела природних ресурсів, що дорівнює частці матеріально-трудових ресурсів, призначених для обробки джерела ( $L$ ) на обсяги його запасів  $S$  (дебіт свердловини, обсяги мінеральної сировини, площу ділянки землі та ін.);  $S_d$  – обсяги запасів джерела природних ресурсів, що вибувають з виробництва.

В другому випадку, економічна оцінка ефективності використання природних ресурсів виражається тим доходом, що отримує рантє (як власник ресурсу) від його експлуатації. Його формула має такий вигляд:

$$D = p - c, \quad (3)$$

де  $D$  – дохід, отриманий від виробленої (добутої) продукції;  $p$  – грошова оцінка добутої (виробленої) продукції;  $c$  – затрати на виробництво (добування) продукції. Окрім узагальнених формул, існує економічна оцінка ефективності використання водних, мінеральних, лісових, рекреаційних та інших ресурсів. Всі вони пов'язані із балансовими запасами родовищ (територій), умовами їх експлуатації, затратами праці, технологій та капіталів на виробництво одиниці продукції. Однак, в даних формулах не враховується територіальний аспект ефективності використання ресурсів<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Ішук С. І. Географія промислових комплексів : Підручник / С. І. Ішук, О. В. Гладкий. К. : Знання, 2011. 375 с. (Вища освіта XXI століття).

Одним з методів оцінки економічної ефективності власне територіальної наближеності до природних ресурсів є удосконалена формула *виробничо-збутового зонування*, тобто виділення зон найбільшої ефективності виробництва і поставки природних ресурсів та окремих видів продукції:

$$P = (P_2 - P_1 + T_2 D) / (T_1 + T_2) \quad (4)$$

де  $P$  – раціональний радіус перевезення природної сировини (продукції) в певних районах (містах, поселеннях);  $P_1$  і  $P_2$  грошовий прибуток (збиток) від видобутку (виробництва) одиниці сировини (продукції) в районах (містах, поселеннях);  $D$  – відстань між районами (містами, поселеннями);  $T_1$  – транспортні затрати на 1 км при перевезенні сировини (продукції) в напрямку від першого району (міста, поселення) до другого, і від другого до першого –  $T_2^4$ .

**Історичні умови і фактори** є одними із найбільш загальних та описових при оцінці економічної ефективності підприємства в менеджменті регіонального розвитку. Вони дуже важко піддаються формалізації та математичному моделюванню. Кількісно оцінити їх вплив майже неможливо. Однак, їх роль у формуванні регіональної ефективності підприємства дуже важлива. Вони дають змогу прослідкувати в часі процеси становлення і розвитку певної території та зміни в характері її системи господарювання і формування прибутку (його джерел, ресурсів, обсягів, перешкод тощо). Історичний аналіз прибутковості підприємств на території дає змогу встановити ті зміни функцій та характеру розвитку господарської системи, які формувались протягом різних історичних формацій. Найбільш ефективним методом дослідження історичних факторів економічної ефективності підприємства є *пороговий аналіз*.

Процес розвитку динамічних, ключових, високоприбуткових територій протікає дуже нерівномірно. Переважно він являє собою послідовність змін періодів стабільності і нестабільності, які супроводжуються істотними кількісними і якісними перетвореннями. Подібні зміни поступово накопичуються, однак, оскільки вони розвиваються на інерційній основі (на існуючій системі розселення населення і комунікацій, конфігурації природно-географічних об'єктів), то не здатні реалізувати себе належним чином. В результаті, збирається певна критична маса змін, за якої в межах

---

<sup>4</sup> O'Donoghue D. A Note on methods for measuring industrial agglomeration / D. O'Donoghue, B. Gleave // Regional Studies. 2004. Vol. 38.4. P. 419–427.



певної високоприбуткової території починає бракувати ресурсів і можливостей подальшого розвитку та функціонування. Така критична маса називається обмеженням або порогом розвитку. Прийнято виділяти чотири групи обмежень, пов'язаних із: різноманітністю і особливостями природного середовища; існуючими системами землекористування; особливостями інфраструктури; інерцією в розвитку структурних елементів. Такими обмеженнями можуть бути природні перешкоди планомірному територіальному розвитку (річкові системи, гірські хребти, несприятливі території), міська межа, яка досить тривалий час може стримувати розвиток міста і розбудову нових районів, відсутність швидкісних та раціонально спланованих транспортних магістралей, застарілість виробничих потужностей тощо<sup>5</sup>.

Досягаючи порогу, раніш високоприбуткова територія втрачає ресурси і можливості подальшого розвитку. В ній накопичуються негативні фактори, які посилюють дисбаланс суспільного життя. Подальший розвиток та зростання ефективності господарювання вимагає пошуку нових джерел і ресурсів, зміну існуючої структури та нових підходів в регіональному менеджменті. Якщо такі ресурси і можливості будуть знайдені, тоді відбувається стрімке подолання існуючих обмежень і даний регіон переходить до нового етапу свого розвитку. Пороговий підхід дозволяє оцінити в ретроспективі всі попередні обмеження формування та розвитку високоприбуткових територій та на їх основі окреслити нові підходи щодо її ефективного регіонального менеджменту і зростання ефективності господарювання.

**Фактор суспільно-географічного положення** (СГП) займає серед інших дещо виняткове місце, оскільки власне положення кожного господарського об'єкту у просторі обумовлене впливом цілого ряду різних причин як природного так і суспільного характеру. Суспільно-географічне положення – це по суті сукупність важливих для функціонування підприємства просторових відношень до інших споріднених з ним суспільно-географічних об'єктів території. Саме ці відношення, їх конфігурація в просторі, характеристики інтенсивності, насиченості, періодичності, обсягів та якісних параметрів обміну ресурсами розвитку (речовиною, енергією, інформацією) відіграють дуже важливе значення при оцінюванні прибутковості (економічної ефективності) місцеполо-

---

<sup>5</sup> Pontes J. P. Agglomerations in a vertically-related oligopoly. Portuguese economic journal. 2005. Vol. 4. P. 157–169.

ження підприємства. СГП виступає дуже важливим фактором і ресурсом розвитку, що визначає суспільно-економічну роль та значення підприємств на різних рівнях, їх участь у географічному поділі праці, особливості характер та інтенсивність зв'язків тощо.

Суспільно-географічне положення підприємства досліджується нами на макро- мезо- та мікрорівні. В першому випадку визначається роль та взаємовідносини підприємства в глобальних масштабах (або в міжнародному макрореґіоні) на світовому ринку, оцінюється характер його зв'язаності, участь у міжнародній інтеграції тощо. До уваги беруться показники абсолютні та відносні показники рівня експортної орієнтованості підприємства, участі в міжнародних економічних відносинах і торгівлі, рівня функціональної зв'язаності із світовими партнерами.

В другому випадку досліджується роль підприємства на загальнодержавному мезорівні, яка переважно зводиться до аналізу перерозподілу ринків сировини, робочої сили та реалізації готової продукції між підприємствами одного профілю (або в межах конкуруючих виробництв одного функціонального спрямування). До уваги беруться показники економічної ефективності підприємств певної галузі в різних регіонах України, на основі яких розробляються відповідні гравітаційні моделі потенціалів розміщення (за формулами Дж. Стюарта та ін.), а також моделі перерозподілу зон впливу окремих підприємств методом Вороного, що ілюструють розподіл функціональних зв'язків на території між окремими мезооб'єктами одного рангу.

Мікроположення охоплює систему відносин підприємства до найближчого оточення – навколишніх територій з населеними пунктами, магістральними транспортними шляхами, об'єктами природи і господарства тощо. На його основі встановлюється ефективність розміщення підприємства ТВС по відношенню до факторів його економічного зростання: місць компактного проживання населення, джерел сировини, водних та земельних ресурсів, транспортних комунікацій, осередків інформації та інновацій, ринків збуту тощо. В залежності від того, як сконфігуровані зв'язки на макрорівні, якої інтенсивності та на якій віддалі від підприємства знаходяться ті чи інші фактори економічного зростання, який характер мають їх зв'язки, суспільно-географічне підприємства мікроположення буває вигідним або невигідним. Каркасну структуру такого мікроположення можна оцінити за допомогою теорії графів,

в якій розраховується рівень центральності і зв'язаності окремих об'єктів мікропростору<sup>6</sup>.

**Урбанізаційні і розселенсько-комунікаційні фактори.** Одними з провідних суспільно-географічних чинників формування економічної ефективності підприємств є розселенські і транспортні (комунікаційні) фактори. Вони багато в чому визначають характер та інтенсивність розвитку підприємства, особливості її концентрації і спеціалізації та безпосередньо впливають на формування економічної ефективності господарювання. Серед показників, що характеризують вплив системи розселення на формування регіональної економічної ефективності підприємства, на нашу думку, слід особливо виділити рівень урбанізації, щільність міського населення, рівень дисперсності та скупченості міських поселень, а також їх сукупний розселенський потенціал<sup>7</sup>.

Урбанізація сама по собі впливає на рівень промислового освоєння території, кількісні показники розвитку підприємств, характер їх взаємопов'язаності та концентрованості. Міста мають велике комплексоформуюче і районоутворююче значення. Типовими формами територіальної організації виробництва, з якими пов'язаний додатковий соціально-економічний ефект діяльності підприємства є пункти, центри, вузли, агломерації. Особливо його помітно в двох останніх формах. Так, завдяки дії агломераційного і вузлового ефекту, підприємець отримує додаткові переваги від свого розміщення не вкладаючи ніяких додаткових коштів, а лише за рахунок унікальних властивостей урбанізованої системи розселення та розміщення господарства. Їх переваги детально окреслені в сучасній вітчизняній та зарубіжній науковій літературі, тому ми не будемо детально зупинятися на цьому питанні.

Щільність міського населення, а також рівень її дисперсності та скупченості визначають процеси вузлової та агломераційної концентрації підприємств, формування на їх основі локальних високоприбуткових кластерів (або ТВС). В результаті взаємодії виробництва і розселення формується територіальна структура господарства, елементами якої виступають різні форми зосередження людської діяльності. В залежності від природних

---

<sup>6</sup> Fujita M. The new economic geography: past, present and the future / Fujita M., Krugman P. // Papers in Regional Science. 2004. Vol. 83. P. 139–164.

<sup>7</sup> Fujita M. Economics of Agglomeration: cities, industrial location and regional growth / M. Fujita, J.-F. Thisse. Cambridge : Cambridge University Press, 2004. 466 p.

особливостей, характеру розміщення господарських центрів і розвиненості між ними транспортних зв'язків, складається системоутворюючий каркас територіально-виробничих систем. В дослідженнях різних учених, проведених в межах України, зазначається, що найбільш сприятлива для формування і розвитку високоприбуткових промислових комплексів (в основному, агломераційного типу) система розселення населення сформувалась в Київській, Харківській, Дніпропетровській областях, а також, з певними обмеженнями, в Одеській та Львівській областях. Менш потужні вузлові форми територіальної організації промислових комплексів активно розвиваються в Запорізькій, Кіровоградській областях та в ряді інших регіонів, де концентрація промисловості розвивається в основному лише навколо обласного центру.

Транспортні комунікації також виступають одним з провідних факторів формування високої регіональної ефективності розвитку підприємства. Вони не лише слугують основою об'єднання окремих поселень в єдину цілісну складну взаємопов'язану систему, але також є однією з головних передумов розвитку процесів вузлової концентрації, агломерування і зростання на цій основі економічної ефективності виробництва. В сучасних умовах, розвиток комунікацій починає відігравати ще більш важливе значення, оскільки стимулює зростання рівня інформаційної забезпеченості, науково-інноваційної спрямованості, ринково-комерційної активності, міжнародної орієнтованості різних видів людської діяльності<sup>8</sup>.

Розвинена мережа транспорту і зв'язку формує своєрідну властивість простору – комунікативність середовища<sup>9</sup>. Вона полягає у створенні специфічних економічно вигідних умов для розвитку різних видів людської діяльності, що виникають на основі зростання функціональної зв'язаності, контактності, консолідованості, модульності, емерджентності, конгломеративності, взаємній проникності та доповнюваності різних елементів соціальних систем. У висококомунікативних точках простору виникають і формуються складні форми територіальної організації суспільства – вузли, агломерації, метрополітенські ареали, мегалополіси та ін. Вони характеризуються

---

<sup>8</sup> Clark G. L. The Oxford Handbook of Economic Geography / Clark G. L., Feldman M. P., Gertler M. S. New York, Oxford University Press, 2003. 742 p.

<sup>9</sup> Гладкий О. В. Наукові основи суспільно-географічних досліджень промислових агломерацій : монографія / Гладкий О. В. ; [за ред. С. І. Іщука] ; Київський національний університет імені Тараса Шевченка. К. : ВГЛ «Обрії», 2008. 360 с.

високим рівнем розвитку соціального середовища, глибокою перетвореністю ландшафту, підвищеними показниками ефективності різних видів людської діяльності та високим ступенем їх інноваційності, піонерності, прогресивності, репрезентативності, ринкової спрямованості, міжнародної орієнтованості, модульності. Це все описує індекс комунікативності поселень. Він же й визначає характер розвитку промислового комплексу території, його інтегрованість, зв'язаність, відкритість зовнішнім факторам, рівень інформатизації та модульності.

В Україні рівень комунікативності окремих поселень прямо залежить від людності міста і зростає із збільшенням чисельності населення. Так, відповідно, найвищий індекс комунікативності отримала столиця України м. Київ, а також ряд великих міст – ядер агломерування (Одеса, Львів, Харків, Дніпро) і вузлів (Запоріжжя, Маріуполь, Кривий Ріг та ін.). Цьому сприяли такі чинники: 1) всебічна розвиненість мережі різних видів транспортних комунікацій, 2) високі показники щільності магістралей, інтенсивності руху та пропускної здатності і 3) інтеграція ряду зазначених міст до європейських і євразійських транспортних коридорів. Завдяки високій комунікативності, середовище цих міст отримало поштовх до динамічного суспільного розвитку, активізації ринкових і підприємницьких сил, стрімкого перебігу соціальних процесів, формування прогресивних тенденцій в промисловому комплексі, репрезентативності на міжнародному рівні<sup>10</sup>.

В цілому, розвиток комунікацій та зв'язку тісно пов'язаний з показниками економічної ефективності виробництва, особливо в середовищі високорозвинених агломерацій України (Київської, Харківської). Наявність розвинутої мережі шляхів сполучення істотно сприяє формуванню додаткового економічного ефекту розвитку виробництва, підвищенню інтенсивності ринкових трансформацій і активізації підприємницької ініціативи, зростанню переваг розміщення високорентабельних галузей господарства ТВС.

**Модульні науково-інноваційні фактори.** Формування високого рівня економічної ефективності територіально-виробничих систем неможливе без активізації інноваційних процесів, прискореного впровадження у виробництво передових технологій і новітніх розробок.

---

<sup>10</sup> Шваб Клаус Четвертая промышленная революция. М. : Эксмо, 2016. 208 с.

Під дією науково-інноваційного потенціалу підприємства ТВС набувають нових прогресивних рис, що істотно впливають на їх прибутковість. Відбувається: 1) скорочення затрат на «традиційні» фактори виробництва (землю, природні ресурси, ресурси праці тощо), що значно здешевлює виробничий процес та посилює конкурентоспроможність підприємства; 2) зростання модульності виробництва, підвищення гнучкості на ринку, що дає можливість швидко реагувати на коливання попиту на продукцію та впроваджувати адекватні заходи з модернізації і переорієнтації підприємства; 3) зміна характеру та режиму конкуренції, зміцнюється співробітництво, змінюється розподіл ролей конкурентів у здійсненні інноваційних проектів і організації інноваційних процесів; 4) зміцнення технологічної бази, посилення взаємозалежності різних господарських систем; 5) зростання рівня спеціалізації та сегментації підприємств, що посилює його унікальність і ефективність функціонування; 6) зростання процесів автоматизації і комп'ютеризації виробництва, його переважній орієнтації на розробку і впровадження інноваційних технологій, оптимізацію і переоснащення вже існуючих технологічних процесів і ліній; 7) спрощення та уніфікація системи управління підприємством<sup>11</sup>.

В Україні останнім часом все більше зростає роль та значення наукового комплексу провідних центрів суспільного життя країни – Київського, Харківського, Дніпровського. За даними КВЕД, на 15 міст України (Київ, Харків, Дніпро, Миколаїв, Чернігів, Краматорськ, Запоріжжя, Одеса, Полтава, Черкаси, Кременчук, Львів, Кривий Ріг, Вінниця, Житомир) припадає майже 90 % всієї інноваційної діяльності держави, а на провідні центри – 53 %. Решта міських поселень має вкрай незначні показники інноваційних витрат, при чому з них виділяється 29 міст, витрати на інновації яких в загальнодержавних обсягах не перевищують 0,06 % в цілому. Це переважно малі і середні міста Карпатського, Північно-Західного, Подільського суспільно-географічних районів, а також деякі доволі великі промислові міста сходу України. Навколо крупних наукових центрів України, таким чином, формується середовища високого рівня дифузії та впровадження нововведень та інновацій. Використання їх наукового потенціалу істотно впливає на розвитку

---

<sup>11</sup> Кластерна форма територіально-виробничої організації: моногр. / В. І. Захарченко, В. М. Осипов, О. А. Паларієв / 2-ге вид., перероб. і доп. Рига, Латвія : "Baltija Publishing", 2020. 376 с.

та зростання прибутковості модульних інноваційних компаній та організацій<sup>12</sup>.

**Інвестиційні та зовнішньоекономічні фактори.** Розвиток міжнародних інвестицій та активізація зовнішньої торгівлі мають вкрай важливе значення для підвищення регіональної економічної ефективності підприємств, оскільки забезпечують: зростання показників виробництва і збуту промислової продукції, посилення виробничого обороту; підвищення престижу товаровиробників країни та міжнародній арені, посилення впливу держави в світі; розвиток та загострення конкуренції (в т. ч. міжнародної), яка в свою чергу сприяє оздоровленню економічної ситуації в промисловому комплексі та зростанню економічних показників його функціонування; активізацію науково-технічних інновацій та впровадження новітніх технологій; підвищення екологічної безпеки виробництва і готової продукції; зростання рівня соціального забезпечення населення країни якісними та дешевими товарами і послугами<sup>13</sup>.

В регіонах, що мають яскраво виражену експорту орієнтацію та додатне сальдо зовнішньоекономічної діяльності, істотно підвищуються загальні показники прибутковості підприємств, які отримують широкі можливості для виходу на міжнародні ринки постачання сировини і матеріалів, науково-технічного та інноваційного обміну, збуту готової продукції тощо. Як показали проведені дослідження, до таких регіонів, перш за все, відноситься Дніпропетровська та Запорізька області (за рахунок експорту металів та готових металовиробів), а також м. Київ (через столичний статус). На другому місці за показниками міжнародного співробітництва українських підприємств знаходяться Львівська, Одеська, Миколаївська, Харківська, Волинська області. Основним фактором розвитку їх зовнішньоекономічної діяльності є прикордонне положення та розвиток партнерських відносин із сусідніми державами Східної Європи. Крім того, переважна більшість цих регіонів характеризується потужним промисловим потенціалом, продукція якого (товарів хімічної промисловості, гірничого комплексу, металоміст-

---

<sup>12</sup> Іщук С. І. Київська господарська агломерація: досвід регіонального менеджменту : монографія. / С. І. Іщук, О. В. Гладкий. К. : ВГЛ «Обрії», 2005. 240 с.

<sup>13</sup> Fujita M. The Spatial Economy: Cities, Regions and International Trade / Fujita M., Krugman P. R., Venables A. J. MIT Press, Cambridge MA, 1999. 640 p.

кого машинобудування тощо) має експорту орієнтацію (Львівська, Харківська області).

Останнім часом помітне також зростання ролі українських підприємств на міжнародному ринку інвестицій та цінних паперів, особливо в галузі металургії, машинобудування та виробництва продуктів харчування. Так, за останні роки серед найбільш успішних інвестиційних проектів в промисловому комплексі України слід відмітити значний приток іноземних капіталів в галузі харчової промисловості, виробництва лісопромислової продукції, а також в машинобудуванні і металургії. Суттєвим моментом інвестиційних стратегій закордонних партнерів є те, що гроші вкладаються переважно в підприємства, розміщені навколо великих (в основному мільйонних) міст в найбільших міжнародно-привабливих регіонах.

Важливим питанням дослідження факторів регіональної економічної ефективності розвитку підприємства є намагання оцінити їх сукупний вплив на рівень прибутковості фірми в конкретних умовах. Такий математично-вивірений комплексний аналіз взаємопов'язаного впливу окремих факторів можливий за допомогою факторного і кластерного аналізів. Факторний аналіз дозволяє звести множину часткових показників до декількох найсуттєвіших факторів, а також встановити рівень їх завантаженості та кількісних параметрів впливу. За допомогою кластерного аналізу можна виділити групи (кластери) факторів, подібних за характером та інтенсивністю впливу на розвиток прибутковості підприємства. Таке групування дозволяє провести типізацію факторів і виявити групи найвпливовіших з них.

## **2. Раціональне природокористування і комплексна переробка сировини як провідний фактор економічної ефективності територіально-виробничих систем**

**Системоутворення і раціональне природокористування.** Високі темпи розвитку виробництва в умовах науково-технічної революції обумовлюють прискорений ріст споживання і використання природних умов і ресурсів. У той же час технічна озброєність виробництва часто не супроводжується рівним за масштабом посиленням природоохоронних заходів. Це призводить до того, що в цілому ряді регіонів виникають серйозні проблеми забезпечення виробництва необхідними предметами праці, сировиною, напівфабрикатами, які можна одержати в процесі природокористування. Реальні можливості природокористування у великій мірі



обумовлені також розміщенням природних ресурсів, їх територіальним системоутворенням, що посилює регіональний характер виробництва.

Процес системоутворення нерозривно пов'язаний з природокористуванням. Тісні зв'язки між природокористуванням і виробничим системоутворенням обумовлюють необхідність хоча б наближеного визначення масштабів споживання у виробництві сировини, палива, а також лісу, металу, води та багатьох інших матеріалів. Особливо важливо мати можливість зіставляти виробничі потреби в ресурсах на перспективу з реально існуючими потребами сьогодні. Таке співвідношення можливе лише при наявності прогностичних даних в регіональному аспекті.

Співставлення обсягів виробленої продукції ресурсних галузей господарства із можливостями їх забезпеченості природними матеріалами необхідне перш за все тому, що розвиток виробництва і природокористування – це дві сторони єдиного процесу. Без росту природокористування неможливий розвиток виробництва, без розвитку виробництва неможливі раціоналізація природокористування і охорона природи. Природокористування – це поняття досить об'ємне. Воно включає в себе проблеми комплексного використання природних умов і ресурсів у певних територіальних поєднаннях, їх охорону, а в багатьох випадках відновлення і перетворення. Для господарства саме територіальні відмінності географічного середовища являють найбільший інтерес, бо вони визначають специфіку природокористування того чи іншого району з певним комплексом утворень.

Сучасні територіально-виробничі системи районів, в межах яких вирішуються важливі економічні завдання і проблеми природокористування, стають об'єктами географічних, економічних і спеціальних комплексних досліджень. Виділені на основі певної спільності в характері використання природних умов і ресурсів ці території охоплюють окремі адміністративно-економічні одиниці, пов'язані між собою спільністю економіко-географічного положення і спеціалізацію господарства, яка відповідає в основному характеру природокористування. Єдність території обумовлена також економічним, технічним, організаційним взаємозв'язком і взаємообумовленістю при різномасштабності розвитку продуктивних сил. Для формування єдиної території в багатьох випадках має значення історична спільність і взаємозв'язок виробничих утворень, які

входять в систему, а також розвиток єдиної виробничої і соціально-побутової інфраструктури.

Сучасні територіально-виробничі системи формуються дещо інакше, ніж це було у минулому. Вони створюються на основі принципу єдності суспільства і природи. Практика починає відходити від абсолютного протиставлення суспільства природі, вона все більше враховує необхідність планування географічного середовища як умови дальшого розвитку людського суспільства. Так, М. М. Некрасов, наприклад, вказував на те, що природні ресурси і їх регіональний розподіл можна розглядати як важливий елемент територіальних пропорцій господарства, свого роду фундамент, на якому будується економічна структура багатьох регіонів.

Розподіл природних ресурсів по території, їх якісна і кількісна характеристика залежать від природних факторів (геологічного, гідрологічного, ґрунтового та ін.). Однак господарське використання, економічна оцінка перетворюють природні ресурси в категорію економічну, яка має принципове значення для підвищення ефективності суспільного виробництва.

У наш час взаємодія суспільства і природи набула таких великих масштабів, що використання у виробництві різних природних ресурсів по суті веде до великих змін навколишнього середовища. В багатьох регіонах світу здійснюється цілеспрямована зміна довкілля не лише з метою використання природних багатств, але й для того, щоб радикально змінити умови життєдіяльності людства. В урбанізованих регіонах ці зміни є найбільш відчутними. Промисловість і транспорт викидають в атмосферу величезну кількість газів, технічне використання води призводить до зміни її хімічного складу, насичення тими хімічними елементами, які негативно впливають на здоров'я людини. Безперервний ріст видобутку і використання у виробництві природних ресурсів призводить до їх поступового виснаження і дефіциту. Особливо гостродефіцитними в багатьох районах є паливні ресурси і запаси прісної води. Вплив суспільства на природу став сьогодні настільки значним, що помітний екологічний дисбаланс, який може призвести в ряді регіонів до екологічної кризи. Різкі прояви екологічного дисбалансу помітні насамперед у великих промислових ТВС, в агломераціях, для яких характерне постійне перевищення концентрації шкідливих речовин в повітряних басейнах, дефіцит біологічно кондиційної питної води, нагромадження радіонуклідів та інших шкідливих речовин в натуральних харчових продуктах.

Швидкий ріст масштабів виробництва і розвиток техніки призвели до того, що раціональне природокористування в районах інтенсивного системоутворення виступає тепер важливою суспільною проблемою. Тому при оцінці ефективності технічних рішень поряд з економічною все більше уваги приділяється екологічній стороні проблеми, що висуває нові технічні завдання. До них перш за все відноситься зниження забрудненості атмосфери і стоків.

Найбільше занепокоєння викликає концентрація потенційно небезпечних виробництв в обмеженій кількості географічних точок, зокрема у великих промислових вузлах і старопромислових районах. Так, у п'яти найбільших містах України проживає понад 35 % міського населення і зосереджено 40 % підприємств енергетики; в містах з чисельністю населення від 500 тис. до 1 млн. чоловік (11 % міського населення) — більш ніж 50 % потужностей підприємств металургії; в містах із чисельністю населення 250–500 тис. чоловік (16 % міського населення) локалізується 43 % потужностей хімічного виробництва<sup>14</sup>.

Взаємодія суспільства і природи має досить суперечний характер, що проявляється в практиці природокористування. З одного боку, зростає обмін енергії і матеріалів природи, які використовуються виробництвом і перетворюються у продуктивні сили суспільства. З іншого боку, в ряді випадків погіршуються природні умови життя населення, порушується необхідна для життя людини рівновага між компонентами природи. Створені природою за мільярди років розвитку природні замкнуті системи також порушуються. Тому виникла необхідність принципово по-новому підійти до всієї практики природокористування. Перш за все необхідно в районах інтенсивного розвитку промисловості застосовувати активні форми і методи охорони природи, які б обмежували або й повністю запобігали забрудненню довкілля. При цьому, звичайно, виникають проблеми: підвищення якості умов життя людей; збереження і перетворення ландшафтів урбанізованих територій; регулювання відтворення використаних природних ресурсів у виробничих процесах; формування територіальних господарських систем з урахуванням перспективи розвитку виробництва.

Розвиток виробництва посилює суспільний вплив на природу, але цей вплив повинен бути цілеспрямований на те, щоб суспільство

---

<sup>14</sup> Лаппо Г. М. Города России. Взгляд географа / Лаппо Г. М. М. : Новый хронограф, 2012. 504 с.

відчуло позитивні зрушення у взаємодії з природою, спрямовані на вдосконалення самої людини, її матеріальної і духовної культури. Прискорення технічного прогресу повинне відкривати широкі можливості до зняття антагонізму в протиріччях між суспільством і природою. Розвиток техніки, технології мусить привести до удосконалення зв'язків між суспільством і природою, відкрити необмежені можливості для створення біотехнічних систем управління природно-господарськими територіальними системами і районами.

**Основні шляхи комплексного використання природних ресурсів і проблеми охорони природи.** На сучасному етапі розвитку продуктивних сил комплексне використання природних ресурсів є однією з найактуальніших проблем природокористування. Зростання обсягів виробництва на планеті веде до постійного збільшення в обороті природних ресурсів – земельних, водних, мінеральних та ін. Особливо зростає використання у промисловому виробництві мінеральних ресурсів.

Забезпечення потреб господарства різних країн в мінеральній сировині відбувається в основному за рахунок розвідки нових родовищ, виявлення нових запасів корисних копалин, що розширює мінеральну базу. Це приводить до зростання видобувних галузей, а також одночасно до збільшення обсягів переробки мінеральних ресурсів. При зростанні масштабів переробки доводиться і експлуатувати ряд родовищ з гіршими якісними показниками, що відбивається на собівартості сировини і кінцевих продуктів. У цьому зв'язку гостро постала проблема раціонального використання мінеральних ресурсів на основі комплексної їх переробки.

Комплексне використання мінеральної сировини дозволяє максимально вилучати з кожної тони всі компоненти, а також переробляти відходи, одержуючи при цьому цілу гаму цінних і побічних продуктів. Отже, можна забезпечити підприємства сировиною шляхом раціональної переробки мінеральних ресурсів без збільшення їх видобутку і одержати при цьому значний економічний ефект. Рівень комплексності використання мінеральної сировини характеризується кількістю і переліком компонентів, які можна з неї вилучити. Створення нових технологій переробки, розвиток техніки дозволяє розширити коло корисних компонентів, які вилучаються із вихідної сировини, а також ефективно використовувати бідні, комплексні руди.

Позитивний досвід комплексної переробки сировини існує на підприємствах України, зокрема в Придніпровському промисловому районі. Тут створені потужні підприємства з видобутку, збагачення і переробки вугілля та залізних руд, добре розвинена чорна металургія. В районах налагоджено виробництво залізо-бетонних виробів на відвальних шлаках – щебні і шлаковому відсіві, відходи гірничодобувних і гірничопереробних підприємств використовуються в сільському господарстві. Металургійні шлаки, хвости збагачення, в яких є незначний вміст міді, молібдену, кобальту, можуть використовуватись як добриво.

Майже всі родовища корисних копалин містять ряд цінних компонентів які доцільно вилучати в процесі переробки. Так, в родовищах залізних руд міститься титан, ванадій, мідь, цинк, фосфор. У багатьох випадках економічна цінність попутних компонентів перевищує вартість основної сировини. Крім цього, при розкритті родовищ можна використати різні глини, піски, вапняки, що широко застосовуються у будівельно-індустріальних ТВС.

Комплексне використання мінеральної сировини дає значний галузевий і господарський ефект. Галузевий ефект виявляється безпосередньо при виробництві ряду елементів із відходів за рахунок зниження собівартості, зростання фондівіддачі, збільшення обсягу випущеної продукції, економії затрат на складуванні відходів. Господарський ефект виражається в економії транспортних витрат на перевезення сировини в різні райони, в підвищенні продуктивності сільськогосподарських земель, в зменшенні амортизації устаткування, в зниженні непродуктивних капіталовкладень на розвиток сировинної бази, в скороченні земельних площ під поховання відходів.

Створення великих ТВС добувної промисловості на базі мінеральних ресурсів, розвиток на місці видобутку переробних ланок з повним циклом виробництва має великий соціальний ефект. Він проявляється в раціональному використанні ресурсів, переробці всіх відходів, що негативно впливають на навколишнє середовище і в кінцевому результаті в поліпшенні життя і діяльності населення, створенні найкращих умов праці, у відновленні природи з метою організації рекреаційних зон відпочинку.

Комплексне використання мінеральної сировини — це одне з важливих державних завдань. Для його успішного вирішення необхідно створювати ефективні територіально-виробничі системи змішаного тішу з потужними ланками видобувної і обробної промисловості. В таких територіально-виробничих системах

досягається основна мета – найбільш повне вилучення корисних компонентів із вихідної сировини. Це, як правило, ускладнює технологію її переробки і приводить до виникнення нових проміжних стадій технологічного процесу, але кінцевий ефект виправдовує таке ускладнення.

За сучасного рівня розвитку продуктивних сил промислові ТВС можуть бути створені в будь-якому районі і в досить значних масштабах. Однак господарські затрати на створення промислових об'єктів, їх технічну оснащеність і соціальне облаштування, а також строки окупності в різних районах будуть різними. Відомо, що в районах з високим рівнем економічного розвитку проблеми системоутворення можна вирішити більш ефективно, а в районах з нижчим рівнем – з додатковими затратами. Тому в економічних районах важливо створювати такі системи виробництва, які б давали можливість найбільш раціонально використовувати природні ресурси кожного району. Для цього необхідно провести техніко-економічний аналіз з метою порівнювання всіх можливих варіантів використання того чи іншого виду ресурсів, що залягають в ряді регіонів. Вибирається той варіант, який забезпечує високу економічну ефективність видобутку, збагачення і переробки сировини, тобто дозволяє вирішити поставлене завдання з мінімальними суспільними затратами<sup>15</sup>.

Ефективність використання природних ресурсів залежить від цілого ряду факторів: природних, екологічних, технічних, соціальних, економічних та ін. Основними показниками ефективності розробки корисних копалин і створення на їх базі промислових виробництв виступають: собівартість і капітальні затрати на одиницю продукції.

Необхідно відмітити, що одним з важливих факторів, від якого залежить ефективність освоєння природних ресурсів в межах ТВС є умови залягання територіальних поєднань корисних копалин. Ще М. М. Колосовський в своїх працях наголошував на тому, що територіально-виробничі системи формуються на основі цілого ряду поєднань природних ресурсів, які стають базою для розвитку енерговиробничих циклів. Особливості географії мінеральних ресурсів полягають у тому, що хімічні елементи і їх речовини – корисні копалини – не випадково і не безсистемно залягають в надрах

---

<sup>15</sup> Henderson V. How urban concentration affects on economic growth? The World Bank development research group. New York, 2000. 27 p.

і на поверхні Землі, а розподілені в певному порядку. А.Є. Ферсман просторове залягання хімічних елементів ставив у залежність від геологічної історії, ґрунтово-кліматичної зональності, а також сучасної тектоніки і географії. Він виділив ряд геохімічних систем, серед яких особливої уваги заслуговують геохімічні вузли – місця пересікання і накладання різнорідних геохімічних систем. Їх відрізняє унікальне за своєю природою поєднання мінеральних ресурсів і висока концентрація запасів, що особливо важливо для промисловості. Тому геохімічні вузли утворюють природну основу для формування територіально-виробничих систем.

Для підвищення екологічної ефективності комплексного використання природних ресурсів необхідно розширити переробку відходів виробництва в галузях, що виробляють з них різні, перш за все будівельні, матеріали і вироби. Розвиток гірничого виробництва у перспективі неможливий без врахування всіх видів попутно видобутої сировини, а також продуктів первинної і вторинної переробки корисних копалин. Значним резервом економії суспільної праці є утилізація відходів промислового виробництва. Так, для розвідки родовищ мінеральної сировини потрібно від 3 до 5 років, а для повного освоєння промислового виробництва – від 8 до 13 років. При використанні відходів виробництва потрібну сировину можна одержати за більш короткий термін, зекономивши при цьому значні матеріальні, трудові і фінансові ресурси.

Необхідність підвищення рівня комплексності використання мінерально-сировинних ресурсів України обумовлюється: ростом потреб на сировину в умовах обмеженості запасів основних видів корисних копалин і нерівномірності їх розміщення на території держави; підвищенням затрат на приріст одиниці запасів і видобуток мінеральної сировини, зниженням вмісту корисних компонентів в рудах, погіршенням умов експлуатації родовищ; збільшенням об'ємів відходів в процесі видобутку, збагачення і переробки мінеральної сировини у зв'язку з переходом на видобуток бідних (низькоякісних) руд; одержанням багатьох рідкісних і розсіяних елементів, що не утворюють самостійних родовищ і знаходяться в асоційованому вигляді із кольоровими металами.

Згідно з існуючими методичними розробками, черговість і ефективність використання мінерально-сировинних ресурсів визначається сумарними затратами на розвідку, видобуток, збагачення і доставку сировини. Крім того, враховуються кількісні і якісні характеристики компонентів сировини, можливості

взаємозаміни її окремих видів та інші показники. Однак збільшення видобутку і переробки сировини супроводжується збільшенням кількості відходів, що нагромаджуються у відвалах, шлакосховищах, які займають значні земельні ділянки і негативно впливають на навколишнє середовище. При цьому зростають непродуктивні затрати на вилучення і збереження відходів, що підвищує собівартість основної продукції<sup>16</sup>.

Ефективність комплексного використання сировини передбачає комбінування і територіальне зближення взаємопов'язаних виробництв, кооперування підприємств основного виробництва з іншими галузями для створення виробничої і соціальної інфраструктури. Це підвищує рентабельність видобувних галузей і сприяє охороні природних ресурсів. При комплексній експлуатації родовищ питання охорони навколишнього середовища повинні вирішуватись не з вузьководомчих позицій, а з урахуванням інтересів окремого регіону і всього господарства країни. В цілому підвищення ефективності використання мінерально-сировинних ресурсів може бути забезпечене за умови утилізації відходів та вдосконалення існуючих технологічних схем видобутку і переробки мінеральної сировини й орієнтації гірничого виробництва на нові технології закритого типу.

Комплексне використання природних ресурсів може дати очікуваний господарський ефект за умови відновлення використаних продуктів природи, яке передбачає перетворення відходів господарської діяльності в сировину для нових виробничих циклів, забезпечує відновлення економічної рівноваги у природі. Мова йде про те, щоб не допускати кризової екологічної ситуації. Незважаючи на це, в ряді регіонів країни виникають негативні явища, пов'язані з порушенням екологічної рівноваги в результаті інтенсивної господарської діяльності. Вони проявляються перш за все у забрудненні повітряного басейну шкідливими промисловими викидами, річок і озер – стічними неочищеними водами, в посиленні ерозійних процесів на територіях з розвитком інтенсивного землеробства, в заболочуванні значних ділянок і у виродженні а то й зникненні певних видів рослинності.

---

<sup>16</sup> Richardson H. W. Economies and Diseconomies of Agglomeration. Urban agglomerations and economic growth. (Publications of the Egon-Sohmen-Foundation). Papers of a conference held in Zurich in 1993. Berlin : Springer-Verlag, 1995. P. 123–157.



Необхідно відзначити, що серед всіх проблем охорони навколишнього середовища найбільшої гостроти набула проблема водоспоживання і охорони вод. Проблема постачання підприємств водою стає фактором, який визначає розвиток продуктивних сил. Особливо важлива його роль в ряді промислових районів України, де сьогодні місцевих водних ресурсів вже на вистачає для повного задоволення зростаючих потреб у воді (Дніпровський, Криворізький, Харківський). Великої гостроти набула проблема забезпечення водою сільського, господарства півдня України, так як лише при зрошенні можна одержувати високі і сталі врожаї. Характерно, що лише 4 південні області (Запорізька, Миколаївська, Одеська, Херсонська) щорічно споживають 70 % всього об'єму води, яка витрачається на зрошення в межах України. За розрахунками вчених НАН України в Херсонській області на 1 км території рівень водозабезпечення складає 5,1 тис. м<sup>3</sup> місцевого стоку, в Одеській – 10,9, тоді як в Івано-Франківській – 312, а Закарпатській – 625 тис. м<sup>3</sup>. Отже, забезпечення південних областей України необхідними водними ресурсами є одним з важливих завдань розвитку їх господарських ТВС<sup>17</sup>.

Сьогодні, незважаючи на те що господарство України відчуває певний дефіцит у воді, значна частина її витрачається при використанні безповоротно, а ще більша кількість скидається у водоймища в недостатньо очищеному воді. Тому необхідно якнайширше застосовувати нові технології, що забезпечують повторне використання води і її очищення. Це стосується в першу чергу таких галузей, як нафтопереробна і хімічна.

Серйозного значення набула проблема забруднення атмосфери у промислових районах, вузлах і агломераціях. Забруднення атмосфери викликає ряд хронічних захворювань дихальних шляхів, що негативно впливає на здоров'я людей. Воно також наносить шкоду рослинності, посилює корозію металів, послаблює міцність будівельних матеріалів. Для охорони повітряного басейну урбанізованих районів необхідно широко впроваджувати очисні споруди, безвідходні технології, а також озеленення промислових міст.

Ріст концентрації індустріального виробництва у промислових вузлах, де основу спеціалізації складають галузі хімічної промисловості, призводить до порушення екологічної рівноваги

---

<sup>17</sup> Ішук С. І. Географія промислових комплексів : Підручник / С. І. Ішук, О. В. Гладкий. К. : Знання, 2011. 375 с. (Вища освіта XXI століття).

у навколишньому середовищі. Основними шляхами вирішення економічних, соціальних і екологічних проблем промислових вузлів є: впровадження маловідходних і безвідходних технологій, а також природоохоронних об'єктів на підприємствах; утилізація промислових відходів з метою одержання із них цінної для господарства продукції; суворе додержання технологічної дисципліни. Необхідно розробити програму взаємопов'язаного розвитку промисловості, сільського і рибного господарства, оздоровчих закладів тобто забезпечити комплексний підхід до природокористування.

Нарешті великої уваги заслуговує проблема збереження і рекультивуваці ґрунтів. Так, відомі факти засолення ґрунтів у південних областях України, пов'язані з непередбаченими наслідками зрошувальних робіт. З ростом міст все більше земель відходить під будівництво, промисловість і транспортну мережу. Багато високоякісних ґрунтових ділянок стають місцями для звалищ і промислових відходів, велика частина їх залишається під кар'єрами, які можна засипати, а місцевість рекультивувати.

Для збереження природних багатств України необхідно докласти багато зусиль і в першу чергу в районах високої концентрації промислового виробництва та інтенсивного розвитку сільського господарства. Цього можна досягти за умови комплексного міжвідомчого підходу до вирішення проблем природокористування. Ця об'єктивна необхідність виникає не лише з того, що постійно збільшуються масштаби впливу людини на природу, а й визначається цілісністю, єдністю самої природи, існуючою в ній взаємодією всіх її компонентів.

## **ВИСНОВКИ**

Системні географічні об'єкти формуються у вигляді різних територіальних комплексів і систем. Територіальність є важливою ознакою цих утворень. Вони складаються з окремих територіальних частин, а також є територіальними частинами більших об'єктів. Для їхніх елементів характерні різна доступність між собою, розташування у межах регіону певного рангу, конфігурація, територіальна концентрація та інші територіальні параметри. Ці параметри істотно впливають на функціонування кожного утворення.

При виділенні територіально-виробничих систем мусять бути максимально враховані історичні особливості формування

господарства, природні умови, територіальне залягання мінеральних ресурсів, виробничий потенціал території, система поселень і економічне тяжіння галузей до головних центрів, що визначають рівень економічного і соціального розвитку територіальних систем господарства. Саме такий підхід дозволяє здійснити комплексний та змістовний аналіз ключових передумов формування та факторів розвитку територіально-виробничих систем в економічній та соціальній географії.

## **АНОТАЦІЯ**

Розкрито ключові передумови формування та фактори економічної ефективності територіально-виробничих систем (ТВС) в економічній та соціальній географії. Проаналізовано природно-ресурсні, економічні, демографічні, розселенські, транспортні передумови. Запропоновано новий підхід до оцінки рівня комунікативності території. Проведено класифікацію різних передумов та факторів розвитку ТВС. Досліджено модульні науково-інноваційні та інвестиційні і зовнішньоекономічні фактори. Розкрито особливості раціонального природокористування і комплексної переробки сировини як провідних факторів економічної ефективності територіально-виробничих систем. Висвітлено особливості системоутворення і раціонального природокористування, а також основні шляхи комплексного використання природних ресурсів і проблеми охорони природи ТВС.

## **Література**

1. Гладкий О. В. Наукові основи суспільно-географічних досліджень промислових агломерацій: Монографія. / Гладкий О. В. ; [за ред. С. І. Іщука] ; Київський національний університет імені Тараса Шевченка. К. : ВГЛ «Обрії», 2008. 360 с.

2. Гладкий О. В. Теоретичні основи територіально-виробничого системоутворення в національній економіці. Національна економічна діяльність і міжнародні економічні відносини: сучасний стан та тенденції розвитку : колективна монографія / Кол. авторів. Полтава : ПП «Астроя», 2020. С. 8–12.

3. Гладкий О. В., Килівник В. С. Сутність регіональної конкурентоспроможності локальних територіально-виробничих систем / Теорії конкуренції та практики визначення конкурентоспроможності в умовах безпекоорієнтованого розвитку: колективна

монографія / За ред. М. М. Меркулова; відп. ред. В. І. Захарченко; ОНПУ, ІДГУ. Ізмаїл, Одеса : Фенікс, 2020 . С. 46–58.

4. Ішук С. І. Географія промислових комплексів : підручник / С. І. Ішук, О. В. Гладкий. К. : Знання, 2011. 375 с. (Вища освіта XXI століття).

5. Ішук С. І. Київська господарська агломерація: досвід регіонального менеджменту : монографія. / С. І. Ішук, О. В. Гладкий. К. : ВГЛ «Обрії», 2005. 240 с.

6. Кластерна форма територіально-виробничої організації: моногр. / В. І. Захарченко, В. М. Осипов, О. А. Паларієв / 2-ге вид., перероб. і доп. Рига, Латвія : “Baltija Publishing”, 2020. 376 с.

7. Лаппо Г. М. Города России. Взгляд географа / Лаппо Г. М. М. : Новый хронограф, 2012. 504 с.

8. Шваб Клаус. Четвертая промышленная революция. М. : Эксмо, 2016. 208 с.

9. Clark G. L. The Oxford Handbook of Economic Geography / Clark G. L., Feldman M. P., Gertler M. S. New York, Oxford University Press, 2003. 742 p.

10. Fujita M. Economics of Agglomeration: cities, industrial location and regional growth / M. Fujita, J.-F. Thisse. Cambridge : Cambridge University Press, 2004. 466 p.

11. Fujita M. The new economic geography: past, present and the future / Fujita M., Krugman P. // Papers in Regional Science. 2004. Vol. 83. P. 139–164.

12. Fujita M. The Spatial Economy: Cities, Regions and International Trade / Fujita M., Krugman P. R., Venables A. J. MIT Press, Cambridge MA, 1999. 640 p.

13. Henderson V. How urban concentration affects on economic growth? The World Bank development research group. New York, 2000. 27 p.

14. O’Donoghue D. A Note on methods for measuring industrial agglomeration / D. O’Donoghue, B. Gleave // Regional Studies. 2004. Vol. 38.4. P. 419–427.

15. Pontes J. P. Agglomerations in a vertically-related oligopoly. Portuguese economic journal. 2005. Vol. 4. P. 157–169.

16. Richardson H. W. Economies and Diseconomies of Agglomeration. Urban agglomerations and economic growth. (Publications of the Egon-Sohmen-Foundation). Papers of a conference held in Zurich in 1993. Berlin : Springer-Verlag, 1995. P. 123–157.

**Information about the authors:**

**Hladkyi Oleksandr Vitaliyovych,**

Doctor of Geographic Science,  
Professor at the Department of Tourism and Recreation  
State University of Trade and Economics  
19 Kioto str., Kyiv, 02156, Ukraine

**Kylivnyk Volodymyr Stepanovych,**

Candidate of Medical Science,  
Associate Professor at the Department of Physical Rehabilitation  
and Medicine  
National Pirogov Memorial Medical University  
56, Pirohova str., Vinnytsia, 21018, Ukraine

**Rudyi Yurii Yosypovych,**

Candidate of Medical Science,  
Associate Professor at the Department of Physical Rehabilitation  
and Medicine  
National Pirogov Memorial Medical University  
56, Pirohova str., Vinnytsia, 21018, Ukraine

**Ruda Iryna Volodymyrivna,**

Candidate of Medical Science,  
Associate Professor at the Department of Physical Rehabilitation  
and Medicine  
National Pirogov Memorial Medical University  
56, Pirohova str., Vinnytsia, 21018, Ukraine

**Mishcuk Anastasiia Andriivna,**

Candidate of Economic Science,  
Laboratory Assistant at the Department of Physical Rehabilitation  
and Medicine  
National Pirogov Memorial Medical University  
56, Pirohova str., Vinnytsia, 21018, Ukraine

**ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА СТАНУ АГРОЕКОСИСТЕМ,  
ЩО ПІДЛЯГАЮТЬ БІООРГАНІЧНОМУ  
ТА ТРАДИЦІЙНОМУ СПОСОБУ  
ВЕДЕННЯ ГОСПОДАРСТВА**

**Гловин Н. М., Павлів О. В.**

**ВСТУП**

Нині сільськогосподарське виробництво в Україні спрямоване на досягнення максимальних економічних вигод без належних заходів щодо підвищення родючості ґрунтів та витрат на охорону земельних ресурсів. У зв'язку з надмірним навантаженням на земельні ресурси виникає комплекс глобальних і регіональних екологічних проблем у сільськогосподарському виробництві, а саме: втрата ґрунтами природної родючості, їх деградація, виснаження, поширення вітрової та водної ерозії, забруднення довкілля засобами хімізації, радіонуклідами, важкими металами, відходами тваринництва тощо. Це призводить до погіршення якості стану агроєкосистем<sup>1</sup>.

З метою забезпечення збалансованого розвитку агроєкосистем та раціонального природокористування важливе значення має перехід аграрного сектора на альтернативні методи господарювання. У загальній тенденції людство позбувається вікових здобутків природи, а саме цінних найродючіших шарів ґрунту, включаючи його складову – гумус.

Актуальністю дослідження є екологічна спрямованість аграрного виробництва, а також подолання наслідків хіміко-техногенного шляху інтенсифікації сільського господарства України. Важливу роль на шляху екологізації сільськогосподарської галузі мають відігравати системи екологічного землеробства, які базуються на використанні суто органічних добрив, методах нехімічного контролю за поширенням бур'янів, шкідників, хвороб, зберіганні продуктів харчування і кормів без синтетичних добавок; спираються на передові технології, гарантують високу якість продуктів

---

<sup>1</sup> Запрудне Ю. К. Сільське господарство: біодинамічна альтернатива. *Проблеми екології та сталого розвитку*. 1996. С. 125–137.

харчування, економно та ефективно використовують ресурси землі, підтримуючи природний баланс в аграрному землекористуванні<sup>2</sup>.

Водночас аналіз наукових праць щодо розв'язання екологічних проблем аграрного землекористування свідчить, що на сучасному етапі розвитку сільського господарства потребують узагальнення та поглиблення теоретико-методичні підходи до земель сільськогосподарського призначення. За останні 100–120 років ґрунти України втратили 8–10 % гумусу. Нині вміст поживних речовин в орному шарі зменшився у 2,5–3 рази. Внаслідок інтенсивного обробітку землі, використання агрохімікатів і далі виснажується, тоншає її родючий шар. Крім того, рослини, вирощені на деградованих ґрунтах, вражаються багатьма хворобами. Споживаючи такі продукти, співвітчизники наражають на небезпеку своє здоров'я<sup>3</sup>.

### **1. Аспекти застосування органічного землеробства**

Вважаємо за доцільне виділити такі основні напрями екологізації агровиробництва:

– підхід до оцінки екологічної ефективності виробництва екобезпечної аграрної продукції, що, на відміну від існуючих, передбачає урахування соціальних, екологічних та відновлюваних ефектів, які утворюються в різних сферах аграрного виробництва та суспільного життя і визначення доцільності впровадження екобезпечного землекористування;

– механізм інформаційного обміну в процесі інноваційного забезпечення екологізації аграрної сфери у формуванні екобезпечного інноваційно орієнтованого сільськогосподарського виробництва, який, на відміну від нинішнього, враховує можливості та потреби використання екоінновацій як на локальному рівні, так і при формуванні загальнодержавної та регіональної політики екобезпечного розвитку аграрної сфери.

– Напрями екологізації землекористування в контексті покращення якості земель сільськогосподарського призначення, що, на відміну від існуючих, передбачають використання комплексу

---

<sup>2</sup> Гармашов О. В. , Фомічова В. В. До питання органічного сільськогосподарського виробництва в Україні. *Вісник аграрної науки*. 2010. № 7. С. 11–16.

<sup>3</sup> Журавель С. В., Матвійчук Б. В., Матвійчук Н. Г. Особливості органічного землеробства на Поліссі. URL: [http://zemlerobstvo.com/wpcontent/uploads/v.z.1-2.2011\\_2.pdf](http://zemlerobstvo.com/wpcontent/uploads/v.z.1-2.2011_2.pdf)

різноманітних органічних відходів для відтворення потенціалу сільськогосподарських угідь.

Тому підтримка діючих та заохочення до утворення нових органічних фермерських господарств полягає в удосконаленні інноваційно-інвестиційних засад забезпечення розвитку екобезпечного землеробства. Проведено аналіз щодо напрямків активізації діяльності у сфері екологізації аграрного землекористування, підвищення родючості ґрунтів збалансованого використання наявного земельно-ресурсного потенціалу в аграрній галузі.

Ми зосередили увагу на перевагах органічного землеробства над традиційним. З екологічних позицій роль людини як виду *Homo Sapiens* в екосистемах полягає в тому, що вона бере таку ж саму участь в обміні речовиною й енергією як і будь-який інший біологічний вид. Але, якщо оперувати категоріями біогеографії, такими як «ареал», «екотоп», то «ареал поширення» людини, порівняно з іншими видами, визначається не чітко. З глобальної точки зору провести межі (із позицій їхньої двомірності) екосистеми людини практично неможливо.

Агроекосистема організована людиною для самопрокорму. В ній, як і в природних екосистемах існують продуценти, консументи і редуценти. Проте, якщо в природних екосистемах потоки речовини й енергії з певною часткою наближення приурочені до конкретної території, то в агроекосистемах значна частина біомаси відчужується від території і у більшості випадків мігрує для споживання за багато кілометрів від місця, де вона вироблена. Єдиним екологічно вагомим результатом існування людини як виду *Homo Sapiens* є ґрунт, що являє собою продукт життєдіяльності продуцентів, консументів і редуцентів, які розвиваються в агроекосистемах.

Просторові межі агроекосистем формувались поступово в процесі сільськогосподарського освоєння людиною нових територій. Але загальною його рисою для всіх країн і природних зон є те, що початково не людина, а рельєф визначав структуру сільськогосподарських угідь, і, отже, співвідношення між продуцентами і консументами в агроекосистемах. Людина, як консумент вищого ґатунку, ніби задавала функції кожній з ділянок території, формуючи функціональне (з екологічних позицій) використання земель. Так, продовольчі культури (або ті, що екологічно відповідають продуцентам) висівались на ділянках рельєфу крутизою до 3–5°. Фуражні культури (для первинних консументів) до 5–7°. А території на крутих схилах понад 7° використовувалися як



сіножаті і пасовища. Таким чином, дотримуючись певного співвідношення сільськогосподарських угідь, людина штучно окреслювала екотоп як свій так і інших типів організмів (продуцентів та консументів) в «своєї» екосистемі.

Організація сільськогосподарської території є першим етапом на шляху перетворення природної екосистеми в агроекосистему, а межі типів організації сільськогосподарської території формують природні кордони агроекосистем.

Якісні параметри рослинницької продукції визначаються низкою агроекологічних факторів. По-перше, кількісні параметри якості продукції залежать від ґрунтових і кліматичних особливостей агроекосистеми; по-друге, – від виду тієї чи іншої агротехнології вирощування та строків і своєчасності виконання складових певних операційних систем; по-третє, – від сорту, лінії чи гібриду, за умов їх своєчасного оновлення тощо. Забезпечити високу урожайність сільськогосподарських культур за якісними показниками шляхом поєднання найважливіших факторів, що їх зумовлюють, досить складно: в динаміці (у сівозміні) ці показники будуть істотно різнитися. Проте тенденція, зазвичай, зберігатиметься, порівняно з варіантами, на яких аналогічних агротехнологій не застосовано або недотримана своєчасність їх виконання. Впровадження до традиційних агротехнологій вирощування сільськогосподарських культур шляхом додавання елементів біологізації дає можливість розв'язати питання з поліпшення якості рослинницької продукції та відновити екологічний стан агроекосистеми, проте непередбачувані фактори (погодно-кліматичні аномалії, агротехнічні огріхи) можуть призводити до відсутності бажаних результатів. Пестициди, будучи активними хімічними речовинами, можуть впливати на біологічні процеси, які протікають в рослинах, змінюють їх зовнішній вигляд, смакові якості та біологічну цінність продуктів харчування<sup>4</sup>. Початківці екологічного землеробства дали різні назви того, що вони робили і тому у світі використовувались різні назви екологічного землеробства. Англійські вчені називали його органічним, в Європі органічним, екологічним і біологічним землеробством. На даний час всі ці назви визнані рівноправними і є синонімами. Проблема назви стала менш важливою, коли екологічний рух досяг суспільної згоди,

---

<sup>4</sup> Артиш В. І. Управлінські аспекти розвитку виробництва екологічно чистої продукції в сільському господарстві України. *Науковий вісник Національного аграрного університету*. 2006. № 102. С. 242–247.

що ж таке екологічне господарство. Це було досягнуто зусиллями Міжнародної Федерації руху органічного сільського господарства (IFOAM) у 1972 році<sup>5</sup>.

Так як різниця в екологічному і традиційному землеробстві і розкривають суть екологічного землеробства, будемо вивчати їх в першу чергу. Екологічне землеробство охоплює усі системи сільського господарства. Так зберігається середовище, повноцінність в економічних і соціальних сферах, в екологічному виробництві промислових і харчових продуктів. В цій системі за основу продуктивності береться життєдіяльність ґрунту, генетична спадковість рослин, тварин, ландшафту. Одним із основних змістовних аспектів органічного землеробства є м'який обробіток ґрунту. Теоретичною базою ґрунтозахисного м'якого обробітку ґрунту без обороту пласта стало розуміння того, що такий обробіток зберігає природну структуру, капілярність ґрунту, оскільки не руйнує мікроканалів, створених черв'яками і корінням, яке розкладається.



**Рис. 1. Концепція розвитку екологічного господарства в контексті розвитку регіонів**

<sup>5</sup> . FAQ – ORGANIC UA. URL: <http://organic.ua/uk/organicworld/faq>

Головною вимогою мілкої обробітки ґрунту є підрізання кореневої системи на рівні 4–5 см без її видалення з ґрунту. При цьому поверхня покривається перегнійним шаром органіки різного походження, завдяки якому рослини і біота отримують поживні речовини, зменшується ризик утворення кірки. Мілкий обробіток забезпечує значний протиерозійний ефект. Він дає можливість максимально використовувати ґрунтозахисні властивості багаторічних трав, які створюють вертикальну орієнтацію пор аерації, що покращує структуру ґрунту і запобігає водній ерозії під час випадання інтенсивних дощів. Коли стік майже відсутній, вода по ходах кореневої системи рослин проникає на глибину 45–55 см і вже там розходить по капілярах. При системному поверхневому обробітку ґрунту і вирощуванні багаторічних трав зменшуються щільність та покращуються водно-фізичні властивості ґрунту, зникає ґрунтова підшва, яка неминуча при традиційній оранці і перешкоджає руху вологи в ґрунті<sup>6</sup>.



**Рис. 2. Бульбочки азотфіксуючих бактерій**

З впровадженням системи органічного землеробства та відмови від мінеральних добрив нагальним стає пошук ефективних та надійних джерел компенсації елементів живлення і створення у ґрунті позитивного балансу гумусу. Одним із напрямків вирішення

---

<sup>6</sup> Карасюк І. М., Геркіял О. М., Господаренко Г. М., Коларьков Ю. В. Агрохімія : навчальний посібник. Київ : Вища школа., 1995. 472 с.

цієї проблеми – повернення нетоварної частки врожаю – поживних решток, їх заробка в ґрунт та подальші процеси їх мінералізації. Тим самим втілюється в життя один із основних законів землеробства «Закон повернення» (про необхідність повернення в ґрунт поживних речовин які було винесено з урожаєм). Крім того, такий субстрат є хорошим середовищем для розвитку дощових черв'яків, які тут розмножуються і потім з перегноем вносяться на поля. Облік їх чисельності на полях, де вносили перегній, це підтверджує. Так, заселеність орного шару ґрунту дощовими черв'яками на окремих полях господарства сягає 80–85 особин на 1 м<sup>2</sup>, а в середньому, з 10 обстежених полів, їх чисельність склала 46 особин на 1 м<sup>2</sup>.

При цьому неможливо переоцінити в підвищенні родючості ґрунту роль дощового черв'яка. Саме його потрібно вважати великим творцем ґрунтового багатства, який створює легкозасвоєвані поживні сполуки із органіки. Прокладаючи багатокілометрові ходи в ґрунті, черв'яки розпушують його, збагачують своїми виділеннями – копролітами (до 100 і більше т/га), покращують структуру ґрунту. У екологічно цілісному ґрунті його ходи лишаються не зруйнованими протягом трьох років; прориті ним ходи та мікроканали забезпечують циркуляцію у зоні кореневої системи вологи і повітря, створюючи оптимальні умови для життєдіяльності культурних рослин. Тому для кращого змішування гною з ґрунтом він вноситься на зривлену землю<sup>7</sup>.

У зв'язку з ростом уваги населення до екологічних проблем в останні роки інтерес до отримання компосту з метою збільшення врожаю та підвищення його якості зростає, з'являються технології його прискореного виробництва. Так, розроблена і постійно удосконалюється технологія прискореної природної деградації органічних речовин у контрольованих умовах. В результаті компостування за 60–65 днів отримується цінне добриво, в якому вміст органічних речовин – не менше 75 %, та не менше 50 % поживних речовин в легкодоступній для рослин формі. При внесенні компосту, водночас із покращенням поживного режиму, ґрунт збагачується органічними речовинами, поліпшуються його фізичні та хімічні властивості. У польових дослідах встановлено, що під впливом

---

<sup>7</sup> Ласло О. О. Органічне землеробство – шлях до екологічно безпечної продукції. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2009. № 1. С. 137–139.

компосту до 35 % збільшується урожай пшениці озимої, у зерні зростає вміст білка та клейковини<sup>8</sup>.

Зелені» органічні добрива – сидерати. Спеціальні посіви рослин, надземна маса яких частково або повністю заробляється у ґрунт, називають сидерацією, а саму культуру – сидератом. Сидеральні культури, а їх – понад 60 видів збагачують ґрунт поживними речовинами, покращують структуру його верхнього шару, водний, повітряний, тепловий, фітосанітарний режими та сприяють захисту ґрунту від ерозії. Зелене добриво є невичерпним, постійно поновлюваним джерелом органічної речовини. Відомо, що за своє життя на формування біомаси рослина бере з ґрунту лише 10 % «матеріалу», а 90 % одержує повітря, енергії сонячних променів. За своєю ефективністю сидерати прирівнюються до напівперепрілого гною з коефіцієнтом 1,5. Сидерати сприяють природному відтворенню родючості ґрунту. На полях, зайнятих ними, не пересушується верхній шар, не гине біота, а лише сприяє фотосинтезу, збільшуючи накопичення поживних речовин. Вибираючи ту чи іншу сидеральну культуру, потрібно враховувати кліматичні, ґрунтові й організаційно-економічні умови господарства. У якості сидеральних культур використовують багаторічні бобові трави (еспарцет виколистий, люцерну посівну), однорічні бобові (вика яра), котрі більш корисні для збагачення ґрунту поживними речовинами, а також гречку, редьку олійну, гірчицю, а також сумішки вика яра та овес посівний, редька олійна та овес посівний, фацелію, амарант, рапс, райграс. Бобові культури збагачують ґрунт азотом, який фіксують із повітря бульбочкові бактерії, розміщені на їхніх коренях. Накопиченого азоту вистачає як самій сидеральній культурі, так і наступній після неї культурі у сівозміні. Позитивний вплив сидерації на родючість ґрунту і урожайність сільськогосподарських культур зберігається протягом трьох років. Заробку зеленої маси еспарцету проводять не глибоко дисковою бороною, у два сліди, щоб не витягнути корені. Дискування проводять на половину захвата борони, друга частина її повторно обробляє уже звалені рослини. Кореневі шийки залишаються неушкодженими і за 10–12 діб поле знову зеленіє, після трьох тижнів рослини досягають фази стеблуння – початку бутонізації.

---

<sup>8</sup> Патика В. П., Тихонович І. А., Філіп'єв І. Д. та ін. Мікроорганізми і альтернативне землеробство. К., Урожай, 1993. 176 с.

Основний обробіток проводять плоскорізним культиватором, обладнаним лапами, налаштованими на глибину 5–6 см, щоб агрегат підрізав, а не витягував кореневища рослин, після відмирання яких утворюється вертикальний дренаж ґрунту, що сприяє покращенню його водного і повітряного режиму. Остаточню припиняє відростання еспарцету передпосівна культивація. Головна умова її виконання – не раніше доби до сівби, оскільки за ранньої культивації на полі залишаються зимуючі бур'яни, а за більш пізньої – вони знищуються. Як правило, на цьому полі висівається пшениця озима. Однією з цінних культур для сидерального добрива є люцерна посівна, або синя, що визначається її високою продуктивністю. Під впливом люцерни поліпшуються фізичні властивості ґрунту, особливо його структура. Люцерна захищає ґрунт від вітрової і водної ерозії, сприяє розсоленню його верхніх шарів, збагаченню його азотом і органічною речовиною (після її відмирання і розкладання, у ґрунті залишається до 200 кг/га азоту). Вона швидко відростає (3–4 рази протягом вегетаційного періоду) і може давати урожайність зеленої маси тільки за один укіс 200–250 ц/га. Як сидеральне зелене добриво гірчиця біла характеризується швидким ростом вегетативної маси. Всього протягом 30–40 діб настає укісна стиглість. Ось чому, завдяки швидкорості, її використовують як сидерат, висіваючи навіть у пізні строки (кінець липня – початок серпня), після збирання зернових культур. Кращим строком сівби гірчиці білої є ранній, одночасно з ранніми зерновими культурами.

Але потрібно відмітити ще одну цікаву властивість її, як природного гербіциду – зменшує забур'яненість наступних культур у сівозміні. В зв'язку з цим краще гірчицю білу сіяти після збирання зернових культур і використовувати у вигляді зеленого добрива.

Паралельно з гноєм і компостами, як органічні добрива, можна широко використовувати побічну продукцію сільськогосподарських культур, і, насамперед, солому злакових культур. Солома є дешевим джерелом органічної речовини для ґрунту. За вмістом органічної речовини та макроелементів (N, P, K) 1 т соломи рівноцінна 3 т напівперепрілого гною. У 4 т соломи міститься близько 20 кг N, 10 кг – P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 35–40 кг – K<sub>2</sub>O, 8–10 кг – Ca, 3–5 кг – Mg, 4–5 кг S. Крім того, у цій масі містяться мікроелементи: 20 г – B, 12 г – Cu, 120 г – Mn, 5 г – Mo, 160 г – Zn і 2 г Co. Мікроелементів у соломі більше, ніж у зерні.

Необхідно пам'ятати, що 5 т сухої маси соломи містять у загальному близько 4,8 т органіки. В перерахунку на гній, із

вмістом сухої речовини 25 %, це дорівнює внесенню 15,5 т гною. Тому недопустимим є спалювання побічної продукції, адже це неминуче призведе до погіршення водно-фізичних властивостей ґрунту, зменшення його біологічної активності, зменшення чисельності основних еколого-трофічних груп мікроорганізмів, загибелі корисної ентомофауни. Підраховано, що під час згорання 40–50 ц соломи і стерні, з кожного гектара втрачається безповоротно 20–25 кг азоту і 1500–1700 кг вуглецю. Залишена стерня пшениці (не спалена) зберігає 76 % опадів. А це 4–6 ц/га додаткової урожайності зерна наступної культури. За рахунок виключення процесу збирання соломи під час комбайнування, затрати праці зменшуються на 40–60 %. Безпосереднє використання соломи на удобрення майже у 8 разів зменшує затрати праці на приготування і внесення соломистого гною. В останні роки у різних країнах світу та в Україні широко впроваджують технології пришвидшеної деструкції соломи та рослинних решток за допомогою біодеструкторів<sup>9</sup>.

## **2. Дослідження агроєкосистем на прикладі господарства ТзОВ «Жива земля Потутори» (органічний метод землеробства)**

У 2007 році українець Іван Бойко і швейцарець Райнер Зак заснували ТзОВ «Жива земля Потутори» (теперішній власник підприємства – асоціація «Жива земля Швейцарії»).

Українські реалії з типовими для наших сіл дорогами і з ландшафтом, що трохи схожий швейцарцям на їхню батьківщину, накладаються на дещо інший, ніж у наших селян, спосіб життя. 300 гектарів землі, з яких 200 – орної, 34 дійні корови, город з овочами і травами – про це господарство дбають 15 осіб, двоє з яких – швейцарці (Еліас де Бур та Крістіна Лібергер). Тут не просто дотримуються принципів органічного виробництва, а й застосовують систему біодинамічного сільського господарства, що її розробив австрійський філософ-містик Рудольф Штайнер, відомий зокрема як творець вальдорфської педагогіки. Світоглядно біодинамічне землеробство передбачає сприйняття ферми як цілісного організму, трактування ґрунту як живого й застосування натуральних,

---

<sup>9</sup> Созінов О. О., Козлов М. В., Сердюк А. Г. та ін. Сучасні деградаційні процеси, еколого-агрономічний стан та оцінка придатності сільськогосподарських земель для створення екологічно чистих сировинних зон і господарств. *Агроєкологія і біотехнологія* : зб. наук. пр. Вип. 2. К., 1998. С. 54–65.

спеціальним чином виготовлених матеріалів для роботи з ґрунтом, компостом і рослинами.

На фермі використовують біодинамічні препарати коров'ячі роги (їх беруть на бойні) заповнюють гноєм і закопують восени в землю. Під дією магнітного поля землі та космосу, під впливом сонця, місяця, планет органічне добриво стає біологічно активною речовиною. Навесні його викопують, витягують із рогу, розчиняють у необхідній кількості води й динамізують. З допомогою відповідних скерованих рухів препарат вимішують, і під час цього процесу він набуває енергії, динамізується. Комусь видасться дивним, у який спосіб гній, напханий через ріг корови, може давати якийсь ефект, але проводили дослідження, які підтверджують вплив біодинамічних препаратів». Водночас пан Бойко додає, що біодинамічне виробництво нині – не бізнес, а спосіб життя, метод господарювання, який може рухатися в напрямі бізнесу: «Це копітка справа, яка має йти від любові, від душі».

На фермі «Жива земля Потутори» нині є три напрями, які активно й ефективно розвивають: рослинництво, розведення молочних корів, вирощування трав. Кожен із них курає людина, відповідальна за цей напрям і якій його довірили. Відповідно, якщо з'явиться хтось, готовий у такий спосіб опікуватися козами, свинями чи птицею, він чи вона матимуть змогу реалізувати себе.

Тут практикують безприв'язне утримання корів (виняток – коли тварини їдять, тоді їх прив'язують, щоб не травмувалися), наближене до природних умов. Корова має право вільно виходити з корівника. Узимку, якщо котрась із них хоче вийти і полизати сніг, – може це зробити, бо замість одного з вікон у корівнику зробили двері, які відчиняють, коли нема сильного морозу. За словами Еліаса де Бура, на фермі планують збільшити кількість корів до ста, і робитимуть це, вирощуючи теличок. Збільшення кількості надоїв – завдання на перспективу, наразі працюють на те, щоб зменшити собівартість молока. Відповідно, створюють хорошу кормову базу з малими інвестиціями. Дешевим кормом є трава, отже, засаджують луки відповідними сумішами злакових та бобових трав. А з наступного року впродовж весни-літа-осені корови матимуть змогу цілодобово перебувати на пасовищі, переходячи з місця на місце, завдяки тому, що підприємство придбало пересувне доїльне устаткування. Узимку планують годувати тварин на вулиці (облаштувавши відповідні годівниці), з постійним доступом до кормів.



Крістіна Лібергер у Швейцарії викладала у вальдорфській школі городництво, а в Потуторах курує напрям вирощування трав. Трави є концентратом доквілля, світу, неба, сонця, вітру. Вони – великий подарунок для нас. Трави вбирають стан землі, погоду, клімат», – каже пані Крістіна. Вона вирощує трави для спецій і для чаїв. Сама, враховуючи свій багаторічний досвід, створює рецептуру зборів, які можна придбати, зокрема й у деяких львівських крамничках. Орегано, любисток, шавлія, м'ята, меліса, мальва, ромашка, чебрець, фенхель, базилік, майоран та інші рослини ростуть на впорядкованому городі: тут чергуються грядки і двадцятисантиметрові стежки між ними. Коли є лад, легше працювати, каже жінка. Біодинамічне землеробство у вирощуванні трав полягає в тому, що використовують компост і багато ручної праці.

«Жива земля Потутори», як і інші фермерські господарства, орендує земельні паї в селян, за які потім розраховується зерном. Агрохолдинги, що вирощують неорганічне зерно, збирають більші врожаї, і продукція їхня дешевша. У їхньому зерні є високий вміст білка, клітковини, але низький вміст глютену, тому його можуть вживати люди, які мають алергію на пшеничний хліб. Що цікаво, це зерно має горіховий присмак. Щодо попиту, то він також залежить від моди. Тепер він зріс шалено, а ще донедавна ця культура в Україні була нелегальна, її не вводили до реєстру зернових культур.

Працівники ферми «Жива земля. Потутори», завдяки швейцарським інвестиціям, мають змогу захоплено робити справу.

Об'єкт досліджень – ґрунтовий покрив сільськогосподарських підприємств ТзОВ «Жива Земля Потутори» с. Потутори Бережанського району Тернопільської області, який представлений темно-сірими опідзоленими ґрунтами.

Аналізи проводили за чинними методиками та ДСТУ:

- гумус за методом Тюріна в модифікації Симакової (ДСТУ 4289:2004);
- рухомий фосфор і обмінний калій за методом Чирікова (ДСТУ – 4115–2002);
- вміст лужногідролізованого азоту – за методом Корнфілда;
- ступінь кислотності (рН) – потенціометрично за методом ЦІНАО (ГОСТ 26483–85) і гідролітична за методом Капенна – (ГОСТ 26212–91).

Для виконання експериментальних досліджень, які дадуть змогу визначити якісний стан земель, стан ґрунтового покриву, який використовується для потреб сільськогосподарського виробництва

було обрано земельні ділянки сільськогосподарського призначення. Земельні ділянки розташовані в межах населених пунктів с. Потутори Бережанського району Тернопільської області. У земельному фонді попередньо згаданих господарств переважають темносірі опідзолені ґрунти. Агрохімічне обстеження ґрунтів в господарстві ТзОВ «Жива Земля Потутори» проведено на площі 309,6 гектарів, для відбору зразків ґрунту на агрономічне дослідження поля були розбиті на елементарні ділянки розміром 9–10 га. З кожної такої ділянки відібрано один змішаний зразок, який одержано із 20–25-ти індивідуальних проб, взятих по осі елементарної ділянки на глибину 25–30 см (Patyka and Tarariko, 2002).

Градація за ступенем забезпеченості ґрунтів агрохімічними показниками, затверджена Центрддержродючості в 2020 році (табл. 1 і 2).

Таблиця 1

**Групування ґрунтів за ступенем кислотності**

Шифр	Показник	Гідролітична кислотність, мг-екв/100 г ґрунту	Ступінь кислотності
1	< 4,1	> 6,0	Дуже сильнокислі
2	4,1–4,5	5,1–6,0	Сильнокислі
3	4,6–5,0	4,1–5,0	Середньокислі
4	5,1–5,5	3,1–4,0	Слабокислі
5	5,6–6,0	2,1–3,0	Близькі до нейтральних
6	> 6,0	< 2,1	Нейтральні

Таблиця 2

**Групування ґрунтів за вмістом гумусу та макроелементів**

Шифр	Вміст гумусу, %	Обмінний калій	Рухомий фосфор	Вміст	Лужногідролізований азот мг/кг ґрунту	Вміст
		мг/кг ґрунту				
1	< 1,1	< 40	< 25	дуже низький	< 100	дуже низький
2	1,1 – 2,0	41 – 80	26 – 50	низький	101 – 150	низький
3	2,1 – 3,0	81 – 120	51 – 100	середній	151 – 200	середній
4	3,1 – 4,0	121 – 170	101 – 150	підвищений	> 200	
5	4,1 – 5,0	171 – 250	151 – 250	високий		
6	> 5	> 250	> 250	дуже високий		

У результаті відбору зразків на агрохімічне дослідження в Тернопільську філію державної установи «Інститут охорони

грунтів України», отримано результати агрохімічних показників ґрунтів досліджуваних сільськогосподарських угідь господарств Березанського району Тернопільської області (табл. 3).

Гумус як найбільш репрезентативний та стійкий агрохімічний показник найбільшою мірою відображає родючість ґрунту.

Таблиця 3

**Агрохімічні показники ґрунтів сільськогосподарських угідь  
ТзОВ «Жива Земля Потутори»**

№ поля	Глибина відбору зразків, см	Обстежена площа, га	Вміст гумусу, %	рН сольовий	Гідролітична кислотність	Лужногідролізований азот	Рухомий фосфор	Обмінний калій
1	25–30	53,50	2,35	6,3	1,81	133	74	123
2		83,40	2,48	6,4	1,62	124	62	120
3		29,60	2,40	6,6	1,37	138	113	131
4		9,70	1,86	6,3	1,74	136	77	145
5		13,30	2,24	6,4	1,63	130	80	165
6		24,70	2,40	5,4	3,26	144	57	161
7	13,10	2,34	5,8	2,46	125	38	158	
9	22,50	2,00	6,2	1,90	144	35	143	
16	18,80	2,35	6,0	2,07	85	40	111	
Культурне пасовище								
13		16,00	2,72	7,0	0,95	132	109	105
12		25,00	2,85	6,9	1,08	99	74	70
Всього по господарству		309,60						

Як видно з табл. 2, досліджувані ґрунти характеризуються середнім вмістом гумусу – середньозважений показник по всій обстеженій площі ТзОВ «Жива Земля Потутори» становить 2,41 % (за кожним полем по господарствах окремо наведено в табл. 3). Щодо ТзОВ «Жива Земля Потутори» 24,70 га (близько 8 %) обстеженої площі характеризується підвищеним вмістом гумусу – менше 4,0 %, 252,70 га (81,6 %) обстеженої площі характеризується середнім вмістом гумусу – менше 3,0%, 32,20 га (10,4 %) обстеженої площі характеризується низьким вмістом гумусу – менше 2,0%, (Lisovuj, 1991).

Лужногідролізований азот є показником динамічним, який характеризується істотною часовою і просторовою мінливістю протягом вегетації. Близько 85,9 % обстеженої площі ТзОВ «Жива Земля Потутори» характеризуються низьким вмістом азоту – 124–144 мг на 1кг ґрунту, 14,1 % –характеризуються дуже низьким

вмістом азоту – 85–99 мг на 1 кг ґрунту. Середньозважений вміст азоту, що гідролізується по всій площі ТзОВ «Жива Земля Потутори», становить 127 мг/кг. Слід зазначити значну просторову неоднорідність забезпечення азоту навіть у межах одного поля, що вимагає диференційованого підходу під час розроблення системи підживлення. Нестача азоту сильно гальмує ріст і розвиток рослини. Проявляється у вигляді хлорозу. Листя стає світло-зеленим, дрібним передчасно жовтіє з кінчиків. У зернових колосових сповільнюється куціння, стебла короткі. На культурах спостерігається погіршення цвітіння, раннє опадання зав'язі. Також, зважаючи на високу здатність азоту до повторної реутилізації та добре розвинуту трав'яну рослинність, можна припустити, що на початку вегетаційного періоду запаси лужногідролізованого азоту в досліджуваних ґрунтах можуть збільшуватись на 15–20 % порівняно із зафіксованими показниками. Урожайність може значно зменшитися, якщо дефіцит азоту супроводжує весь вегетаційний період.

Згідно із отриманими даними, рухомий фосфор на сільськогосподарських угіддях ТзОВ «Жива Земля Потутори» має низький вміст (2 група забезпеченості) на 54,40 га (17,6 %) обстеженої площі. На 209,60 га (67,7 %) обстеженої площі вміст цього елемента живлення є середнім (3 група забезпеченості), а на 45,60 га (14,7 %). Най-менший вміст рухомого фосфору зафіксовано на 7,9 обстежених полях – 38–35 мг/кг ґрунту. Найкраще забезпечені 3 та 13 поля. Потреба в фосфорі особливо велика на початку сезону для формування коренів, а також пізніше в період цвітіння і зав'язування плодів.

Ґрунти досліджуваних господарств добре забезпечені обмінним калієм, а саме понад 92 % обстежених ґрунтів ТзОВ «Жива Земля Потутори» характеризуються підвищеним та високим вмістом калію – (4 та 5 групи забезпеченості). Тільки 12 поле забезпечено обмінним калієм на середньому рівні. Цей елемент живлення для фізіології сільськогосподарських культур відіграє найважливішу роль беручи участь в розподілі води і в ферментативних процесах. Достатня наявна кількість калію може полегшити стрес, що переносять рослини в період спеки, холоду чи посухи. Калій є елементом, що впливає на урожайність багатьох культур, овочів і плодів дерев<sup>10</sup>.

---

<sup>10</sup>Тибурський Ю., Підліснюк В., Солтисьяк У. та ін. Екологічне сільське господарство: кроки назустріч. Крок перший: екологічне землеробство : посібник / За ред. В.Підліснюк. К. : Видавництво Національного аграрного університету, 2006. 80 с.

Близько 82 % обстежених земель ТзОВ «Жива Земля Потутори», мають нейтральний ступінь кислотності та 10 % – близький до нейтрального ступінь кислотності, і лише близько 8 % слабо кислі. Щодо іншого досліджуваного нами господарства, слід зазначити наступне: близько 80 % обстежених земель є нейтральними та близькими до нейтральних, а близько 20 % – є слабо кислими.

Потребу у вапнуванні слабо кислих ґрунтів, які займають 8 % і 20 % обстежених земель, слід визначати залежно від культури, яку планують вирощувати. Багатьма дослідженнями підтверджено, що для багатьох культур слабокисла реакція ґрунтового розчину сприятлива (ріпак, ячмінь, жито, більшість овочевих, конюшина, люпин, гречка та ін.)

У результаті отриманих даних, зважаючи на складні соціально-економічні умови, доцільно рекомендувати короткочасні спеціалізовані сівозміни, які не вимагають наявності всього комплексу сільськогосподарської техніки та дають високу рентабельність. Розробляючи сівозміни, також треба мати на увазі особливості морфометричної будови схилів, на яких розміщені обстежені поля. Враховуючи значну крутизну схилів та вертикальну і горизонтальну розчленованість рельєфу для обстеженої території, насичення сівозміни просапними культурами не повинно перевищувати 10–15%. Основу сівозмін повинні становити густопрокривні культури та трави.

Одним з основних чинників, які забезпечують високі та стійкі урожаї сільськогосподарських культур, є мінеральні та органічні добрива. Доволі ефективним методом розрахунку норм добрив є балансовий метод, за якими можна точно встановити потребу в добривах для запланованого рівня урожайності.

Вапнування кислих ґрунтів також дає змогу збільшити продуктивність травостою, оскільки покращує агрохімічні та біологічні властивості ґрунтів, зменшує негативний вплив кислотності на травостій. Вапнякове борошно вносять на пасовищах поверхнево один раз на 5–7 років. Одним з найефективніших заходів підвищення продуктивності пасовищних травостоїв є внесення мінеральних добрив. Як показали аналізи, мінімальним в ґрунтах вище згаданих підприємств є вміст азоту, тому внесення саме цього елемента живлення є пріоритетним. Також для покращення кормових угідь можна застосовувати поверхневе поліпшення – це система заходів поточного догляду за природним кормовим угіддям. Воно містить: культуртехнічні роботи, роботи, спрямовані на

поліпшення і регулювання водного та поживного режимів ґрунту, роботи з догляду за травостоєм і дерниною, знищення бур'янів, підсівання трав, упорядкування або поліпшення пасовищ і сіножатей.

Високоєфективним заходом окультурення пасовищ є підсівання трав безпосередньо у дернину. При цьому основну увагу слід приділяти бобовим травам, оскільки введення в структуру травостою еспарцету, конюшини лучної та люцерни збільшує продуктивність травостою на 15–20 % та покращує баланс елементів живлення (за рахунок азотфіксації). Відсоток бобових трав у травостой повинен становити 20–25 %.

Отже, темно-сірі опідзолені ґрунти характеризуються в цілому задовільними умовами для одержання високих і сталих урожаїв та сировини. Результати досліджень підтверджують, що на сільськогосподарських підприємств Тернопільської області Бережанського району ТЗОВ «Жива Земля Потутори» переважають ґрунти з низьким (127 мг/кг та 116 мг/кг ґрунту) ступенем забезпечення азоту в сполуках, що лужногідролізуються, середнім (69 мг/кг ґрунту) та підвищеним (127 мг/кг) – рухомих фосфатів, високим (125,124 мг/кг ґрунту) – обмінного калію. Щодо реакції ґрунтового розчину на території господарств – нейтральна. За середньозваженими показниками вмісту гумусу ґрунти відповідають середньому ступеню забезпечення. Лімітуючим фактором, який може знизити формування врожайності до 20 % є низька забезпеченість поживними речовинами, а саме сполуками азоту, що легко гідролізується. Загалом досліджувані ґрунти мають задовільні властивості для формування високих екологічно безпечних і якісних урожаїв. Дослідження показали, що роботи із визначення агрохімічних показників ґрунтів дають можливість продуктивніше та раціонально використовувати кормові угіддя.

Дані обстеження допоможуть встановити найбільш оптимальні дози органічних та мінеральних добрив, вести планомірну роботу по підвищенню родючості ґрунту та урожайності сільськогосподарських культур.

Агроекологічна оцінка земель проводилась згідно з методикою В. В. Медведєва, розробленою в Інституті ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського УААН (Medvedeva, 1997)<sup>11</sup>, в основі якої лежать три рівні опису умов: I – оптимальні умови;

---

<sup>11</sup> Павлів А. В. Паспортизація сільськогосподарських підприємств Тернопільської області Бережанського району ТЗОВ «Жива земля Потутори» та ТОВ «Крона» *Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С. З. Гжицького*. Том 18. № 1(65). Частина 3. 2016. С. 214–217.

2 – допустимі (задовільні); 3 – недопустимі (погані) умови. Перший рівень відповідає таким умовам, за яких можливо отримати найбільші екологічно чисті врожаї, за другим рівнем є загроза зниження врожайності на 23–30, за третім рівнем – до 50 %. В основу її покладено принцип екологічного співвідношення параметрів довкілля (грунт, клімат), що характеризують потреби сільсько-господарських культур до їхнього вирощування.

Виходячи з таблиці 4, можна сказати, що допустимі умови для вирощування зернових, технічних та кормових культур за потужністю гумусового шару (перебувають у межах від 35–45 см) сформувалися на всіх досліджуваних полях (табл. 4–7).

Таблиця 4

**Дані агроекологічної оцінки ґрунтового покриву земель ТзОВ «Жива Земля Потутори» с. Потутори**

№ поля	Показники												
	Потужність гумусового шару, см	Реакція ґрунтового розчину, рНсол.	Вміст в орному шарі гумусу, %	Вміст азоту, що легко гідролізується, мг/кг	Вміст рухомого фосфору, мг/кг	Вміст обмінного калію, мг/кг	Сума активних температур вище 10 °С.	Гідротермічний коефіцієнт	Рівень ґрунтових вод (РГВ), м	Вміст рухомих форм важких металів (мг/кг): кадмію	свинцю	ртуть	
Рілля													
1	25–40	6,3	2,35	133	74	123	2550	1,4	7	0,14	1,78	0	
2	25–40	6,4	2,48	124	62	120	2550	1,4	7	0,12	1	0	
3	25–40	6,6	2,40	138	113	131	2550	1,4	7	0,08	1,49	0	
4	25–40	6,3	1,86	136	77	145	2550	1,4	7	0,1	1,53	0	
5	25–40	6,4	2,24	130	80	165	2550	1,4	7	0,09	1,47	0	
6	25–40	5,4	2,40	144	57	161	2550	1,4	7	0,11	1,5	0	
7	25–40	5,8	2,34	125	38	158	2550	1,4	7	0,07	1,69	0	
9	25–40	6,2	2,00	144	35	143	2550	1,4	7	0,09	1,86	0	
16	25–40	6,0	2,35	85	40	111	2550	1,4	7	0,39	1,75	0	
Культурне пасовище													
12	25–40	7,0	2,85	99	74	70	2550	1,4	7	0,1	1,95	0	
13	25–40	6,9	2,72	132	109	105	2550	1,4	7	0,24	1,29	0	

Таблиця 5

Дані агроекологічної оцінки ґрунтового покриву земель для вирощування зернових культур ТЗОВ «Жива Земля Потутори»

№ поля	Показники												
	Потужність гумусового шару, см	Реакція ґрунтового розчину, рНсол.	Вміст в орному шарі гумусу, %	Вміст азоту, що легко гідролізується, мг/кг	Вміст рухомого фосфору, мг/кг	Вміст обмінного калію, мг/кг	Сума активних температур вище 10	Гідротермічний коефіцієнт	Рівень ґрунтових вод (РГВ), м	Вміст рухомих форм важких металів (мг/кг): кадмію	свинцю	ртуть	
Рілля													
1	Д	О	Д	Н	Д	О	О	О	О	О	Д	О	
2	Д	О	Д	Н	Д	О	О	О	О	О	Д	О	
3	Д	О	Д	Н	О	О	О	О	О	О	Д	О	
4	Д	О	Н	Н	Д	О	О	О	О	О	Д	О	
5	Д	О	Д	Н	Д	О	О	О	О	О	Д	О	
6	Д	О	Д	Н	Д	О	О	О	О	О	Д	О	
7	Д	О	Д	Н	Н	О	О	О	О	О	Д	О	
9	Д	О	Д	Н	Н	О	О	О	О	О	Д	О	
16	Д	О	Д	Н	Н	О	О	О	О	О	Д	О	
Культурне пасовище													
12	Д	О	Д	Н	Д	Д	О	О	О	О	Д	О	
13	Д	О	Д	Н	О	Д	О	О	О	О	Д	О	

Таблиця 6

Дані агроекологічної оцінки ґрунтового покриву земель для вирощування технічних культур ТЗОВ «Жива Земля Потутори»

№ поля	Показники												
	Потужність гумусового шару, см	Реакція ґрунтового розчину, рНсол.	Вміст в орному шарі гумусу, %	Вміст азоту, що легко гідролізується, мг/кг	Вміст рухомого фосфору, мг/кг	Вміст обмінного калію, мг/кг	Сума активних температур вище 10 °С	Гідротермічний коефіцієнт	Рівень ґрунтових вод (РГВ), м	Вміст рухомих форм важких металів (мг/кг): кадмію	свинцю	ртуть	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Рілля													
1	Д	О	Д	Н	Д	О	О	О	О	О	Д	О	
2	Д	О	Д	Н	Д	О	О	О	О	О	Д	О	
3	Д	О	Д	Н	О	О	О	О	О	О	Д	О	



## Продовження таблиці 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
4	Д	О	Н	Н	Д	О	О	О	О	О	Д	О
5	Д	О	Д	Н	Д	О	О	О	О	О	Д	О
6	Д	О	Д	Н	Н	О	О	О	О	О	Д	О
7	Д	О	Д	Н	Н	О	О	О	О	О	Д	О
9	Д	О	Д	Н	Н	О	О	О	О	О	Д	О
16	Д	О	Д	Н	Н	О	О	О	О	О	Д	О
Культурне пасовище												
12	Д	О	Д	Н	Д	Д	О	О	О	О	Д	О
13	Д	О	Д	Н	Д	Д	О	О	О	О	Д	О

Таблиця 7

Дані агроекологічної оцінки ґрунтового покриву земель для  
виروشвання кормових культур ТзОВ «Жива Земля Потутори»<sup>12</sup>

№ поля	Показники											
	Потужність гумусового шару, см	Реакція ґрунтового розчину, рНсол.	Вміст в орному шарі гумусу, %	Вміст азоту, що легко гідролізується, мг/кг	Вміст рухомого фосфору, мг/кг	Вміст обмінно-го калію, мг/кг	Сума активних температур вище 10 °С	Гідротермічний коефіцієнт	Рівень ґрунтових вод (РГВ), м	Вміст рухомих форм важких металів (мг/кг): кадмію	свинцю	ртуть
Рілля												
1	Д	О	Д	Д	Д	О	О	О	О	О	Д	О
2	Д	О	Д	Д	Д	Д	О	О	О	О	Д	О
3	Д	О	Д	Д	О	О	О	О	О	О	Д	О
4	Д	О	Н	Д	Д	О	О	О	О	О	Д	О
5	Д	О	Д	Д	Д	О	О	О	О	О	Д	О
6	Д	О	Д	Д	Д	О	О	О	О	О	Д	О
7	Д	О	Д	Д	Н	О	О	О	О	О	Д	О
9	Д	О	Д	Д	Н	О	О	О	О	О	Д	О
16	Д	О	Д	Н	Н	Д	О	О	О	О	Д	О
Культурне пасовище												
12	Д	О	Д	Д	Д	Д	О	О	О	О	Д	О
13	Д	О	Д	Д	О	Д	О	О	О	О	Д	О

<sup>12</sup> Павлів А. В., Павлів О. В. Агроекологічна оцінка земель сільськогосподарських підприємств Тернопільської області Бережанського району ТзОВ «Жива Земля Потутори» та ТОВ «Крона». *Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С. З. Гжицького*, 2017, т. 19, № 74. С. 196–201. doi: 10.15421/nvlvet7443. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/235836748.pdf>

За реакцією ґрунтового середовища та за вмістом гумусу ґрунти господарств характеризуються оптимальними умовами з метою вирощування як кормових і технічних культур, так і зернових. Дана ситуація обумовлена тим, що загалом ґрунти мають нейтральну реакцію, а також досліджувані поля характеризуються середньою забезпеченістю ґрунтів за вмістом гумусу (знаходиться в межах 2,0–3,5 % на всіх ділянках), за винятком (поле № 4 – ТзОВ «Жива Земля Потутори»), характеризується недопустимими умовами), дана ситуація обумовлює задовільні умови для формування високоякісних врожаїв сільськогосподарських культур.

Виходячи з таблиць 3–8 можна відмітити, що ґрунти на досліджуваних ділянках за вмістом азоту, що легко гідролізується, характеризуються недопустимими умовами для вирощування зернових і технічних культур. Дана ситуація обумовлена тим, що на даних ділянках (поля № 1–7, 9, 16, 12–13 ТзОВ «Жива Земля Потутори») вміст азоту, що легко гідролізується, перебуває в ґрунтах від 85,0 до 144 мг/кг ґрунту за Корнфілдом, а для оптимальних умов при вирощуванні зернових та технічних культур необхідно, щоб ґрунти були забезпечені вмістом азоту більше ніж 200 мг/кг ґрунту. Пороте даний вміст цього показника в ґрунтах є допустимим значенням для вирощування кормових культур на підприємстві ТзОВ «Жива Земля Потутори», як це показано в таблиці 7.

За вмістом рухомих форм фосфору ґрунти досліджуваних ділянок характеризуються підвищеним та високим забезпеченням, що обумовлює оптимальні та допустимі умови для вирощування як зернових і технічних культур, так і для кормових. Вміст даного показника в ґрунтах у ТзОВ «Жива Земля Потутори» за Мачигінім, що створює задовільні умови для формування високоякісних врожаїв з оптимальними та допустимими умови коливається в межах від 57,0 до 109 мг/кг ґрунту (поля № 7, 9, 16) характеризується недопустимими умовами для вирощування сільськогосподарських культур.

Вміст в ґрунтах ТзОВ «Жива Земля Потутори» обмінного калію коливається від 106,0 до 136 мг/кг ґрунту за Мачигінім, що, в свою чергу, обумовлює оптимальні та допустимі умови для вирощування кормових, технічних та зернових культур.

На якість ґрунтів та агроекологічні умови вирощування сільськогосподарських культур значно впливають метеорологічні умови, зокрема сума активних температур вища за 10 °С та гідротермічний коефіцієнт Селянінова (ГТК). Різні культури для своєї життєдіяльності в період від проростання насіння до

достигання потребують неоднакової кількості тепла. За вимогливістю до тепла культури умовно поділяють на холодостійкі (жито, пшениця, ячмінь, овес, горох та ін.), середньо холодостійкі (буряки, соняшник, боби, люпин, льон, та ін.), теплолюбні (кукурудза, просо, сорго, квасоля, рис, соя, бавовник та ін.). Згідно із нормативами агроекологічної оцінки, оптимальні умови за сумою активних температур (25–30 °С) спостерігаються майже на всіх дослідних ділянках, оскільки мають сума температур становить вище 10 °С – 2530'. Аналогічна ситуація склалася в господарстві на всіх полях відносно до гідротермічного коефіцієнту допустимі умови (ГТК–1,4). А загалом метеорологічні показники ґрунтів, відповідно до нормативів агроекологічних умов вирощування, можуть забезпечити формування біологічно повноцінної продукції та сировини<sup>13</sup>.

Одним із основних факторів, які впливають на якість продукції є вміст в ґрунті рухомих форм важких металів. Підвищений вміст важких металів у ґрунті може бути наслідком застосування в сільському господарстві меліорантів, добрив та пестицидів, а також використання для зрошення забруднених побутових і промислових стічних вод тощо. За даними В. І. Кисіля гранично допустима концентрація (далі ГДК) для кадмію – 0,7 мг/кг ґрунту, для Свинцю – 2,0 мг/кг ґрунту для Ртуті – 0 мг/кг.

Щодо ґрунтового покриву, який характеризується допустимими (задовільними) умовами, на вище вказаних господарствах є поля з загрозою зниження врожайності на 23–30 %. Лімітуючим фактором, який може знизити формування врожайності до 50 %, є низька забезпеченість поживними речовинами, а саме сполуками азоту, що легко гідролізується, дана ситуація склалась лише на окремих ділянках. Варто встановити найбільш оптимальні дози органічних та мінеральних добрив, вести планомірну роботу щодо підвищення родючості ґрунту, адже добрива – основа живлення – елемент побудови урожаю.

ТзОВ «Жива Земля Потутори», обумовлює задовільні умови для формування високоякісних врожаїв сільськогосподарських культур.

---

<sup>13</sup> Гололобова О. О. , Василець Я. С. Агроекологічне обґрунтування поведінки з органічними відходами при виробництві гуматів. *Людина та довкілля*. Проблеми неоекології. Вип. 30, 2018. С. 131–136. URL: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2018-30-11>

Отже, результати досліджень підтверджують, що в сільськогосподарських підприємствах ТзОВ «Жива Земля Потутори» переважають поля агроєкосистем з оптимальними умовами для вирощування зернових, технічних та кормових культур.

Щодо ґрунтового покриву, який характеризується допустимими (задовільними) умовами у вище вказаних господарствах, слід відмітити, що є поля з загрозою зниження врожайності на 23–30 %. Лімітуючим фактором, який може знизити формування врожайності до 50 %, є низька забезпеченість поживними речовинами, а саме сполуками азоту, що легко гідролізується, дана ситуація склалась лише на окремих ділянках. Тому на даних ділянках необхідно внести оптимальні дози органічних та мінеральних добрив, вести планомірну роботу щодо підвищення родючості ґрунту, адже добрива – основа живлення – елемент побудови урожаю<sup>14,15</sup>.

Завершити хотілось би словами, викладеними у передмові до основних правил Міжнародної федерації екологічного землеробства ІФОАМ, яка створена в 1972 році у Версалі: «Відвіку людині відомо, що її уміння впливати на середовище набагато перевищує її право на це. На користь кожної людини і суспільства в цілому наші безпосередні потреби мають бути приведені у відповідність із законами природи. Якщо останні і далі ігноруватимуться, то людство вириє собі могилу. Ми повинні розвивати окреме сільське господарство як організм і розуміти його як живу екосистему, зразок якої узятий з самої природи і яка представляє альтернативу голій інтенсифікації, спеціалізації і хімізації».

## ВИСНОВКИ

1. Екологізація використання земель сільськогосподарського призначення є цілеспрямованим процесом втілення комплексу взаємоузгоджених та взаємопов'язаних економічних, технологічних, організаційних та інших заходів, а також управлінських рішень, що

---

<sup>14</sup> Гловин Н. М., Павлів О. В. Investigation of Causes and Influences of Soil Acidity on Crop Yields in Kozova District, Ternopil Region. *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького. Серія: Сільськогосподарські науки*, 2019, т 21, No 91, ст. 16–20. ISSN 2519–2698 print URL: <https://nvlvet.com.ua/index.php/agriculture>. doi: 10.32718/nvlvet-a9103

<sup>15</sup> Hlovyn, N. M., & Pavliv, O. V. Ecological and agrochemical assessment of soil suitability of agricultural enterprise for organic products cultivation. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, (1), 203–209. doi:10.31210/visnyk2021.01.25

запобігають порушенню екологічної рівноваги в природному середовищі;

2. Завдяки екобезпечному землекористуванню відновлюється якість земельних ресурсів, що залучені до процесу виробництва, внаслідок застосування зелених добрив та методів біологічного знищення шкідників, технологій обробітку ґрунту, які спрямовані на мінімальне втручання в екосистеми, зниження ущільненості ґрунтів та зменшення забруднення водою і атмосферного повітря. Економічний ефект при цьому гарантований, адже споживачі готові сплачувати більшу ціну за продукцію органічного виробництва та знизиться частина вартості матеріальних ресурсів, що використовуються у цьому процесі;

3. При здійсненні оцінки ефективності екобезпечного землекористування варто враховувати і регіональний аспект та спеціалізацію окремих територій на певних виробництвах, насамперед, що стосується використання земельних ресурсів в сільськогосподарській галузі;

4. Державі належить вагома роль у розвитку екологічно безпечного землекористування та ринку органічної продукції шляхом створення національного законодавчо-правового поля;

5. Враховуючи наявність в Україні значних посівних площ та високу родючість ґрунтів, наша країна має значні перспективи для розвитку потенціалу біоорганічних сільськогосподарських екосистем.

6. Важливою передумовою подальшого розвитку біоорганічної системи господарювання в Україні є: фермерські господарства можуть переходити на органічні технології та проведення сертифікації, а також активізувати інформаційно-просвітницької кампанії стосовно пропаганди принципів ведення органічного сільського господарства серед сільського населення.

Зазначений підхід до визначення агроекосистем надає певні переваги передусім при вирішенні екологічної проблеми, «повертаючи» людину у біосферу. Проте головні теоретичні наслідки застосування такого підходу можуть бути корисними і у практичному сільському господарстві. Це природокористування з боку *Homo Sapiens* однаково «від'ємне» по відношенню до природних екосистем починаючи з неоліту. За окремими оцінками емісія вуглецю в атмосферу лише від землеробства у світі перевищує щонайменше на 10% його викиди від спалювання викопного палива. Тоді логічним є запитання, наскільки коректним є науковий підхід,

закладений у Кіотський протокол і чи не слід вважати сільське господарство більш небезпечною для Біосфери галуззю ?

Твереза оцінка новітніх технологій у сільському господарстві, особливо у землеробстві, які йдуть із Заходу і які начебто є «природозберігаючими», «енергоощадними», «екологічно толерантними».

Відмова від антропоцентричного підходу щодо виділення «агросфери», «соціосфери» та інших «сфер», якими людина «відмежує» себе від природи. Людина є частиною природи і повинна шукати такі форми свого буття, які б не вносили антагонізм у ці відносини. На практиці це означає беззаперечне усвідомлення аксіоми, що збільшення продуктивності сільського господарства можливе лише за рахунок біологічних ресурсів природних екосистем Землі. Темпи ж їх відновлення неспівставні у часі і просторі з природними механізмами. Встановлено, що шляхом обґрунтування параметрів оцінки еколого-економічної ефективності екобезпечного землеробства та розвитку галузі екобезпечного аграрного виробництва можна стати на перешкоді випуску і споживанню неекологічної сільськогосподарської продукції та сприяти оздоровленню довкілля та збереженню екологічно чистих сільських територій. В напрямку екологізації аграрних систем важливу роль відіграє також контурно-меліоративна система ведення землеробства, яка враховує закономірності рельєфу, ареали поширення дикорослих рослин, кліматичні та ґрунтові умови. Природна збалансованість при веденні біоорганічного господарювання знижує розповсюдження шкідників і хвороб, зменшує негативний вплив природних факторів деградації ґрунтів. Дотримання принципів в комплексі зі сівозмінами здатне мінімізувати можливе зниження родючості ґрунтів навіть в умовах інтенсифікації землеробства та стабілізувати агроекосистеми. Пріоритети в роботі аграрних формувань по покращенню врожайності повинні ставитися перш за все на збільшення використання органічних елементів при удобренні сільськогосподарських культур, які формують саме першу компоненту. В результаті аграрні товаровиробники зможуть досягнути значно кращих показників урожайності сільськогосподарських культур за умови зменшення антропогенного навантаження на навколишнє середовище. Це сприятиме екологізації аграрного виробництва та створенню можливостей для розвитку екобезпечних напрямків господарювання.

Отже, як це не парадоксально, в найближчий час людство очікує дилема або частково повертатись до натурального господарства,

наукове обґрунтування чого здійснив ще 100 років тому і яке можливо здійснити у межах агроєкосистем, або продовжувати розширювати експансію на природні екосистеми планети.

## АНОТАЦІЯ

Важливу роль на шляху екологізації сільськогосподарської галузі мають відігравати системи екологічного землеробства, які базуються на використанні суто органічних добрив, методах нехімічного контролю за поширенням бур'янів, шкідників, хвороб, зберіганні продуктів харчування і кормів без синтетичних добавок; спираються на передові технології, гарантувати високу якість продуктів харчування, економно та ефективно використовувати ресурси землі, підтримувати природний баланс в аграрному землекористуванні. Мета дослідження полягає у теоретичному обґрунтуванні та розробці практичних рекомендацій, що спрямовані на удосконалення формування системи екобезпечного сільськогосподарського землекористування. Підхід до оцінки екологічної ефективності виробництва екобезпечної аграрної продукції, що, на відміну від існуючих, передбачає урахування соціальних, екологічних та відновлюваних ефектів, які утворюються в різних сферах аграрного виробництва та суспільного життя і визначення доцільності впровадження екобезпечного землекористування.

## Література

1. Запрудне Ю. К. *Сільське господарство: біодинамічна альтернатива*. Проблеми екології та сталого розвитку. 1996. С. 125–137.
2. Гармашов В. В., Фомічова О. В. До питання органічного сільськогосподарського виробництва в Україні. *Вісник аграрної науки*. 2010. № 7. С. 11–16.
3. Журавель С. В., Матвійчук Б. В., Матвійчук Н. Г. Особливості органічного землеробства на Поліссі. URL: [http://zemlerobstvo.com/wpcontent/uploads/v.z.1-2.2011\\_2.pdf](http://zemlerobstvo.com/wpcontent/uploads/v.z.1-2.2011_2.pdf)
4. Артиш В. І. Управлінські аспекти розвитку виробництва екологічно чистої продукції в сільському господарстві України. *Науковий вісник Національного аграрного університету*. 2006. № 102. С. 242–247.
5. FAQ – ORGANIC UA. URL: <http://organic.ua/uk/organicworld/faq>
6. Карасюк І. М., Геркіял О. М., Господаренко Г. М., Коларьков Ю. В. *Агрохімія*. Навчальний посібник. Київ : Вища школа., 1995. 472 с.

7. Ласло О. О. Органічне землеробство – шлях до екологічно безпечної продукції. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2009. № 1. С. 137–139.

8. Патики В. П., Тихонович І. А., Філіп'єв І. Д. та ін. Мікроорганізми і альтернативне землеробство. К., Урожай, 1993. 176 с.

9. Созінов О. О., Козлов М. В., Сердюк А. Г. та ін. Сучасні деградаційні процеси, еколого-агрономічний стан та оцінка придатності сільськогосподарських земель для створення екологічно чистих сировинних зон і господарств. *Агроекологія і біотехнологія* : зб. наук. пр. Вип. 2. К., 1998. С. 54–65.

10. Тибурський Ю., Підліснюк В., Солтисьяк У. та ін. Екологічне сільське господарство: кроки назустріч. Крок перший: екологічне землеробство : посібник / За ред. В. Підліснюк. К. : Видавництво Національного аграрного університету, 2006. 80 с.

11. Павлів А. В. Паспортизація сільськогосподарських підприємств Тернопільської області Бережанського району ТЗОВ «Жива земля Потутори» та ТОВ «Крона». *Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С. З. Гжицького*. Том 18. № 1(65). Частина 3. 2016. С. 214–217. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/235837163.pdf>

12. Павлів А. В., Павлів О. В. Агроекологічна оцінка земель сільськогосподарських підприємств Тернопільської області Бережанського району ТЗОВ «Жива Земля Потутори» та ТОВ «Крона». *Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С. З. Гжицького*, 2017, т 19, № 74. С. 196–201. doi:10.15421/nvlvet7443. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/235836748.pdf>

13. Гололобова О. О., Василюк Я. С. Агроекологічне обґрунтування поводження з органічними відходами при виробництві гуматів. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. Вип. 30, 2018. С. 131–136. URL: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2018-30-11>

14. Гловин Н. М., Павлів О. В. Investigation of Causes and Influences of Soil Acidity on Crop Yields in Kozova District, Ternopil Region. *Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С. З. Гжицького. Серія: Сільськогосподарські науки*, 2019, т. 21, No 91, ст. 16–20. ISSN 2519–2698 print. URL: <https://nvlvet.com.ua/index.php/agriculture>, doi: 10.32718/nvlvet-a9103

15. Hlovyn, N. M., & Pavliv, O. V. Ecological and agrochemical assessment of soil suitability of agricultural enterprise for organic products cultivation. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, (1), 203–209. doi: 10.31210/visnyk2021.01.25



**Information about the authors:**

**Hlovyn Nadiya Myronivna,**

Candidate of Pedagogic Sciences,  
Associate Professor of the Ecology Department  
Separated Subdivision of National University of Life and Environmental  
Sciences of Ukraine "Berezhany Agrotechnical Institute"  
20, Akademichna Str., Berezhany, Ternopil region, 47500, Ukraine

**Pavliv Oleh Volodymyrovych,**

Candidate of Veterinary Sciences,  
Associate Professor of the Ecology Department  
Separated Subdivision of National University of Life and Environmental  
Sciences of Ukraine "Berezhany Agrotechnical Institute"  
20, Akademichna Str., Berezhany, Ternopil region, 47500, Ukraine

**RELATIONSHIPS BETWEEN PROOXIDANT  
AND ANTIOXIDANT PARAMETERS OF BACTERIA  
OF SULFUR CYCLE UNDER THE INFLUENCE  
OF HEAVY METAL COMPOUNDS**

**Hnatush S. O., Maslovska O. D., Komplikevych S. Ya.,  
Segin T. B., Diakiv S. V.**

**INTRODUCTION**

Man-made environments are characterized by a complex of unfavorable factors for living organisms. Such areas often contain high concentrations of heavy metal compounds, chlorides, nitrates, toxic organic compounds, hydrogen sulfide, sulfates etc. Considering the extreme conditions of existence, we can assume that in the cells of microorganisms that inhabit these environments, there are effective mechanisms for adaptation to adverse conditions. Bacteria isolated from man-made environments are resistant to environmental factors and are often characterized by valuable biotechnological properties.

Isolated from Yavorivske lake (Lviv region, Ukraine), that was created in result of flooding of the sulfur quarry, green photosynthetic bacteria *Chlorobium limicola* IMV K-8 use hydrogen sulfide formed in the process of sulfur reduction by sulfate- and sulfur-reducing bacteria as an electron donor in the process of anoxygenic photosynthesis, thus providing purification of environment from this toxic compound. These bacteria produce glycogen and form electric current during growth in different wastewaters, so they can be considered as promising objects of ecobiotechnology<sup>1</sup>. Bacteria *Desulfuromonas acetoxidans* IMV B-7384, that were also isolated from this lake<sup>2</sup>, are able to oxidize organic compounds in the tricarboxylic acid cycle with simultaneous reduction of

---

<sup>1</sup> Segin T., Hnatush S., Maslovska O., Komplikevych S. Synthesis of glycogen by *Chlorobium limicola* IMV K-8 during growth in wastewater. *Visnyk of Lviv University. Biological series.* 2020. Vol. 83. P. 67–73.

<sup>2</sup> Гудзь С. П., Гнатуш С. О., Мороз О. М., Перетятко Т. Б., Василів О. М. Свідोцтво про депонування штаму бактерій *Desulfuromonas acetoxidans* Ya-2006 у Депозитарії Інституту мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України з наданням реєстраційного номеру ІМВ В-7384 від 10 квітня 2013 року.

extracellular electron acceptors, in particular Fe (III) ions<sup>3</sup>. The isolated strain is resistant to heavy metal compounds (in particular, iron, copper, cobalt, nickel) in concentrations exceeding the maximum permeable concentration and able to oxidize organic compounds (acetate, propionate, long chain fatty acids, etc.) with simultaneous reduction of sulfur<sup>4</sup>. These microorganisms are characterized by exoelectrogenic properties during growth on infiltrates of the solid waste landfill and wastewater of an alcohol or yeast plant and are able to remediation of these substrates from organic pollution<sup>5</sup>. Sulfur-reducing bacteria *D. acetoxidans* together with green photosynthetic bacteria *C. limicola* play an important role in the sulfur cycle, as they are involved in the reduction and oxidation link of this cycle<sup>6,7</sup>. The combination of different types of metabolism, in particular phototrophic and chemotrophic, using photosynthetic bacteria *C. limicola* and heterotrophic exoelectrogens *D. acetoxidans* is a new approach of optimization of the process of exoelectrogenesis<sup>8,9</sup>.

Pollution of the environment with heavy metal compounds has reached a significant scale. Copper and iron compounds are one of the most

---

<sup>3</sup> Мороз О., Яворська Г., Муравель Н., Клим І. Відновлення феруму (III) сульфатвідновлювальними та сірковідновлювальними бактеріями. Біологічні Студії / Studia Biologica. 2012. Т. 6. № 2. С. 161–172.

<sup>4</sup> Чайка О. М., Перетятко Т. Б., Гудзь С. П. Сірковідновлювальні бактерії водойм Язівського сіркового родовища. Науковий вісник Ужгородського університету Серія Біологія. 2010. Вип. 28. С. 52–55.

<sup>5</sup> Hnatysh S. O., Maslovska O. D., Segin T. B., Vasylyv O. M., Kovalchuk M. M., Malovanyu M. S. Waste water treatment by exoelectrogenic bacteria, which were isolated from technogenically transformed territories. Ecological Questions. 2020. Vol. 31, № 1. P. 35–44. <http://doi.org/10.12775/EQ.2020.005>

<sup>6</sup> Madigan M. T. The *Chlorobiaceae*, *Chloroflexaceae*, and *Heliobacteriaceae*. *Modern Topics in the Phototrophic Prokaryotes* / M. T. Madigan, N.A.V. Schaaf, W. M. Sattley; (eds) Hallenbeck P. Cham.: Springer, 2017. P. 139–161. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-46261-5\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-46261-5_4)

<sup>7</sup> Мороз О., Гуль Н., Галушка А., Звір Г., Борсукевич Б. Використання різних акцепторів електронів бактеріями *Desulfuromonas sp.*, виділеними з озера Яворівське. Вісн. Львів. ун-ту. Сер.біол. 2014. Вип. 65. С. 322–334.

<sup>8</sup> Badalamenti J. P., Torres C. I., Krajmalnik-Brown R. Coupling dark metabolism to electricity generation using photosynthetic cocultures. Biotechnology and Bioengineering. 2013. Vol. 9999. P. 1–9. <http://doi.org/10.1002/bit.25011>

<sup>9</sup> Hnatysh S. O., Maslovska O. D., Segin T. B., Vasylyv O. M., Kovalchuk M. M., Malovanyu M. S. Waste water treatment by exoelectrogenic bacteria, which were isolated from technogenically transformed territories. Ecological Questions. 2020. Vol. 31, № 1. P. 35–44. <http://doi.org/10.12775/EQ.2020.005>

common pollutants<sup>10,11</sup>. Numerous studies have been conducted on the effects of heavy metal compounds on the cells of microorganisms and protection strategies under these conditions. It was found that the main strategies for counteracting the cells of microorganisms under the influence of heavy metal compounds are extracellular sequestration of metal ions, biotransformation into insoluble or less toxic metal compounds, intense efflux, synthesis of metallothioneins, exopolysaccharides etc.<sup>12</sup>. One of the main causes of cell damage and death due to ROS is lipid peroxidation and oxidative modification of proteins<sup>13</sup>. Antioxidant defense systems function to counteract the effects of ROS in anaerobic microorganisms<sup>14</sup>. Cell membranes are one of the main targets of heavy metal ions, so the adaptive mechanisms to the influence of their compounds are to maintain the appropriate level of membrane fluidity. Changes in the fatty acid composition of membrane lipids are the most important reactions of the cell under oxidative stress<sup>15</sup>.

The mechanisms of damage to cellular structures and the adaptation response of the typical member of the family *Chlorobiaceae* – *C. limicola* and sulfur-reducing exoelectrogens *D. acetoxidans* under the influence of these heavy metals ions have not been established. The authors have been working on this issue for many years. Multiple complementary models of the influence of chemical pollutants on the physiological and biochemical properties of microorganisms and prediction of their adaptive potential to stressors will be valuable not only to cope with pollution through new ecobiotechnologies, but also to scientifically substantiate conservation and

---

<sup>10</sup> Briffa J., Sinagra E., Blundell R. Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Heliyon*. 2020. Vol. 6. Iss. 9. P. e04691. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691>

<sup>11</sup> Gadd G. M. Metals, minerals and microbes: geomicrobiology and bioremediation. *Microbiology*. 2010. Vol. 156. P. 609–643. <https://doi.org/10.1099/mic.0.037143-0>

<sup>12</sup> Mathivanan K., Chandirika J.U., Vinothkanna A., Yin H., Liu X., Meng D. Bacterial adaptive strategies to cope with metal toxicity in the contaminated environment. A review. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2021. Vol. 226. P. 112863. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112863>

<sup>13</sup> Ezraty B., Gennaris A., Barras F., Collet J. Oxidative stress, protein damage and repair in bacteria. *Nat. Rev. Microbiol.* 2017. Vol. 15, № 7. P. 385–396. <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2017.26>

<sup>14</sup> Скороход І., Курдиш І. Низькомолекулярні антиоксиданти мікроорганізмів. *Мікробіологічний журнал*. 2014. Вип. 76. С. 48–59. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/MicroBiol\\_2014\\_76\\_3\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/MicroBiol_2014_76_3_10)

<sup>15</sup> Baysse C. Role of membrane structure during stress signaling and adaptation in *Pseudomonas*. *Pseudomonas: book* / C. Baysse, F. O’Gara. Springer, 2007. P. 193–224. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6097-7\\_7](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6097-7_7)

sustainable use of natural resources. Factor analysis allows to establish the relationship between the processes of free radical damage of lipids and proteins, the accumulation of biomass of bacteria of the sulfur cycle and the concentration of heavy metal compounds in the medium. The analysis of the main factors allows to determine the structure of the data and to establish the relationship between prooxidant-antioxidant parameters of the studied bacteria. Its main objectives are to reduce the number of variables (data reduction) and to determine the structural relationships between them (classification of variables)<sup>16</sup>.

The aim of our work was to establish the relationship between the processes of free radical damage to lipids and proteins, indicators of antioxidant defense, fatty acid content, accumulation of biomass of bacteria *Chlorobium limicola* IMV K-8 and *Desulfuromonas acetoxidans* IMV B-7384 and concentration of copper (II) sulfate and ferric citrate in the medium.

### **1. Physiological and biochemical properties of *Desulfuromonas acetoxidans* IMV B-7384 under the influence of ferric citrate**

Iron is necessary for the functioning of many heme-containing proteins, including cytochromes, which are involved in photosynthesis and electron transfer in the respiratory chain. However, Fe<sup>2+</sup> ions are potentially toxic agents that cause free radical damage to cell macromolecules<sup>17</sup>. In our previous work, it was found that the addition of ferric citrate into the culture medium intensifies the processes of lipid peroxidation and oxidative modification of proteins (OMP) in *D. acetoxidans* IMV B-7384 cells, which indicates free radical damage to cellular macromolecules (table 1)<sup>18,19</sup>. Probably, due to the intensification of lipid and protein damage processes, the fluidity of the cytoplasmic

---

<sup>16</sup> I.Marley W. W. Determining parallel analysis criteria. Journal of modern applied statistical methods. 2006. Vol. 5, № 2. P. 344–346. <https://doi.org/10.22237/jmasm/1162354020>

<sup>17</sup> Bradley J. M., Svistunenko D. A., Wilson M. T., Hemmings A. M., Moore G. R., Le Brun N. E. Bacterial iron detoxification at the molecular level. J. Biol. Chem. 2020. Vol. 295. Iss. 51. P. 17602–17623. <https://doi.org/10.1074/jbc.REV120.007746>

<sup>18</sup> Масловська О., Гнатуш С. Інтенсивність процесів перекисного окиснення ліпідів і показники системи антиоксидантного захисту клітин *Desulfuromonas acetoxidans* IMV B-7384 за впливу ферум (III) цитрату. Вісник Львівського університету. Серія біологічна. 2014. Вип. 64. С. 270–278.

<sup>19</sup> Maslovska O., Hnatysh S. Oxidative modification of proteins and specific superoxide dismutase activity of *Desulfuromonas acetoxidans* IMV B-7384 under the influence of ferric (III) citrate. Мікробіологія і біотехнологія. 2015. Т. 30, № 2. С. 34–40. [https://doi.org/10.18524/2307-4663.2015.2\(30\).48072](https://doi.org/10.18524/2307-4663.2015.2(30).48072)

membrane changes, resulting in changes in ATP-hydrolases of *D. acetoxidans* IMV B-7384 cells<sup>20,21</sup>.

Table 1

**Biochemical indicators of *Desulfuromonas acetoxidans* IMV B-7384 under the influence of ferric citrate**

Indicators	Concentration of ferric citrate, mM					
	0	10	12	14	16	20
1	2	3	4	5	6	7
Biomass, g/l	1.5±0.02	1.3±0.02	1.2±0.02	1.1±0.05	1.0±0.05	0.5±0.02
Carbonyl groups, nmol/mg protein	7.5±0.2	13±0.5	8.5±0.5	9.0±0.5	9.0±0.5	9.0±0.5
Diene conjugates, μmol/mg protein	1.9±0.2	5.1±0.3	4.7±0.3	3.6±0.4	4.0±0.4	3.3±0.4
Lipid hydroperoxides, cond. units/g protein	20.0±1.5	96.0±3.0	115.0±3.0	98±3	63±3	130±5
TBARS, nmol/mg protein	26±2	143±3	125±3	110±5	75±4	80±4
ATP-hydrolase activity, units of activity/mg protein	2.4±0.1	3.5±0.1	3.3±0.1	1.3±0.1	1.5±0.1	2.4±0.2
Mg <sup>2+</sup> -hydrolase activity, units of activity/mg protein	1.7±0.1	2.1±0.1	1.7±0.1	1.4±0.1	1.3±0.1	1.3±0.1
Azide sensitive ATP-hydrolase activity, units of activity/mg protein	1.4±0.1	2.0±0.1	0.6±0.1	0.7±0.03	0.7±0.03	0.7±0.03
SOD, units of activity/min·mg protein	120.0±5.0	630.0±5.0	550.0±5.0	810.0±10.0	820.0±15.0	800.0±15.0
Catalase, units of activity/mg protein	1.0±0.05	2.4±0.20	2.5±0.20	2.7±0.30	3.0±0.30	4.3±0.40

<sup>20</sup> Маслоvsька О., Гнатуш С., Галушка А. Зміни жирнокислотного складу клітин *Desulfuromonas acetoxidans* ІМВ В-7384 за впливу ферум цитрату. Біологічні Студії / Studia Biologica. 2014. Т. 8, № 3–4. С. 87–98.

<sup>21</sup> Маслоvsька О., Гнатуш С. Вплив ферум (III) цитрату на АТФ-гідролази *Desulfuromonas acetoxidans* ІМВ В-7384. Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія. 2013. Т. 21, № 1. С. 3–8.

Continuation table 1

1	2	3	4	5	6	7
GSH, mmol/g cells	0.2±0.05	0.4±0.05	0.5±0.05	0.4±0.03	0.4±0.03	0.3±0.03
Glutathione reductase, units of activity/mg protein	4.6±0.2	7.5±0.3	7.5±0.3	9.1±0.5	10.0±1.2	8.0±1.1
Glutathione peroxidase, units of activity/mg protein	7.0±1	27.0±2,0	35.0±2.0	37.0±2.0	48.0±2.0	46.0±2.0
Glutathione-S-transferase, units of activity/mg protein	4.0±0.5	25.0±2.0	22.0±2.0	17.0±1.5	22.0±1.5	54.0±3.0

*Note: TBARS – thiobarbiturate reactive species, SOD – superoxide dismutase, GSH – reduced glutathione*

It was determined that in response of *D. acetoxidans* IMV B-7384 cells to the influence of ferric citrate the enzymatic link of the antioxidant defense system is involved: increase superoxide dismutase (SOD) and catalase activity, increase glutathione peroxidase, glutathione S-transferase, glutathione reductase activity and the content of reduced glutathione (GSH).

It was found that in response to the influence of ferric citrate in the membranes of *D. acetoxidans* IMV B-7384 the unsaturation of cellular lipids is reduced, the content of branched chain fatty acids and fatty acids with cyclopropane ring increased, which provides the reduction of probability of damage of lipids and maintains the appropriate level of fluidity (table 2)<sup>22</sup>. The activity of all studied components of the antioxidant defense system of *D. acetoxidans* IMV B-7384 cells varies depending on the concentration of metal salt in the medium and the duration of cultivation<sup>23</sup>.

<sup>22</sup> Масловська О., Гнатуш С., Галушка А. Зміни жирнокислотного складу клітин *Desulfoomonas acetoxidans* ІМВ В-7384 за впливу ферум цитрату. Біологічні Студії / Studia Biologica. 2014. Т. 8, № 3–4. С. 87–98.

<sup>23</sup> Maslovska O., Hnatush S., Katernyak S. The activity of enzymes of glutathione antioxidant system of *Desulfoomonas acetoxidans* IMV B-7384 under the influence of ferric (III) citrate. Вісник Львівського університету. Серія біологічна. 2015. Вип. 70. С. 213–220.

Table 2

**The content of fatty acids of *Desulfuromonas acetoxidans*  
IMV B-7384 under the influence of ferric citrate**

Fatty acids, % from the total area of the peaks	Concentration of ferric citrate, mM					
	0	10	12	14	16	20
12:0	0.05±0.001	0.25±0.05	0.3±0.01	0.3±0.05	0.5±0.05	0.45±0.05
14:0	2.45±0.2	4.7±0.3	4.4±0.3	4.5±0.5	4.6±0.5	5.4±0.5
16:0	30.7±0.4	33±3	31.5±3	32.5±2	30±2	31±2
18:0	0.6±0.01	1±0.1	1.3±0.1	1±0.1	1.5±0.1	1.1±0.1
20:0	0.3±0.01	0.1±0.05	0.05±0.001	0	0	0
13:0	0.01±0.005	0.1±0.05	0.2±0.05	0.23±0.05	0.25±0.05	0.07±0.05
15:0	2.5±0.5	1.6±0.2	2.2±0.2	1.7±0.1	2.4±0.2	2.3±0.2
17:0	1.7±0.2	1.2±0.1	1.6±0.2	1.2±0.1	1.15±0.1	1.55±0.1
16:1	19±1	12±0.5	12.4±0.5	12.8±0.8	11±0.8	7.5±0.5
18:2	0.03±0.005	0.05±0.001	0	0	0	0
18:1cys	0.13±0.02	0.3±0.05	0.55±0.05	0.45±0.05	0.8±0.05	0.6±0.05
18:1trans	29±2	30±2	26±2	27±1.5	28±1.5	23±1.5
17:0cy	12.5±0.5	14±0.8	13±0.8	12.7±0.8	11.5±0.8	17±0.9
19:0cy	0.3±0.05	2.2±0.3	2.1±0.3	2±0.1	1.9±0.1	6±0.5
i15:0	0.11±0.05	0.1±0.005	0.17±0.005	0.22±0.05	0.25±0.05	0.05±0.003
a15:0	0.16±0.05	0.08±0.005	0.15±0.005	0.13±0.05	0.18±0.05	0.9±0.05
i17:0	0.01±0.005	0.75±0.005	0.35±0.005	0.19±0.05	0.32±0.06	0.61±0.08

**Note:** 12:0 – dodecanoic acid; 14:0 – tetradecanoic acid; 16:0 – hexadecanoic acid; 18:0 – octadecanoic acid; 20:0 – eicosanoic acid; 13:0 – tridecanoic acid; 15:0 – pentadecanoic acid; 17:0 – heptadecanoic acid; 16:1 – cis-9-hexadecenoic acid; 18:2 – cis,cis-9, 12-octadecadienoic acid; 18:1 cis – cis-9-octadecenoic acid; 18:1 trans – trans-9-octadecenoic acid; 17:0cy – cis-9,10-methylenehexadecanoic acid; 19:0cy – cis-9,10-methyleneoctadecanoic acid; i15:0 – iso-12-methyltetradecanoic acid; a15:0 – anteiso-13-methyltetradecanoic acid; i17:0 – iso-15-methylhexadecanoic acid.

Probably, under the influence of ferric citrate due to free radical damage to cellular macromolecules, the balance between pro- and antioxidants is induced to be shifted towards prooxidants and oxidative stress. One of the adaptive reactions of *D. acetoxidans* IMV B-7384 to the action of free radicals is changes in fatty acid composition, which are aimed at reducing lipid unsaturation and maintaining the level of membrane fluidity.



## 2. Physiological and biochemical properties of *Chlorobium limicola* IMV K-8 under the influence of copper (II) sulfate

The toxicity of Cu<sup>2+</sup> ions is due to their participation in the reactions of formation of reactive oxygen species (ROS), which have a detrimental effect on the functioning of bacteria. To study the physiological and biochemical properties of *C. limicola* IMV K-8 under the influence of copper (II) sulfate, salt concentrations that cause inhibition of biomass accumulation by 10–70% were selected (table 3). The accumulation of copper ions in bacterial cells and on their surface has been studied<sup>24</sup>. It is established that due to the influence of copper ions, the processes of lipid peroxidation and OMP intensify<sup>25</sup>.

Table 3  
Indicators of free radical damage to proteins and activity of enzymes of the antioxidant defense system *Chlorobium limicola* IMV K-8 under the influence of copper (II) sulfate

Indicators	Concentration of copper (II) sulfate, mM					
	0	0.05	0.1	0.125	0.25	0.5
1	2	3	4	5	6	7
Biomass, g/l	10.6±0.4	10.0±0.4	9.5±0.4	8.2±0.3	3.9±0.2	3.3±0.2
Carbonyl groups, nmol/mg protein	0.3±0.02	0.2±0.02	0.3±0.03	0.2±0.02	0.2±0.02	0.1±0.01
Diene conjugates, μmol/mg protein	0.3±0.03	0.4±0.03	0.4±0.03	0.5±0.03	0.4±0.03	0.2±0.02
Lipid hydroperoxides, cond. units/g protein	136.5±5	149.6±6	154.4±6	166.4±6	253±11	189±7
TBARS, nmol/mg protein	196.3±8	233±13	286±14	421±20	392±18	367±17
Peroxidase, units of activity/min·mg protein	11.3±0.5	13.1±0.7	13.7±0.7	12.0±0.6	10.5±0.4	8.8±0.3

<sup>24</sup> Segin T., Hnatush S., Maslovska O., Halushka A., Zaritska Y. Biochemical indicators of green photosynthetic bacteria *Chlorobium limicola* response to Cu<sup>2+</sup> action. The Ukr. Biochem. J. 2020. Vol. 92, № 1. P. 103–112. <http://doi.org/10.15407/ubj92.01.103>

<sup>25</sup> Сегін Т., Гнатуш С., Горішний М. Процеси ліпопероксидації у клітинах *Chlorobium limicola* ІМВ К-8 за впливу Cu (II) сульфату. Вісн. Дніпропетр. ун-ту. Біол. Екол. 2016. Вип. 24, № 1. С. 72–78. <http://doi.org/10.15421/011608>

Continuation table 3

1	2	3	4	5	6	7
SOD, units of activity/min·mg protein	36.5±4	79.7±6	69.2±5	64.9±4.8	42.1±4.2	41.3±4
Glutathione peroxidase, units of activity/mg protein	36.5±4	50.6±5	115.9±8	134±11	170±13	203±14
Glutathione-S-transferase, units of activity/mg protein	36.8±4	38.5±4	59±5.5	69.9±5.7	70.3±5.8	50.3±5
Cu <sup>2+</sup> content in buffer solution, mM	0	0.001±±0.0001	0.002±±0.0001	0.004±0.±0001	0.003±±0.0001	0.005±±0.0001
Cu <sup>2+</sup> content in cells, mM	0	153,2±6	223±10	225±10	331±12	569±17

Under the influence of copper (II) sulfate in the cells of bacteria *C. limicola* IMV K-8 increases the content of diene conjugates, lipid hydroperoxides and TBARS with increasing concentration of metal salts in the incubation medium. The content of carbonyl groups in bacterial proteins under the influence of copper ions decreased or did not differ significantly compared to the control, which is probably due to the formation of protein aggregates that make it impossible to determine these groups in the reaction with 2,4-dinitrophenylhydrazine. In response to the action of copper ions in the cells of the studied bacteria involved antioxidant enzymes, including SOD, peroxidase and components of the glutathione system – glutathione peroxidase and glutathione-S-transferase. Glutathione reductase activity in *C. limicola* IMV K-8 cells was not detected<sup>26</sup>.

Bacteria *C. limicola* IMV K-8 are able to carry out anoxygenic photosynthesis, which is an important physiological and biochemical process of photosynthetic bacteria. This process is carried out with the participation of photosynthetic pigments.

<sup>26</sup> Серін Т., Гнатуш С., Масловська О., Василів О. Активність ензимів глутатіонової антиоксидантної системи бактерій *Chlorobium limicola* ІМВ К-8 за впливу купрум (II) сульфату. Мікробіологія і біотехнологія. 2018. Вип. 1, № 41. С. 39–47. [http://doi.org/10.18524/2307-4663.2018.1\(41\).117284](http://doi.org/10.18524/2307-4663.2018.1(41).117284)

In the cells of green photosynthetic bacteria *C. limicola* bacteriochlorophylls *c* and *d*, small amounts of bacteriochlorophyll *a*, and some carotenoids, namely chlorobactin, isorenieratin, and others, are involved in photosynthesis<sup>27,28</sup>. Bacteriochlorophylls *a*, *c*, *d* and chlorobactin (table 4), which are the main pigments, were found in cell-free extracts of *C. limicola* IMV K-8. Under the influence of Cu<sup>2+</sup> ions, the content of all photosynthetic pigments underwent significant changes. Under the influence of all studied concentrations of copper (II) sulfate, except for 0.05 mM, the content of photosynthetic pigments decreased compared to the control. Under the influence of 0.05 mM copper (II) sulfate the content of bacteriochlorophyll *a*, *c* and chlorobactin increased by 2–2.5 times, the content of lycopene – by 5.5–6 times, compared with the control. The significant increase of content of lycopene is due to the fact that this pigment is a precursor of chlorobactin biosynthesis in green photosynthetic bacteria<sup>29</sup>.

Table 4

**The content of pigments in cell-free extracts of *Chlorobium limicola* IMV K-8 under the influence of copper (II) sulfate**

Pigments	Pigments, %				
	Concentration of copper (II) sulfate, mM				
	0	0.05	0.1	0.25	0.5
Bacteriochlorophyll <i>a</i>	100	226.1±11.3*	18.4±0.9*	2.7±0.1*	10.6±0.5*
Bacteriochlorophyll <i>c</i>	100	240.6±12.0*	50.4±2.5*	4.4±0.2*	10.7±0.5*
Bacteriochlorophyll <i>d</i>	100	42.3±2.1*	18.2±0.9*	11.4±0.6*	37.0±1.9*
Chlorobactin	100	240.6±12.0*	50.4±2.5*	4.4±0.2*	10.7±0.5*
Lycopene	100	596±29.8*	26.1±1.3*	0	0

*Note:* \* –  $p \geq 0,95$ ,  $n = 3$  – probable changes compared to control

The relationship between reduced and oxidized glutathione is a major determinant of oxidative stress. The content of reduced (GSH) and

<sup>27</sup> Кушкевич І. В., Гнатуш С. О. Пігменти фотосинтезувальних зелених сіркобактерій *Chlorobium limicola* Ya-2002 за впливу солей важких металів. Мікробіологія і біотехнологія. 2010. Вип. 3. С. 61–70.

<sup>28</sup> Thiel V., Tank V., Bryant D. Diversity of chlorophototrophic bacteria revealed in the Omics Era. Annu. Rev. Plant Biol. 2018. Vol. 69, № 16. P. 1–29. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042817-040500>

<sup>29</sup> Maresca J., Romberger S., Bryant D. Isorenieratene biosynthesis in green sulfur bacteria requires the cooperative actions of two carotenoid cyclases. J. Bacteriol. 2008. Vol. 190, № 19. P. 6384–6391. <https://doi.org/10.1128/JB.00758-08>

oxidized (GSSG) glutathione in cell-free extracts of *C. limicola* IMV K-8 under the influence of different concentrations of copper (II) sulfate was studied (table 5). With increasing concentration of Cu<sup>2+</sup> ions in the incubation medium, a moderate increase in the content of both reduced and oxidized glutathione was observed, which indicates the participation of this antioxidant in the protection of cells under the influence of copper (II) sulfate. The highest content of reduced and oxidized glutathione was found under the influence of 0.25 mM and 0.5 mM copper (II) sulfate, respectively, compared to the control.

Table 5

**The content of reduced (GSH) and oxidized (GSSG) glutathione in cell-free extracts of *Chlorobium limicola* IMV K-8 under the influence of copper (II) sulfate**

Concentration of copper (II) sulfate, mM	Content of glutathione, µg/mg of cells	
	GSH	GSSG
0	0.5±0.03	0.47±0.02
0.05	0.72±0.04	0.63±0.03
0.1	0.75±0.04	1.32±0.07*
0.125	1.27±0.06*	1.88±0.09*
0.25	1.89±0.09*	2.35±0.12*
0.5	1.31±0.07*	9.6±0.49*

*Note:* \* –  $p \geq 0.95$ ,  $n = 3$  – probable changes compared to control

Cell membranes are one of the main targets of heavy metal ions, so the mechanisms of adaptation to the influence of its components are to maintain an appropriate level of membrane fluidity. Changes in the fatty acid composition of membrane lipids are the most important reactions of the cell during oxidative stress<sup>30</sup>.

A probable way of adaptation of *C. limicola* IMV K-8 cells to the influence of copper ions is to change the fatty acid composition of lipids, which increases the fluidity of the membrane and probably necessary for more efficient efflux of metal ions from bacterial cells<sup>31</sup>. Under the

<sup>30</sup> Baysse C. Role of membrane structure during stress signaling and adaptation in *Pseudomonas*. *Pseudomonas: book* / C. Baysse, F. O’Gara. Springer, 2007. P. 193–224. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6097-7\\_7](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6097-7_7)

<sup>31</sup> Segin T., Hnatush S., Maslovska O., Vasylyv O. Changes of fatty acid composition of *Chlorobium limicola* IMV K-8 cells under the influence of copper (II) sulfate. *Mikrobiol. Z.* 2018. Vol. 80, № 3. P. 40–52. <https://doi.org/10.15407/microbiolj80.03.040>

influence of copper (II) sulfate, an increase in the content of octadecanoic, pentadecanoic, heptadecanoic, hexadecanoic, cis-9-hexadecane, trans-9-octadecenoic, cis-9,10-methylenehexadecanoic and i15:0 – iso-12-methyl tetradecanoic acid. Under these conditions, the content of tetradecanoic and cis-9-octadecenoic acids decreases (table 6).

Table 6

**The fatty acid content of *Chlorobium limicola* IMV K-8 under the influence of copper (II) sulfate**

Fatty acids, % from the total area of the peaks	Concentration of copper (II) sulfate, mM					
	0	0.05	0.1	0.125	0.25	0.5
12:0	0.18±0.01	0.21±0.01	0.19±0.01	0.12±0.01	0.18±0.01	0
14:0	29.53±0.7	24.82±0.7	21.77±0.7	36.19±0.8	23.79±0.7	36.62±1.2
16:0	11.15±1.4	15.77±1.5	18.78±1.5	20.67±1.6	22.54±1.6	14.31±1.5
18:0	1.78±0.3	3.69±0.9	4.34±1.1	1.27±0.3	1.51±0.3	2.09±0.3
15:0	0.94±0.05	1.18±0.06	1.12±0.06	1.11±0.06	2.65±0.7	1.26±0.06
17:0	0.69±0.04	1.85±0.07	1.34±0.06	0.82±0.05	0.89±0.05	0.83±0.05
16:1	23.55±1.7	29.34±1.5	27.64±1.5	28.64±1.5	36.32±1.8	30.72±1.7
18:1cys	0.65±0.04	0.64±0.04	0.37±0.03	0.26±0.02	0.08±0.001	0.78±0.04
18:1trans	5.23±0.9	15.4±1.5	19.74±1.7	15.18±1.5	8.99±1.4	6.3±1.3
17:0cy	0.46±0.04	0.61±0.04	0.68±0.04	0.45±0.01	1.65±0.2	0.55±0.1
i15:0	0.72±0.04	1.51±0.06	0.82±0.05	0.59±0.03	0.2±0.01	1.01±0.1
a15:0	1.03±0.2	2.36±0.2	1.74±0.2	0.68±0.2	0.55±0.1	1.31±0.2
i16:0	1.08±0.5	1.91±0.6	1.04±0.5	0.66±0.2	0.22±0.01	1.32±0.2
i17:0	0.31±0.03	0.62±0.04	0.29±0.02	0.22±0.02	0	0.38±0.1
14:0 2-OH	0.56±0.03	0	0	0.7±0.04	0.34±0.03	2.11±0.7

**Note:** 12:0 – dodecanoic acid; 14:0 – tetradecanoic acid; 16:0 – hexadecanoic acid; 18:0 – octadecanoic acid; 15:0 – pentadecanoic acid; 17:0 – heptadecanoic acid; 16:1 – cis-9-hexadecenoic acid; 18:1 cis – cis-9-octadecenoic acid; 18:1 trans – trans-9-octadecenoic acid; 17:0cy – cis-9,10-methylenehexadecanoic acid; i15:0 – iso-12-methyltetradecanoic acid; a15:0 – anteiso-13-methyltetradecanoic acid; i16:0 – iso-14-methyl-pentadecane acid; i17:0 – iso-15-methylhexadecanoic acid; 14:0 2-OH – 2-hydroxytetradecanoic acid.

Our results suggest that one of the first reactions of adaptation of *C. limicola* IMV K-8 cells under the influence of copper ions is *cis/trans* isomerization of monounsaturated fatty acids, as well as the synthesis of fatty acids with cyclopropane ring. Maintaining the necessary level of fluidity of the membrane under these conditions provide fatty acids with a branched carbon chain.

Thus, under the influence of copper (II) sulfate in *C. limicola* IMV K-8 cells increases the content of compounds that are likely to be formed under the influence of free radical compounds, in particular, some products of lipid peroxidation and oxidized glutathione. These conditions also increase the activity of enzymes of the antioxidant defense system and changes in the content of fatty acids in lipids, which are likely to maintain the required level of membrane fluidity under these conditions.

### **3. Relationships between the processes of free radical damage to lipids and proteins, the accumulation of biomass of bacteria *Chlorobium limicola* IMV K-8 and the concentration of copper (II) sulfate in the environment**

Factor analysis was performed to establish the relationship between the processes of free radical damage to lipids and proteins, the accumulation of biomass of bacteria of the sulfur cycle and the concentration of heavy metal compounds in the environment.

In order to determine the structure of the data and to establish relationships between various microbiological and physicochemical parameters under the influence of copper ions we analyzed the main factors. The main objectives of this analysis are to reduce the number of variables and to determine the structural relationships between all studied indicators. Each latent factor is a linear combination of the original variables that are part of it. As a result of the factor analysis, the data were reduced, because in the obtained matrices 35 variables were combined into 6 factors, the eigenvalue of which according to the Kaiser and Cattell criteria was greater than 1 (table 7).

Table 7

#### **Eigenvalues of *Chlorobium limicola* IMV K-8 cells under the influence of different concentrations of copper ions**

Value	Eigenvalue	% Total variance	Cumulative Eigenvalue	Cumulative %
1	13.31	38.04	13.31	38.04
2	8.01	22.87	21.32	60.91
3	4.16	11.89	25.48	72.8
4	3.09	8.83	28.57	81.63
5	2.89	8.26	31.46	89.89
6	1.80	5.15	33.26	95.04

According to the analysis of the matrix of factor loadings of the studied parameters of *C. limicola* IMV K-8 cells, six latent factors explain 95% of

the total data variance (table 7). Such a high value of the total variance indicates the orderliness of the system and is due to the fact that it takes into account a large number of different parameters and factors that are likely to have a significant impact on the functionality of the system.

The first latent factor (table 8) included indicators of oxidative modification of proteins, activity of some enzymes, namely glutathione peroxidase and the content of oxidized glutathione, the content of some pigments (bchl *c*, chlorobactin), the content of copper ions, the content of some fatty acids (18:1cis, 18:1trans, 12:0, 14:0, 14:0 2-OH) and bacterial biomass. The variance of the factor is 26.9%, that show the high importance of these indicators in the system. A direct relationship has been established between the activity of enzymes of the antioxidant defense system and the concentration of copper ions in the medium. An inverse relationship has been established with the above indicators and biomass, which confirms that with increasing metal concentration, the accumulation of *C. limicola* IMB K-8 biomass decreases.

Table 8

**Matrix of factor loadings of the studied parameters of *Chlorobium limicola* IMB K-8 bacteria under the influence of different concentrations of copper ions**

Variable		Factor loadings					
		F1	F2	F3	F4	F5	F6
1		2	3	4	5	6	7
Lipid peroxidation indicators	Lipid hydroperoxydes	–	–	–	–0.85	–	–
	TBARS	–	–	–	–	–0.9	–
	Diene conjugates	–	–	–	–0.89	–	–
OMP	Carbonyl groups in proteins	–0.65	–	0.42	–	0.48	–
Activity of enzymes of antioxidant defense system	Glutathione transferase	–	–	–	–0.46	–0.56	–
	Glutathione peroxidase	0.68	–	–	–	–	–
	GSH	–	–	–	–	–0.77	0.59
	GSSH	0.99	–	–	–	–	–
	Superoxide dismutase	–	–	–	0.69	–0.54	–
	Peroxidase	–	–	–	–0.94	–	–
Pigments	bchl <i>a</i>	–	0.89	–	–	–	–
	bchl <i>c</i>	–0.45	0.87	–	–	–	–
	bchl <i>d</i>	–	–	0.66	–	0.56	0.45
	chlorobactin	–0.45	0.87	–	–	–	–
	lycp	–	0.94	–	–	–	–

Continuation table 8

		1	2	3	4	5	6	7
Cu <sup>2+</sup> concentration	in buffer before incubation	0.91	–	–	–	–	–	–
	in buffer after incubation	0.9	–	–	–	–	–	–
	in cells	0.91	–	–	–	–	–	–
	on cell surface	0.85	–0.45	–	–	–	–	–
Fatty acids	16:1cis	–	–	–0.91	–	–	–	–
	18:1cis	0.49	0.44	0.43	–	0.55	–	–
	18:1trans	–0.48	–	–	–	–0.65	–0.54	–
	15:0	–	–	–0.94	–	–	–	–
	17:0	–	0.7	–	–	–	–	–0.59
	12:0	–0.89	–	–	–	–	–	–
	14:0	0.63	–	0.45	–	–	–	0.58
	16:0	–	–	–0.62	–	–0.68	–	–
	18:0	–	–	–	–	–	–	–0.92
	i15:0	–	0.82	–	–	–	–	–0.42
	a15:0	–	0.66	–	–	–	–	–0.72
	i16:0	–	0.77	–	–	–	–	–0.41
	i 17:0	–	0.86	–	–	–	–	–
	17:0cy	–	–	–0.93	–	–	–	–
14:0 2-OH	0.95	–	–	–	–	–	–	
	Biomass	–0.75	–	0.58	–	–	–	–
	<i>Expl. Var</i>	9.43	7.49	5.18	3.21	4.40	3.55	
	<i>Prp. Totl, %, %</i>	26.9	21.4	14.8	9.2	12.6	10.1	

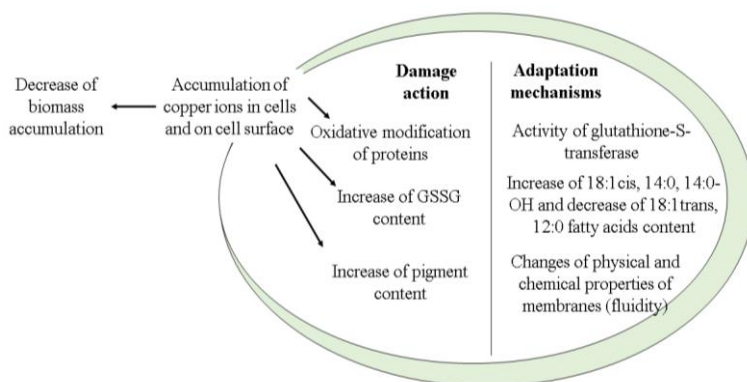
The second latent factor, with a variance of 21.4%, included bacteriochlorophyll *a*, bacteriochlorophyll *c*, chlorobactin, lycopene, and some fatty acids with direct links. The concentration of Cu<sup>2+</sup> on the cell surface, which is associated with both inverse variables, was also included in the second factor. The third latent factor included indicators of fatty acid content (16:1cis, 18:1cis, 15:0, 14:0, 16:0, 17:0cy), OMP, bacteriochlorophyll *d* content and biomass accumulation, which are directly related, except for certain fatty acids. The total variance of this factor is 14.8%.

The composition of the fourth latent factor, the variance of which is 9.2% included indicators of lipid peroxidation and glutathione transferase and peroxidase activity, which are directly related. This factor also included superoxide dismutase activity, which is inversible associated with the above variables.



The fifth latent factor (variance is 12.6%) included TBARS, OMP, activity of some enzymes, content of bacteriochlorophyll *d* and content of three fatty acids. Indicators of lipid peroxidation and enzymes, OMP and pigments are directly related. The sixth latent factor included the largest amount of fatty acids, compared with other factors, as well as the content of GSH and bacteriochlorophyll *d*. The total variance is 10.1%.

Based on the analysis of the main factors, it was found that the accumulation of copper ions on the surface and in *C. limicola* cells leads to a decrease in biomass, because the factor loadings of these variables belong to the first factor and are strongly inversely connected (fig. 1). Under the influence of copper ions a significant increase in the content of oxidized glutathione is characterized by a more important damaging effect, which indicates a violation of the redox potential in the cell, oxidative modification of proteins and changes in photosynthetic pigments. These variables belong to the first factor, and their factor loads are significant. With the increase of  $\text{Cu}^{2+}$  ions in the cells of the studied bacteria, the activity of enzymes of the antioxidant defense system also increases, which indicates that superoxide dismutase, glutathione peroxidase, etc. are involved in the protection of bacteria from the effects of ROS. The redox system of glutathione maintains the intracellular redox status of the cell and neutralizes ROS under oxidative stress. Important reactions of adaptation of the studied bacteria are the increase in glutathione peroxidase activity and changes in the fatty acid composition of lipids, which lead to increased membrane fluidity.



**Fig. 1. Hypothetical mechanism of action of copper (II) sulfate and adaptation reaction of *Chlorobium limicola* IMV K-8**

The structure of lipids is modified in response to the effect of ROS in bacterial cells, as indicated by changes in the fatty acid unsaturation index, the degree of cis-trans isomerization of double bonds, the ratio of branched/unbranched fatty acids. The chain lengths of the fatty acid residue of lipids also change. It is assumed that free radical processes that cause intensification of lipid peroxidation processes have less damaging effect on *C. limicola* IMV K-8 cells compared to oxidative modification of proteins, as the corresponding changes were included in factors four and five, the eigenvalue of which is much lower than own variance of the 1st factor. SOD and peroxidase activity are also likely to be less important adaptation reactions compared to glutathione peroxidase activity and changes in lipid fatty acid composition, as these variables were also included in factors four and five.

#### **4. Relationships between the processes of free radical damage to lipids and proteins, the accumulation of biomass of bacteria *Desulfuromonas acetoxidans* IMV B-7384 and the concentration of ferric citrate**

In order to determine the structure of the data and to establish relationships between physiological and biochemical parameters of *D. acetoxidans* IMV B-7384 under the influence of different concentrations of ferric citrate an analysis of the main factors was conducted. For factor analysis were used indicators of lipid peroxidation (content of diene conjugates, lipid hydroperoxides, TBARS)<sup>32</sup> and OMP<sup>33</sup>, activity of ATP-hydrolases<sup>34</sup>, activity of enzymes of the antioxidant defense system (SOD, catalase, glutathione peroxidase, glutathione-S-transferase, glutathione reductase activity)<sup>35</sup>, the content of reduced glutathione, fatty acids

---

<sup>32</sup> Масловська О., Гнатуш С. Інтенсивність процесів перекисного окиснення ліпідів і показники системи антиоксидантного захисту клітин *Desulfuromonas acetoxidans* ІМВ В-7384 за впливу ферум (ІІІ) цитрату. Вісник Львівського університету. Серія біологічна. 2014. Вип. 64. С. 270–278.

<sup>33</sup> Maslovska O., Hnatush S. Oxidative modification of proteins and specific superoxide dismutase activity of *Desulfuromonas acetoxidans* IMV B-7384 under the influence of ferric (III) citrate. Мікробіологія і біотехнологія. 2015. Т. 30, № 2. С. 34–40. [https://doi.org/10.18524/2307-4663.2015.2\(30\).48072](https://doi.org/10.18524/2307-4663.2015.2(30).48072)

<sup>34</sup> Масловська О., Гнатуш С. Вплив ферум (ІІІ) цитрату на АТФ-гідролази *Desulfuromonas acetoxidans* ІМВ В-7384. Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія. 2013. Т. 21, № 1. С. 3–8.

<sup>35</sup> Maslovska O., Hnatush S., Katernyak S. The activity of enzymes of glutathione antioxidant system of *Desulfuromonas acetoxidans* IMV B-7384 under the influence of ferric (III) citrate. Вісник Львівського університету. Серія біологічна. 2015. Вип. 70. С. 213–220.

composition<sup>36</sup> of *D. acetoxidans* IMV B-7384 under the influence of ferric citrate in concentrations that cause a decrease in biomass accumulation by 10–50%. As a result of the factor analysis, the data were reduced, because in the obtained matrices 33 variables were combined into 6 factors, the variance of which according to the Kaiser and Cattell criteria was greater 1.

According to the analysis of the matrix of factor loadings of the studied parameters of *D. acetoxidans* IMV B-7384 cells, six latent factors explain almost 88% of the total data variance (table 9). This value of the total variance indicates the orderliness of the system and is due to the fact that a sufficient number of different parameters and factors are taken into account, which are likely to have a significant impact on the functionality of the system. Other parameters, such as the accumulation of iron ions in cells or on the cell surface of microorganisms, may not have been taken into account and free radical DNA damage has not been studied. Factors that may also affect the functional status of *D. acetoxidans* IMV B-7384 cells under these conditions are damage to proteins and DNA by lipid peroxidation products, such as the formation of malonic dialdehyde complexes with DNA or proteins.

Table 9

**Eigenvalues of *Desulfuromonas acetoxidans* IMV B-7384 cell factors under the influence of different concentrations of iron ions**

Value	Eigenvalue	% Total variance	Cumulative Eigenvalue	Cumulative %
1	9.50	28.79	9.50	28.79
2	6.91	20.95	16.41	49.74
3	5.02	15.21	21.43	64.95
4	3.38	10.25	24.82	75.20
5	2.37	7.19	27.19	82.40
6	1.77	5.38	28.96	87.77

The first latent factor (table 10) included the content of Fe<sup>3+</sup> ions in the culture medium, the activity of some enzymes of the antioxidant defense system, in particular, glutathione-S-transferase, glutathione peroxidase, catalase and glutathione reductase activities, as well as the content of some fatty acids. The variance of the factor is 22.85%, which emphasizes the high importance of these indicators in the system. There is a direct

---

<sup>36</sup> Масловська О., Гнатуш С., Галушка А. Зміни жирнокислотного складу клітин *Desulfuromonas acetoxidans* IMB B-7384 за впливу ферум цитрату. Біологічні Студії / Studia Biologica. 2014. Т. 8, № 3–4. С. 87–98.

relationship between the activity of enzymes in the antioxidant defense system, the content of iron ions and fatty acids.

The second latent factor, the variance of which is 19.85 %, included all the studied indicators of lipid peroxidation, OMP processes and some enzymes of the antioxidant defense system, between which direct links have been established. Glutathione-S-transferase and catalase activities, which are associated with the above variables inverse relationships, were also included in the second factor.

Table 10

**Matrix of factor loadings of the studied indicators  
of *Desulfuromonas acetoxidans* IMV B-7384 under the influence  
of ferric citrate**

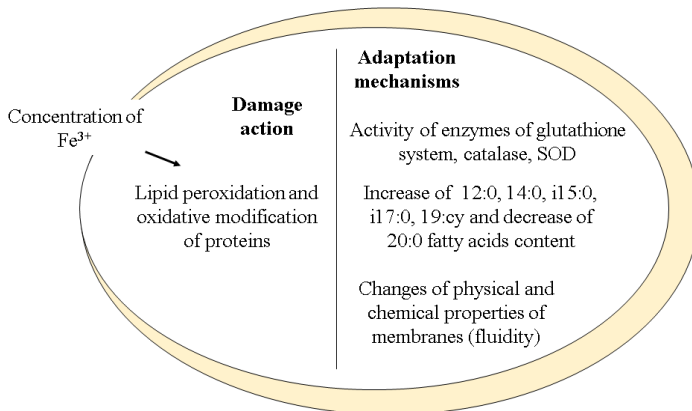
Variables		Factor loadings					
		F1	F2	F3	F4	F5	F6
1	2	3	4	5	6	7	8
	Concentration of Fe <sup>3+</sup>	0.765	–	–0.482	–	–	–
Lipid peroxidation indicators	Lipid hydroperoxides	–	0.898	–	–	–	–
	TBARS	–	0.886	–	–	–	–
	Diene conjugates	–	0.913	–	–	–	–
OMP	Carbonyl groups in proteins	–	0.830	–	–	–	–
ATP-hydrolase activity	ATP-hydrolase	–	–	–	–	–	–0.819
	Mg <sup>2+</sup> -ATP-hydrolase	–	–	–	–	–	–0.852
	Azide-sensitive ATP-hydrolase	–	–	–	–	–	–0.766
Activity of enzymes of antioxidant defense system	Glutathione transferase	0.540	–0.480	–0.601	–	–	–
	Glutathione peroxidase	0.889	–	–	–	–	–
	Glutathione reductase	0.645	0.622	–	–	–	–
	GSH	–	0.750	–	–	–	–
	Superoxide dismutase	–	0.603	–	–	–0.408	–0.451
	Catalase	0.677	–0.483	–0.470	–	–	–
Fatty acids	18:1cis	–	–	–	–	–0.596	–
	18:1trans	–	–	0.700	–	0.488	–
	18:2	–	–	–	–	0.596	–0.588
	15:0	–	–	–	0.919	–	–
	17:0	–	–	–	0.926	–	–
	12:0	0.849	–	–	–	–	–
	14:0	0.834	–	0.414	–	–	–

Continuation table 10

1	2	3	4	5	6	7	8
	16:0	–	–	–	–	0.908	–
	20:0	–0.701	–	–	0.469	–	–
	i15:0	0.431	–	0.802	–	–	–
	a15:0	–	–	0.709	0.568	–	–
	i17:0	0.481	–	–0.516	–	–	–0.448
	17:0cy	–	–	–0.831	–	–	–
	19:0cy	0.469	–	–0.854	–	–	–
	Biomass	–	–	0.809	–	–	–
	<i>Expl. Var</i>	7.54	6.549	5.441	2.904	2.804	3.725
	<i>Prp. Totl, %</i>	22.850	19.850	16.490	8.800	8.500	11.290

The third latent factor includes the accumulation of bacterial biomass and some enzymes of the antioxidant defense system, which are linked by inverse bonds. The total variance of this factor, which also includes the largest amount of fatty acids, is 16.49 %.

The composition of the fourth latent factor, the variance of which is 8.8%, included only the content of some fatty acids, which are interconnected by direct links. The fifth factor included SOD activity, which is associated with the content of fatty acids, that are also part of this factor, inversely related. The sixth latent factor (dispersion is 11.29 %) included ATP-hydrolase activity, some fatty acids and SOD activity. All indicators are directly related.



**Fig. 2. Hypothetical mechanism of action of ferric citrate and adaptation reaction of *Desulfuromonas acetoxidans* IMV B-7384**

Based on the analysis of the main factors, it was found that with increasing concentration of ferric citrate in the medium of bacteria *D. acetoxidans* IMV B-7384 cultivation and lipid peroxidation and OMP, and the duration of cultivation of microorganisms increases the activity of antioxidant enzymes, indicating that superoxide dismutase, catalase, components of the glutathione defense system, in particular, glutathione peroxidase, glutathione-S-transferase, glutathione reductase, etc. are involved in the protection of bacteria from the effects of ROS.

Under the influence of ferric citrate, an important damaging effect is characterized by a significant increase in the products of lipid peroxidation – lipid hydroperoxides, diene conjugates, TBARS and OMP. These variables belong to the second factor, and their factor loadings are significant. Important reactions of adaptation of the studied bacteria are the increase in glutathione-S-transferase activity and changes in the fatty acid composition of lipids, which lead to changes in the physicochemical properties of the membrane, in particular, increase its fluidity. The fluidity of the cytoplasmic membrane also changes under the influence of high concentrations of ferric citrate, which is reflected in the reduction of ATP-hydrolase activities. It is assumed that the activity of these enzymes is reduced due to the direct interaction of ATP-hydrolases with ROS or lipid peroxidation products, which can adversely affect both the synthesis of the enzyme and its activity.

## CONCLUSIONS

Factor analysis was used to establish the relationship between the processes of free radical damage to lipids and proteins, the accumulation of biomass of bacteria *C. limicola* IMV K-8 and *D. acetoxidans* IMV B-7384 and the concentration of heavy metal compounds in the environment, in particular,  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Fe}^{3+}$  ions, adaptation mechanisms of *C. limicola* cells IMV K-8 and *D. acetoxidans* IMV B-7384, respectively.

The results show that due to the accumulation of copper ions in the cells of *C. limicola* IMV K-8, protein molecules are significantly damaged, which affects the processes of cell metabolism. Significant accumulation of oxidized glutathione indicates a violation of the redox potential of the cell and, probably, the occurrence of oxidative or carbonyl stress. Under these conditions, the processes of pigment synthesis also change, which affects one of the main physiological and biochemical processes of *C. limicola* IMV K-8 – photosynthesis. Glutathione peroxidase is an important enzyme of the antioxidant defense system of *C. limicola* IMV K-8 under the influence of copper ions. Due to the

significant increase in glutathione peroxidase activity of *C. limicola* IMV K-8 under the influence of copper ions, lipid peroxidation processes show less damaging effect on *C. limicola* IMV K-8 cells, compared to the processes of oxidative modification of proteins

Glutathione peroxidase, glutathione-S-transferase, glutathione reductase, reduced glutathione, superoxide dismutase and catalase play important roles in providing antioxidant protection of *D. acetoxidans* IMV B-7384 cells under the influence of the iron ions, as these indicators are included to first and second factor. The synthesis of saturated fatty acids, branched carboxylic fatty acids and cyclopropane ring fatty acids are important adaptation reactions of *D. acetoxidans* IMV B-7384 under the influence of iron ions, as the relevant variables are also included in the first and second factors.

The obtained results are important for understanding the ways of regulation of bacterial metabolism under stressful conditions.

## SUMMARY

Deteriorating environment has a negative impact on the health and quality of life of Ukrainians. Of particular importance are the issues of analysis of the environmental situation, which are a necessary condition for timely detection and monitoring of environmental problems and identify ways to prevent and overcome them. Pollution of the environment with heavy metal compounds has reached a significant scale. Multiple complementary models of the impact of chemical pollutants on the physiological and biochemical properties of microorganisms and prediction of their adaptive potential to stressors will be valuable not only to solve pollution problems through new ecobiotechnologies, but also to scientifically substantiate conservation and sustainable use of natural resources. Factor analysis allows to establish the relationship between the processes of free radical damage of lipids and proteins, the accumulation of biomass of bacteria in the sulfur cycle and the concentration of heavy metal compounds in the environment. The analysis of the main factors allows to determine the structure of the data and to establish the relationship between prooxidant-antioxidant parameters of the studied bacteria. Factor analysis has shown that the oxidative modification of proteins induced by copper (II) sulfate, changes in the ratio of reduced and oxidized glutathione and the content of photosynthetic pigments are important factors affecting the viability of *C. limicola* IMV K-8 cells. The content of iron ions in the culture medium and the processes of free radical damage to lipids and proteins induced by them affect the functional state

of *D. acetoxidans* IMV B-7384 cells. Free radical processes that intensify lipid peroxidation have less detrimental effect on *C. limicola* IMV K-8 cells than oxidative modification of proteins because the variables of indicators of lipid peroxidation are included into the fourth and fifth factors. Increased glutathione S-transferase activity and changes in the fatty acid composition of membrane lipids, which are aimed at efficient pumping of metal ions from the cell, are more important for the adaptation of *C. limicola* IMV K-8 cells to  $\text{Cu}^{2+}$ , as the relevant variables included the first and second factors. Superoxide dismutase and peroxidase activities are less important for the adaptation of *C. limicola* IMV K-8, as these variables are included in the fourth and fifth factors.

### References

1. Segin T., Hnatush S., Maslovska O., Komplikevych S. Synthesis of glycogen by *Chlorobium limicola* IMV K-8 during growth in wastewater. Visnyk of Lviv University. Biological series. 2020. Vol. 83. P. 67–73.

2. Гудзь С. П., Гнатуш С. О., Мороз О. М., Перетятко Т. Б., Василів О. М. Свідоцтво про депонування штаму бактерій *Desulfuromonas acetoxidans* Ya-2006 у Депозитарії Інституту мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України з наданням реєстраційного номеру ІМВ В-7384 від 10 квітня 2013 року.

3. Чайка О. М., Перетятко Т. Б., Гудзь С. П. Сірковідновлювальні бактерії водойм Язівського сіркового родовища. Науковий вісник Ужгородського університету Серія Біологія. 2010. Вип. 28. С. 52–55.

4. Мороз О., Яворська Г., Муравель Н., Клим І. Відновлення феруму (III) сульфатвідновлювальними та сірковідновлювальними бактеріями. Біологічні Студії / Studia Biologica. 2012. Т. 6, № 2. С. 161–172.

5. Hnatush S. O., Maslovska O. D., Segin T. B., Vasylyv O. M., Kovalchuk M. M., Malovanyy M. S. Waste water treatment by exoelectrogenic bacteria, which were isolated from technogenically transformed territories. Ecological Questions. 2020. Vol. 31, № 1. P. 35–44. <http://doi.org/10.12775/EQ.2020.005>

6. Badalamenti J. P., Torres C. I., Krajmalnik-Brown R. Coupling dark metabolism to electricity generation using photosynthetic cocultures. Biotechnology and Bioengineering. 2013. Vol. 9999. P. 1–9. <http://doi.org/10.1002/bit.25011>

7. Madigan M. T. The *Chlorobiaceae*, *Chloroflexaceae*, and *Heliobacteriaceae*. *Modern Topics in the Phototrophic Prokaryotes* /



M. T. Madigan, N.A.V. Schaaf, W.M. Sattley; (eds) Hallenbeck P. Cham.: Springer, 2017. P. 139–161. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-46261-5\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-46261-5_4)

8. Мороз О. М., Гуль Н.П., Галушка А. А., Звір Г. І., Борсукевич Б. М. Використання різних акцепторів електронів бактеріями *Desulfuromonas sp.*, виділеними з озера Яворівське. Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол. 2014. Вип. 65. С. 322–334.

9. Gadd G. M. Metals, minerals and microbes: geomicrobiology and bioremediation. *Microbiology*. 2010. Vol. 156. P. 609–643. <https://doi.org/10.1099/mic.0.037143-0>

10. Briffa J., Sinagra E., Blundell R. Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Heliyon*. 2020. Vol. 6. Iss. 9. P. e04691. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691>

11. Mathivanan K., Chandirika J.U., Vinothkanna A., Yin H., Liu X., Meng D. Bacterial adaptive strategies to cope with metal toxicity in the contaminated environment – A review. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2021. Vol. 226. P. 112863. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112863>

12. Ezraty B., Gennaris A., Barras F., Collet J. Oxidative stress, protein damage and repair in bacteria. *Nat. Rev. Microbiol.* 2017. Vol. 15, № 7. P. 385–396. <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2017.26>

13. Скороход І., Курдиш І. Низькомолекулярні антиоксиданти мікроорганізмів. Мікробіологічний журнал. 2014. Вип. 76. С. 48–59. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/MicroBiol\\_2014\\_76\\_3\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/MicroBiol_2014_76_3_10)

14. Staerck C., Gastebois A., Vandeputte P., Calenda A., Larcher G., Gillmann L., Papon N., Bouchara J.-F., Fleury V. Microbial antioxidant defense enzymes. *Rev. Microb. Pathog.* 2017. Vol. 110. P. 56–65. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2017.06.015>

15. Eisen J., Nelson K. The complete genome sequence of *Chlorobium tepidum* TLS, a photosynthetic, anaerobic, green-sulfur bacterium. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2002. Vol. 99. P. 9509–9514. <https://doi.org/10.1073/pnas.132181499>

16. Baysse C. Role of membrane structure during stress signaling and adaptation in *Pseudomonas*. *Pseudomonas: book* / C. Baysse, F. O’Gara. Springer, 2007. P. 193–224. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6097-7\\_7](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6097-7_7)

17. Marley W.W. Determining parallel analysis criteria. *Journal of modern applied statistical methods*. 2006. Vol. 5, № 2. P. 344–346. <https://doi.org/10.22237/jmasm/1162354020>

18. Bradley J. M., Svistunenko D. A., Wilson M. T., Hemmings A. M., Moore G. R., Le Brun N. E. Bacterial iron detoxification at the molecular level. *J. Biol. Chem.* 2020. Vol. 295. Iss. 51. P. 17602–17623. <https://doi.org/10.1074/jbc.REV120.007746>

19. Масловська О., Гнатуш С. Інтенсивність процесів перекисного окиснення ліпідів і показники системи антиоксидантного захисту клітин *Desulfuromonas acetoxidans* ІМВ В-7384 за впливу ферум (III) цитрату. Вісник Львівського університету. Серія біологічна. 2014. Вип. 64. С. 270–278.

20. Maslovska O., Hnatush S. Oxidative modification of proteins and specific superoxide dismutase activity of *Desulfuromonas acetoxidans* IMV B-7384 under the influence of ferric (III) citrate. Мікробіологія і біотехнологія. 2015. Т. 30, № 2. С. 34–40. [https://doi.org/10.18524/2307-4663.2015.2\(30\).48072](https://doi.org/10.18524/2307-4663.2015.2(30).48072)

21. Maslovska O., Hnatush S., Katernyak S. The activity of enzymes of glutathione antioxidant system of *Desulfuromonas acetoxidans* IMV B-7384 under the influence of ferric (III) citrate. Вісник Львівського університету. Серія біологічна. 2015. Вип. 70. С. 213–220.

22. Масловська О., Гнатуш С., Галушка А. Зміни жирнокислотного складу клітин *Desulfuromonas acetoxidans* ІМВ В-7384 за впливу ферум цитрату. Біологічні Студії / *Studia Biologica*. 2014. Т. 8, № 3–4. С. 87–98.

23. Масловська О., Гнатуш С. Вплив ферум (III) цитрату на АТФ-гідролази *Desulfuromonas acetoxidans* ІМВ В-7384. Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія. 2013. Т. 21, № 1. С. 3–8.

24. Segin T., Hnatush S., Maslovska O., Halushka A., Zaritska Y. Biochemical indicators of green photosynthetic bacteria *Chlorobium limicola* response to  $\text{Cu}^{2+}$  action. The Ukr. Biochem. J. 2020. Vol. 92, № 1. P. 103–112. <http://doi.org/10.15407/ubj92.01.103>

25. Сегін Т., Гнатуш С., Горішний М. Процеси ліпопероксидації у клітинах *Chlorobium limicola* ІМВ К-8 за впливу  $\text{Cu}$  (II) сульфату. Вісн. Дніпропетр. ун-ту. Біол. Екол. 2016. Вип. 24, № 1. С. 72–78. <http://doi.org/10.15421/011608>

26. Сегін Т., Гнатуш С., Масловська О., Василів О. Активність ензимів глутатионової антиоксидантної системи бактерій *Chlorobium limicola* ІМВ К-8 за впливу купрум (II) сульфату. Мікробіологія і біотехнологія. 2018. Вип. 1, № 41. С. 39–47. [http://doi.org/10.18524/2307-4663.2018.1\(41\).117284](http://doi.org/10.18524/2307-4663.2018.1(41).117284)

27. Кушкевич І., Гнатуш С. Пігменти фотосинтезувальних зелених сіркобактерій *Chlorobium limicola* Ya-2002 за впливу солей важких металів. Мікробіологія і біотехнологія. 2010. Вип. 3. С. 61–70.

28. Thiel V., Tank V., Bryant D. Diversity of chlorophototrophic bacteria revealed in the Omics Era. *Annu. Rev. Plant Biol.* 2018. Vol. 69, № 16. P. 1–29. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042817-040500>

29. Maresca J., Romberger S., Bryant D. Isorenieratene biosynthesis in green sulfur bacteria requires the cooperative actions of two carotenoid cyclases. *J. Bacteriol.* 2008. Vol. 190, № 19. P. 6384–6391. <https://doi.org/10.1128/JB.00758-08>

30. Segin T., Hnatush S., Maslovska O., Vasylyv O. Changes of fatty acid composition of *Chlorobium limicola* IMV K-8 cells under the influence of copper (II) sulfate. *Mikrobiol. Z.* 2018. Vol. 80, № 3. P. 40–52. <https://doi.org/10.15407/microbiolj80.03.040>

**Information about the authors:**

**Hnatush Svitlana Oleksiivna,**

Candidate of Biological Sciences, Professor,  
Head of the Department of Microbiology  
Ivan Franko National University of Lviv  
4, Hrushevkiy str., Lviv, 79005, Ukraine

**Maslovska Olha Dmytrivna,**

Candidate of Biological Sciences,  
Associate Professor at the Department of Microbiology  
Ivan Franko National University of Lviv  
4, Hrushevkiy str., Lviv, 79005, Ukraine

**Komplikevych Solomiia Yaroslavivna,**

Postgraduate student at the Department of Microbiology  
Ivan Franko National University of Lviv  
4, Hrushevkiy str., Lviv, 79005, Ukraine

**Segin Tetyana Bohdanivna,**

Postgraduate student at the Department of Microbiology  
Ivan Franko National University of Lviv  
4, Hrushevkiy str., Lviv, 79005, Ukraine

**Diakiv Svitlana Viktorivna,**

Candidate of Biological Sciences,  
Assistant Professor at the Histology and Medical Biology Department  
Lesya Ukrainka Volyn National University  
9, Potapova str., Lutsk, 43025, Ukraine

**SYSTEM IDEAS OF FUNCTIONS OF SOIL ORGANIC MATTER  
FROM THE PERSPECTIVE OF ALLELOPATHIC RESEARCH  
IN UKRAINE**

**Dzyuba O. I.**

**INTRODUCTION**

Since many scientific fields develop they experience the conceptually rethinking. The role of reductionism can hardly be exaggerated at the initial stages of any given field – when it is important to set the boundaries of the system, which is the subject of study. The subsequent steps of the development of the areas of study bring better results under the collaboration with the other branch of science.

The history of – from the reductionism to systemic (holistic) views – has not been spared allelopathy. Thus, the endeavors to separate the factor of allelopathy from the other factors (which are similar to allelopathy as how they influence on plant) dominated most of the 20<sup>th</sup> century. To this end plant often was removed from inherent ecosystem and was set in the conditions of laboratory, greenhouse or microplot field experiments. Under the observation of allelopathic phenomena in the natural conditions the non-allelopathic factors were intently written down, because these factors as usual were believed to be the source of artefacts. The lasts skew the interpretation of results. Such ideas were employed as the principle in the research of personalities, who stood at the origins of allelopathic science.

The substances, so called agents, which exhibit the bioactivity towards the plant organism, were the prime focus under the elaboration of the definitions of allelopathy on the first decades since the date of its birth. Notably, the ability to induce various biological effects in plants has featured these agents – the allelochemicals.

In recent decades it became clear, that the allelopathic processes should not be studied apart from the broader system, namely, soil organic matter (SOM). Different species within SOM exhibit the series of functions, particularly a) the long-term storage of carbon (in other words, the isolation from the biogeochemical flows); b) the bioactivity in microdoses towards the plants and other soil inhabitants; c) the source of carbon nutrition for both heterotrophes and plants; d) prolongation of inorganic nutrition – retention of nutrients from the loss beyond the boundaries of

ecosystems<sup>1</sup>; e) water retention; f) binding of the mechanically separate organic and mineral particles into the micro- and macroaggregates. The last process plays the significant role in the formation of the system of soil capillaries, and in such a way provides moisture conductivity and thermal conductivity<sup>2,3</sup>. The performance of some functions by certain kinds of substance makes it impossible to perform the other functions. E. g., the substances, forming the recalcitrant skeleton of biochar, a priori couldn't serve as the source of carbon nutrition and prolong inorganic nutrition. Apparently the function of carbon storage hardly work with the binding. At least, this is because the biopersistent substances tend to be hydrophobic and binding substances (particularly, gel-forming polysaccharides) vice versa tend to interact actively with water.

To date the role of allelochemicals in the structural-functional organization of the soil as the system of diverse species of organic and inorganic compounds remains purely understood. Currently the Ukrainian school of allelopathy draws special attention to the research of this issue.

### **1. Achievements of the Ukrainian school of allelopathy**

The transaerial migration (beyond the soil environment – through the atmosphere) of volatile plant metabolites is known to be one of the ways of realization of allelopathic processes. Soil along with the atmosphere plays the role of the carrier of volatile allelochemicals<sup>4,5,6,7</sup>.

---

<sup>1</sup> Kerzhentsev A. S. Functional Ecology. Moscow : Nauka, 2006. 259 p. (in Russian) ISBN. 5-02-034277-7.

<sup>2</sup> Franzluebbers A. J. Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. *Soil and Tillage Research*. 2002. Vol. 66, Iss. 2. P. 197–205. doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00027-2

<sup>3</sup> Bronick C. J., Lal R. Soil structure and management: a review. *Geoderma*. 2005. Vol. 124, Iss. 1–2. P. 3–22. doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.03.005

<sup>4</sup> Yurchak L. D. Ecological bases of allelopathic interaction and afteraction of essential plants in agrophytocenoses: Extended abstract of doctor sci. diss. (Agriculture) on speciality 03.00.16 / Institute of Agroecology and Biotechnology of Ukrainian Academy of Agrarian Sciences. Kyiv, 2002. 35 p. (in Ukrainian)

<sup>5</sup> Yurchak L. D., Yunosheva O. P. Role of plant excretions of spicate lavender in formation of allelopathic regime of soil. *Phytopathogenic bacteria. Phytocidology. Allelopathy*: Collected papers of participants of internat. conf. Kyiv, 2005. P. 302–307 (in Ukrainian).

<sup>6</sup> Yunosheva O.P., Ellanska N.E. Specificity of microbial communities of introduced plants *Lavandula angustifolia* Mill. *Soil science*. 2015. Vol.16, No 1–2. P. 66–74 (in Ukrainian).

<sup>7</sup> Zaimenko N. V., Hnatyuk N. O., Ivanytska B. O. Allelopathic activity of secretions of plant mass and soil from the form of Monard double (*Monarda didyma* L.). *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020. Vol. 10, Issue 2. P. 141–145. doi: 10.15421/2020\_77

The aforementioned reasons explain the efforts, aimed by the Ukrainian school of allelopathy. In recent decades these efforts have been aimed rather at the ascertainment of the phenomena, concomitant with allelopathy, than at the allelopathic processes as such.

The soil environment is enriched with the bioactive substances, produced not only by plants, but also by the heterotrophic soil inhabitants. Bacterial and fungal toxins are known by the ability to initiate the distinct biological effects with too lower active concentrations comparing with the bioactive substances of plant and animal origin<sup>8</sup>. It is not by chance that allelopathic research centers scrutinized the soil microbiologic activity since 1970s<sup>9,10</sup>. This is because bioactive microbial and fungal metabolites could mimic the actions of plant-derived bioactive compound, including allelochemicals.

In recent decade the researchers of M.M.Gryshko National Botanical Garden of the NAS of Ukraine (NBG) comprehensively explored the mode of action of several fungal metabolites, especially the exometabolites (cultural broth) of *Penicillium roseopurpureum*. This micromycete is known to produce curvularin with the exhibition of fungistatic activity. The cultural broth was shown to improve system resistance of tomato *Lycopersicon esculentum* to the infestation by the phytopathogenic fungi *Fusarium culmorum*, *F. oxysporum* and *F. solani*<sup>11</sup>.

The other objectives of microbiology in allelopathic research include:

1. The unraveling of how the soil microbiota modifies the intensiveness of allelopathic processes. On the one hand the allelopathic effects could be alleviated due to the metabolization of allelochemicals by the microorganisms: both within the cells and with the involvement of extracellular enzymes, such as laccase. On the other hand the aggravation

---

<sup>8</sup> Starodub N. F., Savchuk M. V., Székács A., Marty J.-L. Peculiarities of sample preparation for the determination of certain mycotoxins in grain products and fruits by immunobiosensor analysis. *World Journal of Engineering Research and Technology*. 2018. Vol. 4, Iss. 3. P. 174–185.

<sup>9</sup> Grodzynskyy A. M. Fundamentals of Chemical Interaction of Plants. Kyiv : Naukova Dumka, 1973. 207 p. (in Ukrainian)

<sup>10</sup> Rice E. L. Allelopathy / 2<sup>nd</sup> edition. New York : Academic Press, 1984. 422 p. ISBN: 9780080925394.

<sup>11</sup> Zaimenko N. V., Ellanska N. E., Didyk N. P., Pavliuchenko N. A., Yunosheva O. P., Ivanytska B. O., Zakrasov O. V., Rositska N.V. Effect of analcite and exometabolites of fungus *Penicillium roseopurpureum* on the resistance of tomato to fusarium and on microbiological and allelopathic properties of soil. *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*. 2016. No 11. P. 93–98 (in Ukrainian). doi: doi.org/10.15407/dopovidi2016.11.093

of the effects could be supposed because a) the microbiota competes with the plants for inorganic nutrients and water; these resources become the determinants for the successful undergoing the stress, evoked both in allelochemical mode and by the unfavorable transient weather conditions<sup>12</sup>; b) the microbiota, being the subsequent to plants link of metabolic conveyor, modifies the chemical structure of molecules toward the elevation of their ability to interact with the molecular targets in plant metabolism.

2. The clarification of microbiota's impact on the competition within plant community. Some plants are relatively indifferent for the nitrogen species supplied: either nitrate or ammonia. The other plant species prefer one of these two forms of nitrogen. Evidently, some plants produce the elevated level of urease – they have the advantage when nitrogen is on the intermediate stages of mineralization – under the considerable pool of nitrogen-organic substances in the soil. Besides, some plants (e. g., large part of genus *Amaranthus*<sup>13</sup>) are well known to be megatrophic, whereas the others (certain conifers<sup>14</sup>) – to be oligotrophic.

Plant-microbe symbioses are the mechanism enabling plants to escape the competition for the exogenous inorganic nutrients and water. As the example of great interest in this regard the mycorrhiza must be given. Often under water scarcity and phosphorus limitation the mycorrhiza-forming plants drive out non-mycorrhiza-forming ones away from the plant community, as the last of these competitors get helpless in such conditions<sup>15</sup>.

3. The plant-microbe symbioses are known to enhance the stress adaptability of plants. Allelochemicals belong to the stressors. However, far not every plant species as well as far not every condition is relevant for the purpose of the intentional induction of distinct allelochemical stress by an experiment. For instance, purple alfalfa *Medicago sativa*, unlike many other plant species, exhibits good ecological flexibility due to its

---

<sup>12</sup> Rositska N. V. Influence of drought on allelopathic properties of *Pinus sylvestris* L. *Plant Introduction*. 2020. Iss. 85/86. P. 41–49. doi.org/10.46341/PI2019001

<sup>13</sup> Chernov I. A. *Amaranth – Physiological and Biochemical Fundamentals of Introduction*. Kazan : Kazan University Press, 1992. 89 p. (in Russian). ISBN 5-7464-0834-4.

<sup>14</sup> Didukh Y. P. *Sketches of Phytocology*. Kyiv : Aristey, 2008. 268 p. (in Ukrainian). ISBN 978-966-8458-96-5.

<sup>15</sup> Dzyba O. I., Derevyanko V. A., Solyanyk O. V. Physiological and biochemical peculiarities of seeds of species of *Rhododendron* L. Genus. *Plant Introduction*. 2000. No 1(5). P. 148–150 (in Ukrainian).

adaptability to the wide range of the influences of various factors. Furthermore, the experimentations within the close ecosystems deal with the challenge, as many factors in such conditions are adjusted to optimized levels in contrast to the open ecosystems, where it is often occurred the extreme levels of same factors. The search of effective allelochemicals in the close ecosystem conditions would take much time. For this reason stress in plants was initiated by means of microgravity, that is the verified stress inductor on the one hand, and not such severe as the radioactive exposure on the other hand. Microgravity, being the stressor, works on a number of targets. One of the most vulnerable of them is the plant-microorganisms and plant-viruses interactions<sup>16</sup>.

Applying the method of simulated microgravity, our research group believed it was possible to extrapolate the obtained results to the allelochemical stress. The aspects of alfalfa life, not directly related with the rhizobial symbiosis, were found to be more sensitive as compared with the processes of the symbiosis formation and with the symbiotic bacteria *Synorhizobium meliloti*<sup>17</sup>. Generally speaking, in the case of alfalfa the allelopathic depression doesn't pose a challenge for agriculture. Nevertheless, the further domestication and introduction may deal with the allelochemically vulnerable species of legumes, particularly able to interact with rhizobia. This supports the value of our findings for the perspective.

The progress of the allelopathic processes could more or less mediately influence on the physical, physicochemical and chemical properties of soil. The alternation of these properties could be the source of artefacts under the conduction of allelopathic investigations. For instance, soil colonization by plants, hyphal system formation, and hole making by burrowing animals, fed with the biological yield of plants, enhance the parameter of soil porosity. This, in turns, improves the growth conditions for the plant species, which are fastidious to soil conditions. Consequently these species could win the advantage over the high tolerant plants-

---

<sup>16</sup> Mishchenko L. T., Polishchuk V. P., Taran O. P., Hordeychuk O. I. Viral Infections of Potato and Their Progression under Conditions of Simulated Microgravity. Kyiv : Fytosotsiotsentr, 2011. 144 p. (in Ukrainian).

<sup>17</sup> Viter A. V., Zakrasov O. V., Ellanska N. E., Kryvorchuk H. I., Yunosheva O. P. Development of roots and root nodules in symbiotic system purple alfalfa – *Sinorhizobium meliloti* under clonorotation. *The Scientific Issues of Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Series: Biology*. 2010. No 4(45). P. 13–18 (in Ukrainian).



competitors. Nearly such simplified scheme often is employed under the explanation of the phenomenon of succession<sup>18</sup>.

Almost at the first stages of the development of allelopathic science it became evident the necessity of the information on soil properties, including their dynamical changes, for the discernment of true allelopathic processes and the rejection of artefacts, resulting from the alternations of soil properties.

The physical and physicochemical properties of soil were in large focus in the research of E.Rice<sup>19</sup>. He paid respect to the hydrophobicity and hydrophilicity of allelochemicals as the prerequisite for the repellency by the soil minerals or vice versa for their sorption and consequently accumulation by the soil. A. M. Grodzynskyy<sup>20</sup> proposed the surface of soil solid phase to be the resource for the competition between the molecules of allelochemicals and water molecules under the adsorption. V. P. Grakhov<sup>21,22,23</sup> made the substantial contribution for the allelopathic science, as his scientific interests were largely focused on the methods of the extraction of allelochemicals from the soil. The knowledge of these methods helps to model the behavior of the given groups of allelochemicals under various ecological conditions.

The modern Ukrainian school of allelopathy pays extra attention to the content of inorganic micronutrients in soil and their movement toward the plants in order to find out the impact of these substances on the production of allelochemicals by plants, the formation of target plants' response to the allelochemical influence, as well as on the modification of the activity of allelochemicals before their reaching the targets.

The research, related with the design of man-made substrates for the cultivation of plants, particularly in the close ecosystem conditions, could

---

<sup>18</sup> Rice E. L. *Allelopathy* / 2<sup>nd</sup> edition. New York : Academic Press, 1984. 422 p. ISBN: 9780080925394.

<sup>19</sup> *Ibid.*

<sup>20</sup> Grodzynskyy A. M. *Fundamentals of Chemical Interaction of Plants*. Kyiv : Naukova Dumka, 1973. 207 p. (in Ukrainian).

<sup>21</sup> Grakhov V. P., Moroz P. A. On phenolic factor of peach (*Persica vulgaris* Mill.) allelopathic afteraction. *Reports the National Academy of Sciences of Ukrainian SSR: Series B*. 1990. No 8. P. 62–64. (in Russian).

<sup>22</sup> Grakhov V. P., Bezmenov A. Y., Moroz P. A. Phenolcarboxylic acids of plant residues and litter of peach trees. *Physiology and Biochemistry of Cultural Plants*. 1991. Vol. 32, No 5. P. 462–468 (in Russian).

<sup>23</sup> Grakhov V. P., Moroz P. A. On the problem of allelopathic afteraction of peach. *Cycling of Allelopathic Active Substances in Biogeocenoses* / Ed. I.N.Gudkov et al. Kyiv : Naukova dumka, 1991. P. 46–56 (in Russian).

be considered one of the preceding steps for the development of the scientific worldview of allelopathy. These conditions are distinct with the relative poorness, firstly, of inorganic compounds in the soil-substitutes, secondly, of the diversity of microbiota species in root-inhabited environment as compared with the natural soils. The complete removal of microorganisms is routinely undertaken as the preliminary step before the launching of close ecosystems. As consequence the elimination of plant exometabolites in root-inhabited environment becomes more difficult. The elaboration of the soil-substitutes for the greenhouses in spacecraft conditions substantially contributed to the study of this problem. Furthermore, the composition of greenhouse atmosphere was surveyed in order to screen plant excretions and to examine the plant ability to purify the air<sup>24</sup>. The simple mineral composition together with the given in advance mechanical structure of soil-substitutes provides the fruitful model for tracing the fate of plant metabolites after they escape from plants into the external environment. In physical terms the allelochemicals mostly share the common routes of migration with other plant metabolites. Therefore, the findings from the examinations of soil-substitutes in the close ecosystems, are of great value for the modeling in allelopathy. Although it goes without saying that the blanket extrapolation to the open ecosystems will be incorrect.

The detailed survey of the properties of soil organic substances coupled with the comprehensive analysis provides the ascertainment, firstly, of the artefacts, misrepresenting the results of the allelopathic investigations, secondly, of the factors, modifying the allelopathic influence. The turning point for the Ukrainian school of allelopathy was the adoption of methods of the fractionation of total SOM<sup>25</sup>, but not only the organic matter of plant extract and the allelochemicals, extracted from the soil by means of the orthodox methods. Allelochemicals are not the only soluble substances within SOM. In the allelopathic processes there are some additional modes of the action of various organic substances. Organic compounds play the following roles in soil: a) the precursors of allelochemicals; b) the

---

<sup>24</sup> Zaimenko N. V. Scientific principles of structural and functional design of artificial biogeocenosis (in the system: soil-plant-soil): extended abstract of doct. sci. diss. (Biology) on speciality 03.00.16 / Dnipropetrovsk National University. Dnipropetrovsk, 2001. 36 p. (in Ukrainian)

<sup>25</sup> Partyka T. V., Bedernichek T. Y., Hamkalo Z. H. Application of method of multistage chemodestructive fractionation for assessment of qualitative content of soil organic matter. *Submontane and Hill Agriculture and Animal Husbandry*. 2015. Vol. 58. Iss. 2. P. 78–85.

stimulators of the inactivation of allelochemicals (by the modes of irreversible binding and microbial cometabolization); c) the depot of allelochemicals (due to the transient binding, that is the reversible process). Each fraction of SOM could contribute specifically (not similarly to other fraction) to each of the roles.

When the fractionation methods began to be involved by the Ukrainian researchers, SOM was separated between two ‘poles’: ‘labile’ and ‘stable’ organic substances<sup>26</sup>. However, from year to year it is adopted the methods of the obtaining of the larger number of substances’ groups from the common pool of SOM, e. g. polysaccharides<sup>27</sup>. Perhaps, in future this will help to attribute the observed allelopathic phenomena to these new fractions, instead being restricted to the search of the correlations between the allelochemicals of “orthodox methods’ (first of all, the compounds of phenolic metabolism) and the allelopathic effects.

The incarnation of E.A.Holovko’s ideas about the induction of dissimilar allelopathic effects by the allelochemicals with different chemical nature became the milestone in the development of the Ukrainian school of allelopathy. E.A.Holovko pursued ‘painting the portrait’ of each allelochemical or, at least, of each group of allelochemicals and then building the ‘portfolio’ through the expanding the spectrum of plant metabolites, described in such a way. It should be explained, that in earlier decades it was accepted the limited number of markers of allelochemical activity such as phenolic substances and terpens, as it may be concluded from the publications of that period<sup>28,29</sup>. Nevertheless, a great body of collected facts provides the evidence that plant metabolites (even within each chemical class) could considerably differ (up to opposites) by the scenarios of the response, they induce in target plants<sup>30</sup>.

---

<sup>26</sup> Bedernichek T. Y., Hamkalo Z. H. Labile Soil Organic Matter: Theory, Methodology, Indicative Role. Kyiv : Kondor, 2014. 180 p. (in Ukrainian). ISBN 978-966-2781-39-7.

<sup>27</sup> Bedernichek T., Partyka T. Content of water-soluble carbohydrates as a quality indicator of cryogenic soils. *Proceedings of the State Natural History Museum*. 2018. Iss. 34. P. 43–48 (in Ukrainian). doi: 10.5281/zenodo.2532061

<sup>28</sup> Rice E. L. Allelopathy / 2<sup>nd</sup> edition. New York : Academic Press, 1984. 422 p. ISBN: 9780080925394.

<sup>29</sup> Grodzynskyy A. M. Fundamentals of Chemical Interaction of Plants. Kyiv : Naukova Dumka, 1973. 207 p. (in Ukrainian).

<sup>30</sup> Moroz P. A. Allelopathy in Orchards. Kyiv : Naukova dumka, 1990. 208 p. (in Russian).

E. A. Holovko's ideas were taken up by L. S. Akhov<sup>31</sup> and O. I. Dzyuba<sup>32</sup>. The last initially sorted the extracts from plant material by the fractions (phenolic compounds, phenolcarboxylic acids, amino acids, saponins) and subsequently tested each obtained fractions on the set of target plants, served as the test-objects: wheat *Triticum aestivum*, purple amaranth *Amarantus cruentus=paniculatus*, cress *Lepidium sativum*, radish *Raphanus sativus*, and cucumber *Cucumis sativus*. The order of the test-objects in the rate of sensitivity to any of fractions was not the same with the orders of those rates to other fractions.

Developing the E. A. Holovko's ideas about the allelopathic screening for the broad spectrum of plant metabolites, O. I. Dzyuba emphasizes on the identification of secondary metabolites. The researcher believes, that the quantitative and especially qualitative composition of secondary metabolites' pool in plant indicates, firstly, the occurrence of the stress state of plant, secondly, plant's stress adaptability. This idea comes from the fact of higher content of alkaloids, flavonoids, and saponins in relict plants comparing with phylogenetically younger species. This argues, that these compounds assisted the plants not to be eliminated by the severe stressors, which broke out repeatedly throughout millennia and consequently provided the natural pressure.

As known, the progress of stress in plants is accompanied by the variations of the ratio of photosynthetic pigments (PSPs). However, the changes both in the quantitative content of PSPs and in their molecular structure seem to be hazardous, since these compounds are indispensable for one of the main function – the photosynthesis. This makes it reasonable the conservation of PSPs' metabolism in phylogenetic scale. While the secondary metabolites don't contain basic information for plant life, the organization of metabolic pathways and the levels of the expression of corresponding genes could be altered with too lower risk than under the modification of PSPs' metabolism. Throughout millennia the possibility to modify secondary metabolism supported the search of plants' strategy, aimed at the protection against abiotic and biotic disturbing agents.

---

<sup>31</sup> Akhov L. S. Steroidal saponins of nodding onion (*Allium nutans* L.) and their biological activity: Extended abstract of cand. sci. diss. (Biology) on speciality 03.00.12 / Taras Shevchenko Kyiv National University. Kyiv, 2000. 19 p. (in Ukrainian).

<sup>32</sup> Dzyuba O. I. The physiological and biochemical properties of *Rhododendron luteus* Sweet: allelopathic analysis: Extended abstract of cand. sci. diss. (Biology) on speciality 03.00.12 / Institute of Plant Physiology and Genetics of the NAS of Ukraine. Kyiv, 2001. 20 p. (in Ukrainian).

The research direction at the expansion the spectrum of substances, offered for the investigation, not only enriched the fundamental scientific field, but also was beneficial for the practice. The screening of plants with the allelopathic potential was followed by the offering of the plant-based preparations with herbicidal potential<sup>33</sup>.

The spectrum of investigated substances with allelochemical activity was expanded alongside with the deepening of the knowledge about the functional properties of one of the groups of long familiar, so called ‘classic’, allelochemicals – the derivatives of phenol. The research team of N. A. Pavliuchenko<sup>34,35,36</sup> collected the information on the conditions of metabolic regulation in plants (first of all lilacs), particularly in connection with PSP metabolism, and also on the effect of phenol-containing excretes and plant postmortem leachates on the physicochemical and chemical state of the soil, plant test-objects and soil microbiota.

## 2. Some perspectives of allelopathy

To date many scientists and practitioners adhere to the conservative opinion on the soil as the simplified system has been reinforced amongst many scientists and practitioners. With accordance to this belief only two things have to be done in order to prevent the depletion of soil fertility: the replenishing of inorganic nutrients and the providing of the non-negative balance of organic matter. We assert the view that in order to conserve soil fertility it is insufficiently to apply only the total amount of carbon: in the form of either industrial and animal wastes, or green manure, or the biomass of single-cell organisms, or biochar. The ill-considered providing of total intake brings the risk of the deterioration of the conditions of root-inhabited environment or nondurable recovery of these conditions without

---

<sup>33</sup> Orel L. V. Plant Preparations for Weed Control. Odessa : Mayak, 1997. 136 p. (in Ukrainian).

<sup>34</sup> Pavliuchenko N. A., Dobroskok V. A., Krupa S. I. Dynamics of allelopathic activity of decay products of plant residues of *Syringa josikaea* Jacq. f., *S. microphylla* Diels. and *S. persica* L. *Plant Introduction*. 2014. Iss. 64. P. 77–84. doi.org/10.5281/zenodo.1576069

<sup>35</sup> Pavliuchenko N. A. Physiological and biochemical parameters of soil-plant system under allelopathic stress: diagnostic analysis and control. *Plant Introduction*. 2015. Iss. 67. P. 94–100. doi.org/10.5281/zenodo.2527009

<sup>36</sup> Pavliuchenko N. A., Dobroskok V. A., Krupa S. I. Allelochemicals from *Syringa josikaea* Jacq. f., *S. microphylla* Diels. and *S. persica* L. introduced species: plant residues–soil relationships. *Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Health and Life Quality*. Nitra, 2015. Part II. P. 535–538. ISBN 978-80-522-1380-4.

the gaining of long-term system effect. Thus, the application of the materials with high content of readily metabolized compounds (green manure, food processing wastes) can boost the transient spike of soil microbiota activity, followed with the depletion of pool of the stable fractions of SOM, the loss of biogens beyond the ecosystem, because of weathering.

In the beginning of this paper we delineated the set of functions, which are performed by various organic substances in soil, including the functions of long-term storage and binding. A great body of natural and man-made frameworks exists due to the principle of the association of hard recalcitrant blocks with more resilient materials, which provide their aggregation. In the course of soil genesis initially the role of these blocks is taken by the mineral particles of soil-forming rock. With the subsequent colonization of the soil-forming rock by plants the organic and organo-mineral colloids (from amongst the most biopersistent) also begin to act in this role.

Sollins et al.<sup>37</sup> review the set of binding agents: as fungal polysaccharides, exudates from corn and bromegrass roots, glucose, several humic preparations. In order to be stabilized polysaccharides need to interact with tannins.

The matrix, formed with recalcitrant blocks and binding agents, provides favorable environment, for the water exchange and the consequent movements of biogens, biologically inactive and active organic substances through the soil solution on the one hand. On the other hand, such environment could slow down the rate of the long-distance migration of these substances due to the sorption on matrix' surface. Therefore, the rest of organic matter's functions (bioactivity; carbon nutrition; prolongation of nutrition; water retention), rather depends on the successfulness of the evolvement of the matrix.

Soils could not be entirely conservative systems. They permanently experience the dynamic process of the partial destruction (of organic molecules, soil aggregated, pores) alongside with the reconstruction of the destructed matter. Humanity face the challenge of the bringing the fertility to deserts, the remediation of lost soils, and, that is more to the point, the constant support of the fertility and health of living soils.

---

<sup>37</sup> Sollins P., Homann P., Caldwell B. A. Stabilization and destruction of soil organic matter: mechanisms and controls. *Geoderma*. 1996. Vol. 74. P. 65–105.

The substantial array of the developments in the spheres of the design of soil-substitutes<sup>38</sup>, artificial soils (constructozems)<sup>39</sup>, and mine reclamation<sup>40</sup> strikes out any question on the design of substrates, optimized for the living of plants on macrolevel. However, a new question rises – on the molecular level of the design of soil and the optimization of their properties.

Currently, it is increasingly spoken about the diverse strategies of the greenhouse gases removal from the atmosphere with the subsequent utilization of soils for carbon sequestration<sup>41</sup>. It should be realized, that the exclusive utilization of any material (e. g., biochar, algal or terrestrial plant biomass) brings the risk of improper development of one SOM's functions alongside with the disturbance of other ones, in other words this could be explained as the disharmony between the functions.

Not only raw material, given for the adding in the soil, but also the ways of its pretreatment manages the functional properties of soil. Let us say, the high-temperature processing of raw material, first of all the pyrolysis, ensures the yield of the substances, which are unattractive for the degradation by biota, but likely reduces the yield of the compounds with the ability to swell, to serve as the binding agents and to exhibit the other colloidal properties. Vice versa the additional biosynthesis of gellike and binding agents could take place under the certain conditions of microbial fermentation. But this could need the decomposition of the biopolymers, contributing for the formation of non-biodegradable particles. The most of the procedures, applied for the preparation of organic material before adding to soil, alter the amount and structures of the molecules with the property to make the biota to respond with the distinct effects. These molecules could be represented by plant-derived

---

<sup>38</sup> Zaimenko N. V. Scientific Principles of Structural and Functional Design of Artificial Biogeocenosis in the System Soil-Plant-Soil. Kyiv : Naukova Dumka, 2008. 303 p. (in Ukrainian). ISBN 978-966-00-0716-1.

<sup>39</sup> Smagin A. V. Theory and Practice of soil engineering. Moscow : Moscow State University Press, 2012. 544 p. (in Russian). ISBN 978-5-211-06299-3.

<sup>40</sup> Zabaluev V. O. Edapho-phythocenotical basing of sustainable agroecosystems formation and functioning on reclaimed land in Steppe zone of Ukraine: Extended abstract of doctor sci. dissertation (Agriculture) on speciality 03.00.16 / National Agrarian University of Ukraine. Kyiv, 2005. 40 p.

<sup>41</sup> Hamkalo Z. G., Shpakivska I. M., Maryshevych O. G. Lithogenic potential of pedosphere carbonization: theoretical-methodological, methodical and ecosystem approaches. *AgroChemistry and Soil Science*. 2021. Vol. 92. P. 41–51. doi:10.31073/acss92-05 (in Ukrainian).

toxins, plant growth and development regulators, and the regulators of soil microbiota.

The properties of the materials, offered for soil application, and the opportunities of their pretreatment technologies open up new interesting horizon to be investigated from the perspective of soil biochemistry, soil microbiology, and allelopathy.

## **CONCLUSIONS**

After the extending prevalence of reductionistic views in allelopathy at the turn of 20<sup>th</sup> and 21<sup>st</sup> centuries the holistic trends began to flourish. Particularly this reflects in the endeavor to consider SOM as the system of species with dissimilar properties. Some of them provide long-term removal of carbon from biogeochemical fluxes, others – the bioactivity, also others – the influence on the regimes of soil functioning. The recent allelopathic research of NBG have paid attention to the microbiological studies, including the experimentation with plant-microbe symbioses, the examination of physicochemical and chemical properties of soils, from the consideration that these phenomena could mimic true allelopathic processes. The milestone in Ukrainian allelopathy was the expanding of the spectrum of the substances, which were supposed to possess the allelochemical activity, and the acquiring of new knowledge on the functions of phenolic substances in plants and soil. Both the elaboration of soil-substitutes, particularly for the space greenhouses, and the recent adoption of new methods of SOM fractionation will give the tool for the subsequent investigation of the allelopathic processes along with the related phenomena within plant-soil system.

The search of the ways of the creation of organo-mineral skeleton of soil, well suited for the soil fertility, sounds to be perspective for soil biochemistry, microbiology and allelopathy. This includes the examination of the technologies of the preparative processing of different organic materials, as well as the elaboration of the management of their spreading over soil.

## **SUMMARY**

The balance of soil organic matter provides only the partial assessment of the soil state. Inherent in soil organic substances fulfill the set of non-interchangeable functions, including a) resource for heterotrophic nutrition; b) long-term carbon storage; c) bioactivity; d) supporting the depots of water and inorganic nutrients; e) binding of solid soil particles. In reliance on the current scientific quality it is important to characterize



organic matter by the fractions with the consideration of the function of each of them. The role of allelochemicals in the structural-functional organization of the soil as the system of diverse species of organic and inorganic compounds remains purely understood. For the deepening of this knowledge the Ukrainian school of allelopathy conducts the microbiological experiments, particularly related with plant-microbe symbioses, and agrochemical analysis, models closed ecosystems and soil-substitutes, determines the bioactivity of various pools of substances, obtained by means of the fractionation of the extracts from plant material and soil. Currently, the challenges of the carbon sequestration in soil as well as the management of the physical, physicochemical and chemical parameters of soil fertility take increasing importance. The need of the making of optimal decision requires the further studies on the dependence of the listed functions on the kinds of materials, meant for soil treatment, and ways of their pretreatment.

### References

1. Kerzhentsev A. S. Functional Ecology. Moscow : Nauka, 2006. 259 p. (in Russian). ISBN 5-02-034277-7.
2. Franzluebbers A. J. Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. *Soil and Tillage Research*. 2002. Vol. 66, Iss. 2. P. 197–205. doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00027-2
3. Bronick C. J, Lal R. Soil structure and management: a review. *Geoderma*. 2005. Vol. 124, Iss. 1–2. P. 3–22. doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.03.005
4. Yurchak L. D. Ecological bases of allelopathic interaction and afteraction of essential plants in agrophytocenoses: extended abstract of doctor sci. diss. (Agriculture) on speciality 03.00.16 / Institute of Agroecology and Biotechnology of Ukrainian Academy of Agrarian Sciences. Kyiv, 2002. 35 p. (in Ukrainian)
5. Yurchak L. D., Yunosheva O. P. Role of plant excretions of spicate lavender in formation of allelopathic regime of soil. *Phytopathogenic bacteria. Phytoncidology. Allelopathy*: Collected papers of participants of internat. conf. Kyiv, 2005. P. 302–307 (in Ukrainian).
6. Yunosheva O. P., Ellanska N. E. Specificity of microbial communities of introduced plants *Lavandula angustifolia* Mill. *Soil science*. 2015. Vol. 16, No 1–2. P. 66–74 (in Ukrainian).
7. Zaimenko N. V., Hnatyuk N. O., Ivanytska B. O. Allelopathic activity of secretions of plant mass and soil from the form of *Monard*

double (*Monarda didyma* L.). *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020. Vol. 10, Issue 2. P. 141–145. doi: 10.15421/2020\_77

8. Starodub N. F., Savchuk M. V., Székács A., Marty J.-L. Peculiarities of sample preparation for the determination of certain mycotoxins in grain products and fruits by immunobiosensor analysis. *World Journal of Engineering Research and Technology*. 2018. Vol. 4, Iss. 3. P. 174–185.

9. Grodzynskyy A.M. Fundamentals of Chemical Interaction of Plants. Kyiv : Naukova Dumka, 1973. 207 p. (in Ukrainian)

10. Rice E. L. Allelopathy / 2<sup>nd</sup> edition. New York : Academic Press, 1984. 422 p. ISBN: 9780080925394.

11. Zaimenko N. V., Ellanska N. E, Didyk N. P, Pavliuchenko N. A., Yunosheva O. P., Ivanytska B. O., Zakrasov O. V., Rositska N. V. Effect of analcite and exometabolites of fungus *Penicillium roseopurpureum* on the resistance of tomato to fusarium and on microbiological and allelopathic properties of soil. *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*. 2016. No 11. P. 93–98 (in Ukrainian). doi: doi.org/10.15407/dopovidi2016.11.093

12. Rositska N. V. Influence of drought on allelopathic properties of *Pinus sylvestris* L. *Plant Introduction*. 2020. Iss. 85/86. P. 41–49. doi.org/10.46341/PI2019001

13. Chernov I. A. Amaranth – Physiological and Biochemical Fundamentals of Introduction. Kazan : Kazan University Press, 1992. 89 p. (in Russian). ISBN 5-7464-0834-4.

14. Didukh Y. P. Sketches of Phytoecology. Kyiv : Aristey, 2008. 268 p. (in Ukrainian). ISBN 978-966-8458-96-5.

15. Dzyba O. I., Derevyanko V. A., Solyanyk O. V. Physiological and biochemical peculiarities of seeds of species of *Rhododendron* L. Genus. *Plant Introduction*. 2000. No 1(5). P. 148–150 (in Ukrainian).

16. Mishchenko L. T., Polishchuk V. P., Taran O. P., Hordeychuk O. I. Viral Infections of Potato and Their Progression under Conditions of Simulated Microgravity. Kyiv : Fytosotsiotsentr, 2011. 144 p. (in Ukrainian).

17. Viter A. V., Zakrasov O. V., Ellanska N. E., Kryvorchuk H. I., Yunosheva O. P. Development of roots and root nodules in symbiotic system purple alfalfa – *Sinorhizobium meliloti* under clionorotation. *The Scientific Issues of Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Series: Biology*. 2010. No 4(45). P. 13–18 (in Ukrainian).

18. Grakhov V. P., Moroz P. A. On phenolic factor of peach (*Persica vulgaris* Mill.) allelopathic afteraction. *Reports the National*

*Academy of Sciences of Ukrainian SSR: Series B*. 1990. No 8. P. 62–64 (in Russian).

19. Grakhov V. P., Bezmenov A. Y., Moroz P. A. Phenolcarboxylic acids of plant residues and litter of peach trees. *Physiology and Biochemistry of Cultural Plants*. 1991. Vol. 32, No 5. P. 462–468 (in Russian).

20. Grakhov V. P., Moroz P. A. On the problem of allelopathic afteraction of peach. *Cycling of Allelopathic Active Substances in Biogeocenoses* / Ed. I. N. Gudkov et al. Kyiv : Naukova dumka, 1991. P. 46–56 (in Russian).

21. Zaimenko N. V. Scientific principles of structural and functional design of artificial biogeocenosis (in the system: soil-plant-soil): extended abstract of doct. sci. diss. (Biology) on speciality 03.00.16 / Dnipropetrovsk National University. Dnipropetrovsk, 2001. 36 p. (in Ukrainian).

22. Partyka T. V., Bedernichek T. Y., Hamkalo Z. H. Application of method of multistage chemodestructive fractionation for assessment of qualitative content of soil organic matter. *Submontane and Hill Agriculture and Animal Husbandry*. 2015. Vol. 58. Iss. 2. P. 78–85.

23. Bedernichek T. Y., Hamkalo Z. H. Labile Soil Organic Matter: Theory, Methodology, Indicative Role. Kyiv : Kondor, 2014. 180 p. (in Ukrainian). ISBN 978-966-2781-39-7.

24. Bedernichek T., Partyka T. Content of water-soluble carbohydrates as a quality indicator of cryogenic soils. *Proceedings of the State Natural History Museum*. 2018. Iss. 34. P. 43–48 (in Ukrainian). doi: 10.5281/zenodo.2532061

25. Moroz P. A. Allelopathy in Orchards. Kyiv : Naukova dumka, 1990. 208 p. (in Russian).

26. Akhov L. S. Steroidal saponins of nodding onion (*Allium nutans* L.) and their biological activity: extended abstract of cand. sci. diss. (Biology) on speciality 03.00.12 / Taras Shevchenko Kyiv National University. Kyiv, 2000. 19 p. (in Ukrainian).

27. Dzyuba O. I. The physiological and biochemical properties of *Rhododendron luteus* Sweet: allelopathic analysis: extended abstract of cand. sci. diss. (Biology) on speciality 03.00.12 / Institute of Plant Physiology and Genetics of the NAS of Ukraine. Kyiv, 2001. 20 p. (in Ukrainian).

28. Orel L. V. Plant Preparations for Weed Control. Odessa : Mayak, 1997. 136 p. (in Ukrainian).

29. Pavliuchenko N. A., Dobroskok V. A., Krupa S. I. Dynamics of allelopathic activity of decay products of plant residues of *Syringa*

josikaea Jacq. f., *S. microphylla* Diels. and *S. persica* L. *Plant Introduction*. 2014. Iss. 64. P. 77–84. doi.org/10.5281/zenodo.1576069

30. Pavliuchenko N. A. Physiological and biochemical parameters of soil-plant system under allelopathic stress: diagnostic analysis and control. *Plant Introduction*. 2015. Iss. 67. P. 94–100. doi.org/10.5281/zenodo.2527009

31. Pavliuchenko N. A., Dobroskok V. A., Krupa S. I. Allelochemicals from *Syringa josikaea* Jacq. f., *S. microphylla* Diels. and *S. persica* L. introduced species: plant residues–soil relationships. *Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Health and Life Quality*. Nitra, 2015. Part II. P. 535–538. ISBN 978-80-522-1380-4.

32. Sollins P., Homann P., Caldwell B. A. Stabilization and destruction of soil organic matter: Mechanisms and controls. *Geoderma*. 1996. Vol. 74. P. 65–105.

33. Zaimenko N. V. Scientific Principles of Structural and Functional Design of Artificial Biogeocenosis in the System Soil-Plant-Soil. Kyiv : Naukova Dumka, 2008. 303 p. (in Ukrainian). ISBN 978-966-00-0716-1.

34. Smagin A. V. Theory and Practice of soil engineering. Moscow: Moscow State University Press, 2012. 544 p. (in Russian). ISBN 978-5-211-06299-3.

35. Zabaluev V. O. Edapho-phythocenotical basing of sustainable agroecosystems formation and functioning on reclaimed land in Steppe zone of Ukraine: extended abstract of doctor sci. diss. (Agriculture) on speciality 03.00.16 / National Agrarian University of Ukraine. Kyiv, 2005. 40 p.

36. Hamkalo Z. G., Shpakivska I. M., Maryshevych O. G. Lithogenic potential of pedosphere carbonization: theoretical-methodological, methodical and ecosystem approaches. *AgroChemistry and Soil Science*. 2021. Vol. 92. P. 41–51. doi:10.31073/acss92-05 (in Ukrainian).

#### **Information about the author:**

**Dzyuba Oksana Ivanivna,**

Candidate of Biological Sciences,

Senior Scientific Researcher at the Department of Allelopathy,

M. M. Gryshko National Botanic Garden of the National Academy of

Sciences of Ukraine

1, Tymiryazevska str., Kyiv, 01014, Ukraine

## ДОСВІД ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТРАНСКОРДОННИХ ПІДЗЕМНИХ ВОДНИХ МАСИВІВ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

Диняк О. В., Кошлякова І. Є., Кошляков О. Є., Люта Н. Г., Саніна І. В.

### ВСТУП

Підземні води є компонентною надр, водних ресурсів і екосистем (навколишнього природного середовища), тому процес управління ними є досить складним, багатофакторним і багатоцільовим. У залежності від кінцевої мети розробляються конкретні схеми оцінки та управління підземними водами.

Зокрема, в якості компоненти надр, підземні води розглядаються як найважливіша корисна копалина, що має ряд специфічних властивостей. Перш за все, це динамічність і відновлюваність запасів підземних вод. У той самий час підземні води можуть бути чинником, що ускладнює видобуток інших корисних копалин і вимагає запобіжних заходів боротьби з припливами води до гірничих виробок. Як частина водних ресурсів підземні води враховуються в водогосподарських балансах підприємств і територій, у розрахунках меженого стоку річок, розглядаються як складова ресурсів поверхневих вод. Як компонента навколишнього середовища (екосистем) підземні води формують зволожені ландшафти в зонах розвантаження або солончаки при неглибокому заляганні рівня ґрунтових вод. Динаміка рівнів та хімічний склад підземних вод враховуються при проектуванні будинків і споруд, при здійсненні меліоративних заходів, тощо.

Вода – необхідний елемент життєзабезпечення населення. Від її якості залежить стан здоров'я людей, рівень їх санітарно-епідеміологічного благополуччя, ступінь комфортності, а отже і соціальна стабільність суспільства. Зростання населення, швидка урбанізація та індустріалізація, розвиток сільського господарства і туризму, а також зміна клімату, способу життя і звичного раціону харчування невпинно тисне на водні ресурси та екосистеми. Необхідні нові засоби оцінки та управління цим ресурсом із врахуванням масштабу впливу (глобального, регіонального, локального, об'єктового).

## 1. Актуальність ідентифікації підземних водних масивів

Особливо складна ситуація виникає для транскордонних водних систем, які покривають 45 % суші в світі та поєднують дві або більше країн в частині водних ресурсів над (поверхневі води) і під (підземні води) поверхнею Землі<sup>1</sup>. Більше половини населення світу щодня залежить від водних ресурсів, які спільно використовуються більше ніж однією країною. Це поверхневі води транскордонних річок і озер, а також підземні води, що містяться в водоносних горизонтах і комплексах, поширених на території кількох країн. Оскільки потреба в цьому дорогоцінному ресурсі продовжує зростати, питання про необхідність співпраці між країнами для ефективного управління водними ресурсами стоїть доволі гостро.

З точки зору міжнародного права, транскордонне співробітництво закріплено в міжнародному праві та в Статуті ООН. Так, Конвенція про охорону та використання транскордонних водотоків та міжнародних озер (Конвенція по транскордонним водам) була прийнята в м. Гельсінкі, Фінляндія, в 1992 році та набула чинності в 1996 році. Вона виступає в якості механізму зміцнення національних заходів і міжнародного співробітництва по екологічно обґрунтованому управлінню транскордонними поверхневими і підземними водами, включаючи їх охорону. Станом на 31 жовтня 2013 року, в Конвенції по транскордонним водам беруть участь 39 країн з регіону Європейської економічної комісії (ЄЕК) ООН. Перед-бачається, що Конвенція досягне більш широкої участі завдяки глобальному відкриттю для всіх держав-членів ООН.

Водна рамкова директива Європейського Союзу (Директива 2000/60/ЄС або ВРД) також надає платформу для управління транскордонними водними ресурсами та стимулює країни одного басейну до діалогу і формування басейнової політики. Підхід ВРД заснований на класифікації і звітності по басейнах, включаючи характеристики вихідного стану, навантаження і вплив, комплексне управління на національному та міжнародному рівні, визначення цілей управління і жорсткі терміни їхнього досягнення, розробку басейнових планів і програм заходів, використання інформаційних

---

<sup>1</sup> Second Assessment of Transboundary Rivers, Lakes and Groundwaters / Economic commission for Europe Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes 2011. <https://www.unece.org/?id=26343>

систем, звітність і моніторинг, економічний підхід, участь широкої громадськості і т. ін.

Вважається, що найбільш ефективне управління поверхневими і підземними водами відбувається на рівні річкового басейну (басейну стоку) – об'єкта інтегрованого управління водними ресурсами (ІУВР)<sup>2</sup>. Зрозуміло, що проблему збереження і оптимального використання водних ресурсів спільно вирішують гідрогеологи, гідрологи, фахівці з водного господарства, гідротехніки, екологи, економісти. З огляду на це необхідно враховувати той факт, що басейн чи об'єкт управління може знаходитись на території різних країн.

На всій протяжності лінії державного сухопутного кордону України, по обидва боки від неї, існують системи поверхневих і підземних вод, які за визначенням є транскордонними. Ресурси підземних вод мають величезне значення для життя населення і розвитку економіки як України, так і суміжних держав. Україна межує з сімома країнами: Російською Федерацією, Молдовою, Білоруссю, Польщею, Словаччиною, Угорщиною, Румунією. Відтак транскордонними є ціла низка водоносних масивів, що лежать у межах різних річкових басейнів і гідрогеологічних регіонів. Вони характеризуються різними природно-техногенними умовами, які визначають кількісні та якісні характеристики підземних вод, їхню уразливість до забруднення, антропогенне навантаження, тенденції змін кількісного і якісного стану та ризики недосягнення екологічних цілей.

Тому проблема створення системи управління транскордонними водними басейнами, що враховує міжнародний аспект, є нагальною та необхідною.

Україна має значні ресурси питних підземних вод, пов'язані з різновіковими утвореннями (архею, протерозою, палеозою, мезозою та кайнозою), які за даними регіональної оцінки становлять 61 689,2 тис. м<sup>3</sup>/д і розробляються на 1469 ділянках 702 родовищ<sup>3</sup>.

Значна частина цих водоносних масивів є транскордонними – вони об'єднують чимало водоспоживачів з різних країн. Тому вивчення підземних вод у транскордонних зонах, забезпечення їхнього доброго кількісного та якісного стану, раціонального використання та ефективного управління набуває особливого

---

<sup>2</sup> Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС. Основні терміни та їх визначення: вид. офіційне. К. : Твій формат, 2006. 240 с.

<sup>3</sup> Стан підземних вод України. Щорічник. ДНВП «Геоінформ України», 2020.

значення<sup>4</sup>. Відповідно до Водної рамкової директиви та Конвенції з охорони й використання транскордонних водотоків і міжнародних озер (Гельсінкі, 1992), охорона та використання транскордонних водоносних горизонтів є важливими й невідкладними завданнями, ефективно вирішення яких може бути забезпечене лише за умови тісної міжнародної співпраці.

Отже, природні, антропогенні, а також і геополітичні питання у процесі ідентифікації транскордонних масивів і їхнього подальшого моніторингу є досить складними.

## **2. Стислий опис основних транскордонних водоносних масивів та основних водно-екологічних проблем**

Найдовші ділянки українського кордону – з Російською Федерацією (РФ), Молдовою та Білоруссю.

Транскордонні водоносні масиви на кордоні з РФ належать до річкових басейнів Дніпра та Сіверського Донця.

З російського боку транскордонними тут були визначені 4 водоносні масиви<sup>5</sup>, основними з яких є водоносний горизонт у тріщинуватих мергелях верхньої крейди (в межах Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну) і водоносний горизонт у середньокарбонічних пісковицях (в межах Донецької гідрогеологічної складчастої області). З цих двох водоносних горизонтів ведеться експлуатаційний водовідбір і в межах української території, аналіз результатів якого засвідчує суттєві зміни якості підземних вод під дією як антропогенних, так і значною мірою, природних чинників<sup>6</sup>.

У межах басейну Сіверського Донця водоносні горизонти приурочені до алювіальних четвертинних відкладів; пісків неогену та палеогену; верхньокрейдових мергелів і пісків; пісків та пісковиць альб-сеноману; пісків і пісковиць юри та тріасу; пісковиць карбону. За даними звіту<sup>7</sup>, водоносні горизонти у кайнозойських відкладах

---

<sup>4</sup> Experience in determining transboundary interaction of groundwater bodies (on the example of Ukraine and Belarus). Abstract of 20-th International Conference Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, Kyiv, 2021, Ukraine.

<sup>5</sup> Zektser I. S. Investigation of Transboundary Aquifers in Russia: Modern State and main tasks. Transboundary Aquifers in the Eastern Borders of the European Union. P. 79–85. <https://www.nato.int.science>

<sup>6</sup> Люта Н. Г., Лютий Г. Г. Геохімічні процеси в зоні аерації як фактор формування хімічного складу підземних вод ґрунтових і субґрунтових горизонтів : збірник наук. праць УкрДГРІ. К., 2011. No 1. С. 104–116.

<sup>7</sup> Стан басейну Сіверського Дінця та фактори впливу в умовах воєнних дій. Технічний звіт, 2018. <https://www.osce.org/files/f/documents/8/a/419462.pdf>



перебувають у незадовільному якісному стані. Кількісний стан, за винятком водоносних горизонтів у кам'яновугільних відкладах, є добрим. В останньому відбувається експлуатація водозаборів із перевищенням запасів підземних вод.

Враховуючи антропогенне навантаження басейну Сіверського Донця, в якому сконцентровано значний промислово-виробничий потенціал, що становить понад 30% від загального потенціалу України, і водночас низьку водозабезпеченість<sup>8</sup> (7,9 % від загальнодержавної), моніторинг підземних вод цього регіону має важливе значення, однак, зважаючи на поточну геополітичну ситуацію, зрозуміло, що реалізація моніторингу підземних вод транскордонних водоносних масивів наразі є нереальною.

Слід зауважити, що впродовж останніх років у межах невідконтрольної Україні території Донбасу виникла складна водно-екологічна обстановка. Внаслідок припинення шахтного водовідливу відбувається затоплення шахт, що супроводжується підвищенням рівнів і збільшенням мінералізації підземних вод. Не маючи можливості вплинути на цю ситуацію, ми стали свідками величезного натурального експерименту, який, за оцінками експертів, може мати вкрай негативні наслідки, передовсім на контрольованій Україною території, оскільки гіпсометрично вона знаходиться нижче затоплених шахт.

На кордоні з Молдовою транскордонні водоносні масиви лежать у межах басейну Дністра і суббасейну Нижнього Дунаю, на території трьох гідрогеологічних регіонів першого порядку з істотно різними гідрогеологічними умовами – Волино-Подільського артезіанського басейну, Гідрогеологічної області Українського щита та Причорноморського артезіанського басейну, що обумовило їхнє велике розмаїття.

Згідно з проектом плану управління річковим басейном Прута<sup>9</sup>, в його межах було виділено 16 об'єктів моніторингу – масивів підземних вод, з яких 3 безнапірні у четвертинних алювіальних і флювіогляціальних відкладах і 13 – напірних (з них 6 у відкладах неогену, переважно вапняках; 2 у мергелях і пісковиках крейдового віку, 2 у пісках і вапняках девону, 1 у силурійських вапняках, а також

---

<sup>8</sup> Томільцева, А. І., Яцик А. В., Мокін В. Б. та ін. Екологічні основи управління водними ресурсами. навч. посіб. К. : Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування. 2017. 200 с.

<sup>9</sup> <https://www.davr.gov.ua/fls18/Dnister/Dnister.pdf>

1 у вулканогенно-осадових породах венду і 1 – у тріщинуватих кристалічних докембрійських породах. Найдовший відрізок кордону з Молдовою належить до Причорноморського артезіанського басейну, де основні водоносні горизонти приурочені до неогенових вапняків, які в природних умовах відзначаються високою мінералізацією, переважно 1–3 г/дм<sup>3</sup>. Антропогенний вплив тут переважно визначають дифузні джерела забруднення в межах агроландшафтів.

На кордоні з Польщею транскордонні водоносні масиви належать в основному до басейну р. Західного Бугу та Дністра, а з точки зору гідрогеологічного районування – до Волино-Подільського артезіанського басейну. Територія відзначається досить високим антропогенним навантаженням, що впливає на якісний і кількісний стан підземних вод. Дослідження якості води горизонтів ґрунтових в межах української прикордонної території в межах басейну Західного Бугу показали високий рівень амонійного та нітратного забруднення ґрунтових вод<sup>10</sup>. До транскордонних належать також водоносні масиви в міоценових вапняках і пісковиках, а також у верхньокрейдових мергелях. Останні зазнають відчутних змін в процесі експлуатації, що найчастіше відображаються у збільшенні мінералізації за рахунок сульфатів внаслідок окислення піриту в техногенно зміненій зоні аерації<sup>11</sup>.

На даний час в Україні відбувається процес реформування системи управління водними ресурсами згідно вимог ВРД з урахуванням існуючого міжнародного досвіду<sup>12</sup>. Згідно ВРД встановлюються рамкові вимоги щодо захисту всіх видів природних вод, включаючи підземні. Вона вимагає ідентифікації «підземних водних масивів» (ПЗВМ) як невід’ємної складової частини басейнів природних вод. Відповідно до статті 2.12 ВРД «підземний водний масив – це чітко позначений обсяг підземних вод в рамках певного водоносного горизонту або горизонтів». Транскордонний поверх-

---

<sup>10</sup> Tranckner J., Helm B., Blumensaat F., Terekhanova T. (2010) Integrated Water Resource Management: Approach to Improve River Water Quality in the Western Bug River Basin. Transboundary Aquifers in the Eastern Borders of the European Union. P. 79–85. <https://www.nato.int.science>

<sup>11</sup> Люта Н. Г., Лютий Г. Г., Приходько С. М. (2016). Особливості змін якості підземних вод у процесі експлуатації водозаборів на території Львівської області. Геологічний журнал. К., 2016. № 2(355). С. 99–106.

<sup>12</sup> Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС. Основні терміни та їх визначення: вид. офіційне. К. : Твій формат, 2006. 240 с.

невий або підземний водний масив – це такий масив, що поширюється по обидва боки від кордону держав.

Тому передусім необхідно на основі аналізу гідролого-гідрогеологічних умов виділити транскордонні водні басейни, їх поверхневу та підземну складові таким чином, щоб не виникло професійних неузгодженостей між фахівцями з різних країн, тобто однозначно визначити межі транскордонних водних масивів. Також зрозуміло, що оцінка стану та управління станом транскордонних водних систем (у тому числі підземних вод) має полягати не лише в їх фактографічному вивченні (картографуванні на основі геоінформаційних систем), а й в ранжуванні за ступенем ризиків виникнення можливих транскордонних проблем. Задача ускладнюється також тим, що підземні води є динамічною компонентою надр, водних ресурсів і екосистем (навколишнього природного середовища), тому процес управління ними є досить складним, багатofакторним і багатofaльовим, а конкретні схеми оцінки та управління підземними водами розробляються в залежності від кінцевої мети.

Встановлення меж водних масивів являє собою доволі складну наукову і практичну задачу. Для чіткого визначення меж транскордонних масивів особливого значення набуває вивчення взаємного зв'язку поверхневих та підземних вод. Зокрема, з гідрогеологічних позицій підземний стік в річки розглядається як основний чинник інтенсивного водообміну між високими вододільними площами поглинання (інфільтрації) атмосферних опадів та площами дренавання водоносних шарів річками. У залежності від зміни природних умов окремих територій закономірно змінюються величина та режим підземного стоку в річки. Тому підземний стік є основним критерієм водного режиму на території масиву поверхневих вод (басейну річки або його частини)<sup>13</sup>. Дренавання підземних вод річками відбувається також при висхідному русі підземних вод, не лише в межах руслової ерозії та глибини залягання перших водотривів, а й нижче них, особливо якщо відсутні регіональні водотриви. Отже, підземні води є важливою складовою річкового стоку, перш за все в меженних умовах. У той самий час вони являють собою природний ресурс, що

---

<sup>13</sup> Водообмен в гидрогеологических структурах Украины. Водообмен в нарушенных условиях / В. М. Шестопалов, Н. С. Огняник, Н. И. Дробноход и др. К. : Наук. думка, 1991. 528 с.

використовується для водопостачання. На даний час у густонаселених районах з інтенсивною господарською діяльністю, де функціонують великі підземні водозабори, значний відбір води обумовлює перетікання підземних вод із суміжних водоносних шарів та інтенсифікацію залучення поверхневих вод до живлення підземних, а це відображається на якості останніх. З іншого боку, поверхневі водні масиви виявляються під негативним впливом з боку підземних у випадку, коли низький річковий стік ще більш знижується за рахунок відбору підземних вод. У свою чергу підйом рівня підземних вод, наприклад, у зв'язку з їх штучним або антропогенним поповненням, також може становити загрозу поверхневим водним масивам<sup>14</sup>.

Слід звернути увагу на те, що внаслідок антропогенного порушення природного кругообігу води негативні зміни у транскордонному поверхневому водному масиві можуть відбитися далеко за його межами у підземному водному масиві, який не є транскордонним. Наприклад, постачання населення м. Києва питною водою здійснюється як за рахунок поверхневих, так і підземних вод (два поверхневих водозабори, а саме Дніпровський та Деснянський, сеноман-келовейський водоносний комплекс і байоський водоносний горизонт). Вважається, що формування основних ресурсів вод (як поверхневих, так і підземних) для забезпечення міста відбувається в долині Верхнього Дніпра (рис. 1).

Дніпро – третя за величиною річка Європи, а також друга за величиною річка басейну Чорного моря. Басейн річки Дніпро є транскордонною системою: 20 % площі річкового басейну знаходиться в межах території Російської Федерації, 23 % на території Республіки Білорусь, і 57 % в межах території України.

За кількісним водозабезпеченням басейн Верхнього Дніпра має порівняно сприятливі умови, тобто кількість водних ресурсів можна вважати достатньою для сучасних та перспективних потреб у воді. Інше питання щодо якості. Водозбірний басейн в межах Білорусії складає 56,5 % території цієї країни, з урахуванням басейну р. Прип'ять, яка впадає в Дніпро вже на території України. Басейн Верхнього Дніпра на території України (з точки зору формування запасів для водозабезпечення м. Києва) знаходиться в Північній

---

<sup>14</sup> Водообмен в гидрогеологических структурах Украины. Водообмен в нарушенных условиях / В. М. Шестопапов, Н. С. Огняник, Н. И. Дробноход и др. К. : Наук. думка, 1991. 528 с.

частині України і обмежений державним кордоном України та створом Канівської ГЕС.



**Рис. 1. Напрямок підземного стоку для території суббасейнів Прип'яті, Верхнього Дніпра та Десни<sup>15</sup>; 1, 2 – артезіанські басейни та їх межі відповідно до гідрогеологічного районування; 3 – геоструктурна вододільна межа між артезіанськими басейнами західної частини Східно-Європейської платформи; 4 – орографічний вододіл між басейнами Чорного та Балтійського морів; 5 – напрямок потоку.**

Для цієї території характерними є значна штучна зарегульованість поверхневого стоку та характерна наявність різного роду урбаністичних систем, тобто територія зазнає значного антропогенного впливу, що потенційно впливає на якість води. На території верхнього Дніпра відповідно до вимог ВРД умовно виділяють чотири масиви підземних вод, а саме: алювіальні і алювіально-делювіальні

<sup>15</sup> Кошляков О., Диняк О., Кошлякова І. Проблеми виділення підземних водних масивів у межах транскордонних територій України з урахуванням вимог водного законодавства ЄС. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. 4(79). 67–70. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.79.10>

голоценових водоносні об'єкти в долинах і на терасах річок; флювіогляціальний, лімногляціальний і гляціальний водоносні об'єкти; неоген-палеогеновий масив; крейдянний масив. Останній масив відповідає сеноман-келовейському водоносному комплексу і, як згадувалось, є джерелом питного водопостачання м. Києва. За даними оцінки транскордонних річок, озер та підземних вод Європейської економічної комісії, неоген-палеогеновий масив є транскордонним з напрямком руху потоку в бік території України. Для території Білорусії характерним є дренавання річками не лише четвертинних водоносних горизонтів, а й крейдяних та юрських, місцями також тріщинних вод Українського кристалічного масиву. Тому масив підземних вод, що відповідає сеноман-келовейському водоносному комплексу, при вирішенні питань водопостачання м. Києва доцільно розглядати як транскордонний. Власне в межах території м. Києва внаслідок багаторічної експлуатації питних підземних вод сеноман-келовейського водоносного комплексу в структурі водообміну відбулися суттєві зміни.

У долинах річок у районах розташування водозабірних свердловин зафіксована найбільш значна інверсія потоку: зони природної висхідної фільтрації перетворилися місцями в ділянки активної низхідної фільтрації і, відповідно, додаткового живлення сеноман-келовейського водоносного комплексу. Також суттєво змінилася структура латеральної фільтрації. Фактично підземні водозабори перетворилися у головні дренаючі системи водоносного комплексу, а ті ділянки у долинах річок, які не охоплені п'єзометричними воронками, на сьогодні являють собою лише додаткові зони розвантаження.

Результати орієнтовних балансових розрахунків інтенсивності водообміну в системі підземних вод території м. Києва, які виконані авторами, свідчать, що на теперішній час частка атмосферних опадів та техногенних втрат у формуванні ресурсів сеноман-келовейського водоносного комплексу дорівнює приблизно 21 %, а час надходження поверхневих вод до згаданого комплексу складає приблизно 12 років. Це об'єктивно підтверджується результатами розрахунків за вмістом тритію у підземних та поверхневих водах: процент надходження поверхневих вод до сеноман-келовейського водоносного комплексу дорівнює 23, а час надходження – приблизно 10,4 роки. Тому погіршення якості питних підземних вод сеноман-келовейського водоносного комплексу певною мірою може бути

пов'язано зі змінами у транскордонних масивах поверхневих вод у суббасейні Верхнього Дніпра.

Отже, при визначенні та обґрунтуванні меж масивів підземних вод, організації оптимальної мережі моніторингу та аналізі результатів моніторингових спостережень виникає низка взаємопов'язаних актуальних адміністративно-правових і наукових питань, що вимагають вирішення чи, принаймні, врахування.

### **3. Результати виділення транскордонних масивів підземних вод на кордоні України з Білоруссю**

Слід зазначити, що виділення в межах транскордонних водоносних горизонтів масивів підземних вод, які повинні бути об'єктами спільного моніторингу, буває доволі складним. Це пов'язано з різними методичними підходами до виділення водоносних горизонтів і комплексів, стратифікації геологічних утворень, а також з різною роллю транскордонних водоносних горизонтів у водопостачанні населення з різних боків кордону.

Найпростіше ідентифікувати та узгоджувати транскордонні масиви підземних вод з колишніми республіками СРСР, яких об'єднує спільна геологічна школа, спільні геологічні карти та методичні підходи до проведення гідрогеологічних досліджень. Прикладом такої співпраці була реалізація проекту «Водна ініціатива Європейського Союзу плюс для країн Східного партнерства (EUWI+)», в рамках якого у 2021 році в Україні було виконано роботи з ідентифікації транскордонних водоносних горизонтів і узгоджено їхній перелік з білоруською стороною, визначено транскордонні групи масивів підземних вод (МПВ), які повинні бути об'єктами спільного моніторингу та взаємодії<sup>16</sup>.

На початковому етапі робіт було узгоджено, що ідентифікація транскордонних МПВ буде виконуватися в межах 50-кілометрових смуг з обох сторін, отже, була досліджена прикордонна смуга завширшки 100 км, що передбачало певний «запас» щодо можливого транскордонного впливу.

Після цього були враховані умови формування ресурсів підземних вод прикордонної зони. На кордоні з Білоруссю транскордонні водоносні горизонти належать в основному до басейну р. Дніпра, з точки зору гідрогеологічного районування – до

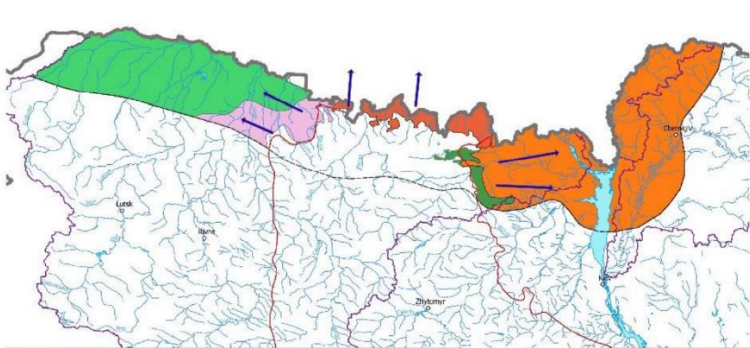
---

<sup>16</sup> [https://www.euwipluseast.eu/images/2021/03/PDF/UA\\_Dnipro-Transboundary-Groundwater-bodies\\_2021-UA.pdf](https://www.euwipluseast.eu/images/2021/03/PDF/UA_Dnipro-Transboundary-Groundwater-bodies_2021-UA.pdf)

Волино-Подільського артезіанського басейну, Гідрогеологічної області Українського щита і Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну.

Зіставлення гідрогеологічних карт масштабу 1:200 000 дозволило визначити транскордонні масиви підземних вод: безнапірні – в четвертинних болотних, алювіальних та озерно-алювіальних, водно-льодовикових відкладах, та напірні – у палеогенових, крейдових і докембрійських породах.

Прикордонна територія України з Білоруссю розміщена в зоні надмірного зволоження, отже, тут цілком сприятливі умови для живлення підземних вод. Формування запасів підземних вод забезпечується динамічними ресурсами, що утворюються в результаті інфільтрації атмосферних опадів. Перші від поверхні водоносні горизонти живляться в межах усієї території свого поширення. Загальний регіональний напрямок руху підземних вод спрямований від великої позитивної структури – Українського щита – на північ, захід і схід, до артезіанських басейнів. При цьому українська частина території, де відбувається живлення напірних водоносних горизонтів, на відміну від сусідньої білоруської, відзначається незначним антропогенним навантаженням – тут мінімальна щільність населення і відсутні крупні промислові підприємства, що мінімізує ризик забруднення підземних вод (рис. 2).



**Рис. 2. Регіональний напрямок потоку підземних вод в транскордонній зоні<sup>17</sup>**

<sup>17</sup> [https://www.euwipluseast.eu/images/2021/03/PDF/UA\\_Dnipro-Transboundary-Groundwater-bodies\\_2021\\_UA.pdf](https://www.euwipluseast.eu/images/2021/03/PDF/UA_Dnipro-Transboundary-Groundwater-bodies_2021_UA.pdf)



Для оцінки можливого антропогенного навантаження на кількісний стан підземних вод було зібрано та проаналізовано інформацію про водовідбір з виділених масивів у приграничній зоні.

Підземні води безнапірних МПВ використовуються у сільській місцевості для господарсько-побутових потреб розосереджених дрібних водоспоживачів, тому негативний транскордонний вплив не прогнозується.

Оцінка радіусу впливу водозаборів, що експлуатують напірні МПВ у 50-кілометровій смузі, виконувалася з використанням показників модульного живлення середньорічного річкового стоку 90% рівня забезпеченості. При таких значеннях модуля формування річкового стоку відбувається за рахунок підземних вод. У межах транскордонної території значення середньорічного річкового стоку 90% рівня забезпеченості складають 1,51–2,0; 2,01–3,0; 3,01–4,0  $\text{дм}^3/\text{сек} \cdot \text{км}^2$ .

Для родовищ із затвердженими експлуатаційними запасами підземних вод при розрахунку радіусу депресійних ліюк було враховано всю кількість затверджених запасів підземних вод, хоча зазвичай видобувається незрівнянно менше. Для водозаборів, які експлуатують підземні води із незатвердженими запасами, для розрахунку використовували значення обсягів видобутої води. Виконані розрахунки показали, що радіус впливу водозаборів на напірні МПВ у теригенних відкладах еоцену, карбонатних відкладах верхньої крейди, теригенних відкладах альб-сеноману та в ефузивно-теригенних породах докембрію, розміщених у прикордонній зоні, значно менший за відстань до державного кордону, що засвідчує відсутність негативного впливу на транскордонні МПВ з української сторони.

Отже, як природні, так і антропогенні умови формування підземних вод виділених транскордонних МПВ є сприятливими. Незважаючи на це, в зоні україно-білоруського кордону існують проблеми, пов'язані з надкористуванням та його впливом на підземну гідросферу, які потребують ретельного вивчення в моніторинговому режимі. Зокрема йдеться про Хотиславський кар'єр з видобування піску та крейди, розташований в 300 м від кордону, який, на думку деяких експертів, загрожує існуванню Шацьких озер. Стосовно цього питання існують різні думки, але абсолютно очевидно, що воно потребує детального вивчення і прискіпливої уваги з обох сторін кордону.

## **ВИСНОВКИ**

Вода – необхідний елемент життєзабезпечення населення, від її якості залежить стан здоров'я людей і соціальна стабільність суспільства.

Зростання населення, швидка урбанізація, розвиток сільського господарства, а також зміни клімату, тиснуть на водні ресурси та екосистеми. Це вимагає нових засобів оцінки та управління водними ресурсами на глобальному, регіональному, локальному та об'єктовому рівнях.

Особливо складна ситуація виникає для транскордонних водних систем, Більше половини населення світу щодня залежить від водних ресурсів, які спільно використовуються більше ніж однією країною.

Транскордонне співробітництво закріплено в міжнародному праві та в Статуті ООН. Водна рамкова директива Європейського Союзу (Директива 2000/60/ЕС або ВРД) також надає платформу для управління транскордонними водними ресурсами та стимулює країни одного басейну до діалогу і формування басейнової політики.

На даний час в Україні відбувається процес реформування системи управління водними ресурсами, встановлюються рамкові вимоги щодо захисту всіх видів природних вод, включаючи підземні. Це вимагає ідентифікації «підземних водних масивів» (ПЗВМ) як невід'ємної складової частини басейнів природних вод.

Встановлення меж транскордонних ПЗВМ являє собою доволі складну наукову і практичну задачу. Досвід та наявні результати такого встановлення в Україні наведений вище і детально описаний на прикладі кордону України з Беларуссю.

У подальшому успішне виконання поставленої задачі ідентифікації ПЗВМ буде залежати від централізованої організації робіт на державному рівні і наявного фінансування.

## **АНОТАЦІЯ**

Перед Україною стоїть завдання з імплементації Водної Рамкової директиви (ВРД) ЄС, що передбачає запровадження моніторингу підземних вод за басейновим принципом. У цьому контексті однією з важливих проблем є ідентифікація масивів підземних вод – об'єктів моніторингу підземних вод, для яких встановлюються екологічні цілі. Серед масивів підземних вод головну увагу слід приділяти транскордонним. Відповідно до ВРД та Конвенції з охорони й використання транскордонних водотоків і міжнародних озер (Гельсінкі, 1992), охорона та використання транскордонних

водоносних горизонтів є важливими й невідкладними завданнями, ефективно вирішення яких може бути забезпечене лише за умов тісної міжнародної співпраці. Україна має державний кордон протяжністю 6992,982 км і межує з сімома країнами. У статті наведено стислий опис трансграничних водоносних горизонтів на найбільш значних відрізках державного кордону, природні та антропогенні чинники, що впливають на їхній якісний та кількісний стан. Проаналізовано особливості формування ресурсів природних вод, що використовуються для водопостачання Київської промислово-міської агломерації, відзначено суттєві зміни в структурі водообміну одного з основних водоносних комплексів – у сеноман-келовейських відкладах. Розглянуто досвід ідентифікації трансграничних масивів підземних вод на кордоні України з Білоруссю, який доцільно використовувати у процесі подальшого транскордонного співробітництва.

### Література

1. Second Assessment of Transboundary Rivers, Lakes and Groundwaters / Economic commission for Europe Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes 2011. <https://www.unece.org/?id=26343>
2. Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС. Основні терміни та їх визначення: вид. офіційне. К. : Твій формат, 2006. 240 с.
3. Стан підземних вод України. Щорічник. ДНВП «Геоінформ України», 2020.
4. Lyuta, N., Sanina, I. Experience in determining transboundary interaction of groundwater bodies (on the example of Ukraine and Belarus). Abstract of 20-th International Conference Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, Kyiv, 2021, Ukraine. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521037>
5. Zektser I. S. Investigation of Transboundary Aquifers in Russia: Modern State and main tasks. Transboundary Aquifers in the Eastern Borders of the European Union. P. 79–85. <https://www.nato.int/science>
6. Люта Н. Г., Лютий Г. Г. Геохімічні процеси в зоні аерації як фактор формування хімічного складу підземних вод ґрунтових і субґрунтових горизонтів : збірник наук. праць УкрДГРІ. К., 2011. № 1. С. 104–116.
7. Стан басейну Сіверського Дінця та фактори впливу в умовах воєнних дій. Технічний звіт, 2018. <https://www.osce.org/files/f/documents/8/a/419462.pdf>

8. Томільцева А. І., Яцик А. В., Мокін В. Б. та ін. Екологічні основи управління водними ресурсами. навч. посіб. К. : Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування. 2017. 200 с.

9. <https://www.davr.gov.ua/fls18/Dnister/Dnister.pdf>

10. Tranckner J., Helm B., Blumensaat F., Terekhanov T. () Integrated Water Resource Management: Approach to Improve River Water Quality in the Western Bug River Basin. Transboundary Aquifers in the Eastern Borders of the European Union, 2010. P. 79–85. <https://www.nato.int/science>

11. Люта Н. Г., Лютий Г. Г., Приходько С. М. Особливості змін якості підземних вод у процесі експлуатації водозаборів на території Львівської області. Геологічний журнал. К., 2016. No 2(355). С. 99–106.

12. Водообмен в гидрогеологических структурах Украины. Водообмен в нарушенных условиях / В. М. Шестопапов, Н. С. Огняник, Н. И. Дробноход и др. К : Наук. думка, 1991. 528 с.

13. Кошляков О., Диняк О., Кошлякова І. Проблеми виділення підземних водних масивів у межах транскордонних територій України з урахуванням вимог водного законодавства ЄС. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. 4(79), 2017. 67–70. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.79.10>

14. Транскордонні підчастини масивів підземних вод в басейні Дніпра в Україні. 2021. [https://www.euwipluseast.eu/images/2021/03/PDF/UA\\_Dnipro-Transboundary-Groundwater-bodies\\_2021\\_UA.pdf](https://www.euwipluseast.eu/images/2021/03/PDF/UA_Dnipro-Transboundary-Groundwater-bodies_2021_UA.pdf)

**Information about the authors:**

**Dyniak Oksana Vasylivna,**

Candidate of Geological Sciences,

Associate Professor at the Department of Hydrogeology and Engineering Geology,

Taras Shevchenko National University of Kyiv

90, Vasylykivska str., Kyiv, 03022, Ukraine

**Koshliakova Iryna Yevhenivna,**

Engineer at the Department of Hydrogeology and Engineering Geology

Taras Shevchenko National University of Kyiv,

90, Vasylykivska str., Kyiv, 03022, Ukraine

**Koshliakov Oleksii Yevhenovych,**

Doctor of Geological Sciences,  
Head of the Department of Hydrogeology and Engineering Geology,  
Taras Shevchenko National University of Kyiv  
90, Vasylykivska str., Kyiv, 03022, Ukraine

**Luta Natalia Georgiivna,**

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences,  
Associate at the Department of Hydrogeology and Engineering Geology  
Taras Shevchenko National University of Kyiv  
90, Vasylykivska str., Kyiv, 03022, Ukraine

**Sanina Iryna Vladlenivna,**

Head of the Department of Hydrogeological, Engineering-geological and  
Environmental Geological Research  
Ukrainian Geological Research Institute of the State Enterprise  
"Ukrainian Geological Company"  
78, Avtozavodska str., Kyiv, 03100, Ukraine

## ФОРМУВАННЯ ФІТОЦЕНОЗІВ ГІСОПУ ЛІКАРСЬКОГО НА ТЕХНОГЕННО ТРАНСФОРМОВАНИХ ЗЕМЛЯХ МИКОЛАЇВЩИНИ

Добровольський П. А., Андрійченко Л. В., Коваленко О. А.,  
Качанова Т. В.

### ВСТУП

Рекультивация та повернення у біологічний кругообіг промислово порушених територій є умовою стабільного розвитку регіонів нашої країни. Відповідно до Закону України «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» рекультивация та реабілітація територій, порушених внаслідок діяльності антропогенної діяльності, є пріоритетним завданням національної природоохоронної політики. Техногенно порушені території, як правило, екологічно небезпечні. На забруднених територіях неможливо вирощувати культури, призначені до безпосереднього вжитку, і обмеженим є вирощування пасовищних культур. Несприятливий екологічний стан склався і в Миколаївській області – промислового регіоні, де багато забруднень, накопичених відходів. Відновленню підлягають землі, які були зайняті під кар'єрами, гідровідвалами і сховищами промислових відходів, транспортних комунікацій, ліквідованих підприємств тощо<sup>1,2</sup>.

Відвали важко піддаються рекультивации, а природне відновлення рослинного покриву відбувається досить повільно. Сучасний стан ґрунтового покриву області (деградація, втрата гумусу, водна і вітрова ерозія тощо) можна характеризувати таким, що знаходиться на грані екологічної катастрофи. У широкому комплексі заходів із відновлення порушених територій та охорони довкілля значна увага

---

<sup>1</sup> Litalien A., & Zeeb B. Curing the earth: A review of anthropogenic soil salinization and plant-based strategies for sustainable mitigation. *Sci Total Environ.* 2019. Vol. 698. 134235. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134235>

<sup>2</sup> Dhankher O. P., Doty S. L., Meagher R. B., & Pilon-Smits E. Biotechnological approaches for phytoremediation. *Plant biotechnology and agriculture.* 2011. Academic Press, Oxford. P. 309–328.

надається ревіталізації антропогенно змінених екосистем, зокрема, фітомеліорації та рекультивациї, що передбачають розроблення та проведення комплексних робіт із відновлення естетичної цінності та продуктивності антропогенно змінених ландшафтів. В цьому може допомогти вирощування рослин природних фітомеліорантів-закріплювачів ґрунтів. До таких рослин відносять і гісоп лікарський – багаторічний напівкущик, що відзначається широкою екологічною амплітудою. Вирощують його і як пряно-смакову культуру, застосовують в консервній, лікєро-горілочній промисловості, а також як медонос<sup>3,4</sup>. Як і більшість пряно-ароматичних рослин, гісоп володіє лікарськими властивостями. Низкою дослідників відмічено протизапальну, пом'якшувальну, протиґістоцидну, в'яжучу, тонізуючу, ранозагоювальну дію гісопу лікарського<sup>5,6,7</sup>. Екстракт та ефірна олія гісопу показали помірну антиоксидантну та протимікробну активність, а також протигрибкові та противірусні властивості *in vitro*. Рослину сировину використовують для лікування гострих респіраторних інфекцій, астми, анемії, неврозів, ревматизму, стенокардії, стоматиту, як ранозагоювальний засіб.

Гісоп лікарський – типовий ксерофіт, добре пристосований до посухи, маловимогливий до умов вирощування<sup>8</sup>. Розселення гісопу

---

<sup>3</sup> Fathiazad F., & Hamedeyazdan S. A review on *Hyssopus officinalis* L. Composition and biological activities. *Afr. J. Pharm. Pharmacol.* 2011. № 5. P. 1959–1966. <https://doi.org/10.5897/AJPP11.527>

<sup>4</sup> Borrelli F., Pagano E., Formisano C., Piccolella S., Fiorentino A., Tenore G. C., Izzo A. A., Rigano D., & Pacifico S. *Hyssopus officinalis* subsp. *aristatus*: An unexploited wild-growing crop for new disclosed bioactives. *Ind. Crops Prod.* 2019. № 140. 111594. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111594>

<sup>5</sup> Alinezhad H., Azimi R., Zare M., Ebrahimzadeh M. A., Eslami S., Nabavi, S. F., & Nabavi S. M. Antioxidant and antihemolytic activities of ethanolic extract of flowers, leaves and stems of *Hyssopus officinalis* L. var. *angustifolius*. *Int. J. Food Prop.* 2013. № 16. P. 1169–1178. <https://doi.org/10.1080/10942912.2011.578319>

<sup>6</sup> Soleimani H., Barzegar M., Sahari M. A., & Naghdi Badi H. An investigation on the antioxidant activities of *Hyssopus officinalis* L. and *Echinacea purpurea* L. plant extracts in oil model system. *J. Med. Plants.* 2011. № 10. P. 61–72.

<sup>7</sup> Moro A., Zalacain A., de Hurtado M.J., & Carmona M. Effects of agronomic practices on volatile composition of *Hyssopus officinalis* L. essential oils. *Molecules.*, 2011. № 16. P. 4131–4139. <https://doi.org/10.3390/molecules16054131>

<sup>8</sup> Dumacheva E. V., Cherniavskih V. I., Markova E. I., Filatov S. V., Tokhtar V. K., Tokhtar L. A., Pogrebnyak T. A., Horolskaya E. N., Gorbacheva A. A., Vorobyova O. V., & Glubsheva T.N. Biological resources of the *Hyssopus* on the south of European Russia and prospects of its introduction. *International Journal of Green Pharmacy.* 2017. № 11(3). P. 476–480.

лікарського по території техногенно забруднених земель пов'язане невибагливістю цього виду до ґрунтових умов зростання. Завдяки цьому гісоп лікарський створює передумови для наступного розвитку через 7–10 років на таких ділянках відвалів фітоценозів близьких за структурою до природних степових. Південна зона Степу України за кліматичними та ґрунтовими умовами відповідає необхідним вимогам для вирощування гісопу лікарського<sup>9,10</sup>. Рослини зимостійкі і добре переносять посуху. Насіння цього виду також характеризується високою життєздатністю, лабораторна схожість насіння на рівні 95–97 % не змінюється упродовж трьох-чотирьох років зберігання.

У зв'язку з цим особливий інтерес представляє вивчення особливостей росту і розвитку цього важливого ефіроносу, а також можливість його вирощування у виробничих умовах.

### **1. Виникнення передумов проблеми та формулювання проблеми**

Зрошення – один з найбільш ефективних факторів інтенсифікації сільськогосподарських культур. Гісоп відносять до групи ксерофітів наряду з чабером, шавлією та іншими пряно-ароматичними культурами. І хоча він не виносить болотяні ділянки із застійною водою, однак у критичні періоди вегетації рослин, а також для підвищення польової схожості рослин зрошення посівів просто необхідне. На сьогоднішній день одним з найбільш перспективних способів поливу, який відповідає зазначеним вимогам, є краплинний<sup>11</sup>. Застосування краплинного зрошення є доцільним не тільки з точки зору підвищення врожайності, а й з огляду економії водних ресурсів<sup>12</sup>.

---

<sup>9</sup> Goncariuc M., & Balmus Z. Diversity of the essential oil content and chemical composition of *Hyssopus officinalis* L. genotypes. Muzeul Olteniei Craiova. Oltenia. *Studii și comunicări. Științele Naturii*. 2013. № 29(1). P. 71–77.

<sup>10</sup> Kizil S., Güler V., Kirici S., & Turk M. Some agronomic characteristics and essential oil composition of Hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) under cultivation conditions. *Acta scientiarum Polonorum. Hortorum cultus. Ogrodnictwo*. 2016. № 15. P. 193–207.

<sup>11</sup> Коваленко О. А., Андрійченко Л. В. Як вирощувати нову пряно-ароматичну культуру гісоп лікарський у південній частині Степу України. *The Ukrainian FARMER : партнер сучасного фермера*. 2019. № 2(110). С. 122–123.

<sup>12</sup> Ромащенко М. І., Шатковський А. П., Рябков С. В. Краплинне зрошення овочевих культур і картоплі в умовах Степу України. К. : «ДІА», 2012. 248 с.



Існує думка, що регулярне зрошення знижує накопичення ефірної олії у рослин і погіршує його якість. Але багаторічні дослідження окремих науковців показали, що вирощування пряно-ароматичних культур при локальному зволоженні, зокрема, підтримка постійного режиму вологості ґрунту в кореневмісному шарі цих рослин сприяла значному збільшенню продуктивності рослин: врожайності, масової частки і збору ефірної олії<sup>13</sup>.

Встановлено, що під впливом удобрення ефективність зрошення підвищується, а при сумісному використанні зрошення та удобрення прибавка врожаю значно перевищує прибавки, отримані при їх роздільному застосуванні. За вирощування гісопу лікарського на фонах  $N_{60}P_{80}K_{80}$  та  $N_{80}P_{100}K_{100}$  забезпечувався приріст лікарської сировини на 57–81 % порівняно з неудобреним контролем<sup>14</sup>.

За вирощування районованих у Республіці Білорусь сортів гісопу ‘Лазурит’, ‘Розоцветковый’ та ‘Завєя’ висота рослин третього року вирощування складала 50–65 см, діаметр куща – 30–35 см, кількість суцвіть на одну рослину коливалася в межах 40–70 штук. При цьому урожайність фітомаси у фазу масового цвітіння була від 1,5 до 1,7 кг на 1 квадратний метр<sup>15</sup>.

Для впровадження *Hyssopus officinalis* L. у промислове виробництво авторами статті були проведені попередні дослідження (2016–2017 рр.) по вивченню адаптаційного потенціалу цієї культури при вирощуванні в умовах природної степової екосистеми, на базі ФГ «Федосов» Казанківського району Миколаївської області на площі 0,5 га, сорт ‘Національний’. Встановлено, що гісоп лікарський – цінна пряно-ароматична культура, яка за своїми біологічними особливостями, вимогами до ґрунтово-кліматичних умов може вирощуватися в Степу України, забезпечуючи високий урожай

---

<sup>13</sup> Орел Т. И., Работягов В. Д. Качество сырья и эфирного масла эфиромасличных и лекарственных культур в условиях подпочвенного орошения в Крыму. Материалы XIV междунар. научн. конф. «Экологические основы онтогенеза природных сообществ Евразии». Херсон : Айлант, 2002. С. 75–79.

<sup>14</sup> Вечер Н. Н., Березко М. Н. Влияние минеральных удобрений и норм высева семян на урожай лекарственного сырья иссопа. Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : сборник научных статей Междунар. науч.-практ. конференции. Минск : БГАТУ, 2016. С. 318–321.

<sup>15</sup> Коваленко Н. А., Ахрамович Т. И., Супиченко Г. Н., Сачивко Т. В. Антибактериальная активность эфирных масел иссопа лекарственного. *Химия растительного сырья*. 2019. № 1. С. 191–199.

квіткової маси для використання у лікарській фармакології. На важких суглинистих, перезвожених ґрунтах, рослина росла погано. Натомість на ділянках з південним схилом рослини утворювали у середньому 74 стебла, висота їх становила 65,9 см, маса листової частини 1053 г/м<sup>2</sup>, коефіцієнт водоспоживання посівів досягав 1951 м<sup>3</sup>/т, урожайність сухої сировини – до 40 ц/га із вмістом в ній ефірної олії 0,85 %, аскорбінової кислоти – 104,6 мг %. Цей досвід ми також використали у теперішньому експерименті.

Проте до цього часу мало з'ясовані особливості формування продуктивності культури у антропогенно трансформованих екосистемах, експериментальні дані щодо перспективності вирощування *Hyssopus officinalis* на збіднених та деградованих ґрунтах відсутні, в умовах Миколаївської області такі дослідження не проводилися. Тому розробка елементів технології вирощування гісопу лікарського є дуже актуальною. Отримані результати також дозволять теоретично обґрунтувати і експериментально підтвердити можливість практичного використання гісопу лікарського в овочівництві та фармацевтичній промисловості.

## **2. Аналіз існуючих методів вирішення проблеми формування фітоценозів гісопу лікарського**

Метою роботи було на основі вивчення біології гісопу лікарського встановити параметри продуктивності культури, що забезпечать отримання квіткової маси на рівні 40–50 ц/га та розробити способи його ефективного вирощування в умовах техногенно трансформованих земель, зокрема, при визначенні впливу рівнів зволоження та добрив на продуктивність гісопу лікарського в умовах краплинного зрошення. Експериментальні дослідження проводили в зоні Південного Степу України, на землях Миколаївської ДСДС ІЗЗ НААН протягом 2018–2020 рр. Клімат – континентальний, посушливий.

Земельна територія для проведення дослідів представляла собою пустирну ділянку у занедбаному стані, що почала перетворюватися у стихійне сміттєзвалище. Отже, площа під дослідом являла собою зручний модельний об'єкт, що слугував еталоном при розробці заходів з оптимізації техногенно трансформованого регіону у структурну організацію фітоценетичного покриву гісопу лікарського. На таких техногенно трансформованих землях із незмінним рельєфом місцевості можливе проведення рекреаційної фітотеліорації, що передбачає такі види робіт: обстеження порушеної

території з метою придатності до вирощування рослин; внесення мінеральних або органічних добрив; сімба покривної рослинності; проведення агротехнічного догляду за рослинами.

Продуктивність рекультивованих земель пов'язана із вмістом гумусу, агрохімічним та механічним складом орного шару ґрунту, зумовлена ступенем забруднення ґрунту важкими металами тощо. Згідно проведеному аналізу, ґрунт дослідного поля являв собою чорнозем південний із доволі високим вмістом гумусу. За вмістом доступних форм елементів живлення ґрунт характеризувався низькою забезпеченістю азотом, середньою – рухомим фосфором, високою – обмінним калієм (табл. 1). Перевищення вмісту важких металів, радіонуклідів, пестицидів у ґрунті виявлено не було. Отже, досліджувана територія виявилася придатною для вирощування гісопу.

Таблиця 1

**Аналіз ґрунту дослідної ділянки, шар 0–30 см**

Мул, %	33,6
Пісок, %	11,3
Фізична глина, %	55,1
Вміст гумусу, % (за Тюрніним)	2,1
Азот нітратний N-NO <sub>3</sub> , мг/кг (за Тюрніним-Коновою)	4,2
Рухомий фосфор, мг/кг (за Чириковим)	142,5
Обмінний калій, мг/кг (за Чириковим)	182,0
pH <sub>сол</sub> (ДСТУ ISO 10390:2007)	6,8
Сума ввібраних основ (Ca+Mg), мг-екв на 100 г	30,0
Вологість в'янення, %	11,7
Найменша вологоємність, % (НВ)	24,8

Перед посадкою по всій ділянці було встановлено краплинне зрошення, для більш ефективного та якісного забезпечення кореневої системи рослин вологою. Контроль за передполивною вологістю ґрунту виконували за допомогою тензіометрів, поливи припиняли за 14 днів до збирання врожаю квіткової маси. Висадку розсади здійснювали навесні 2017 року вручну на заздалегідь розміченій ділянці у лунки глибиною і діаметром 25–30 см. Площа живлення рослин складала 1x0,6 м. Коренева шийка при висадці заглиблювалася на 4–5 см нижче рівня ґрунту.

Посадкова площа ділянки становила 162 м<sup>2</sup>. Площа облікової ділянки – 5 м<sup>2</sup>. Повторність досліджуваних варіантів була триразова. Об'єктом досліджень слугував середньостиглий сорт 'Маркіз', що

має синьо-фіолетове забарвлення віночка. Схема досліду включала в себе два фактори: фактор А (доза мінеральних добрив): без добрив (контроль),  $N_{60}P_{60}$  (рекомендована),  $N_{30}P_{30}$  врозкид +  $N_{30}P_{30}$  з поливною водою. По фактору В (режими зрошення) вивчали два рівня зволоження культури: 80–70–70 % НВ та 90–80–70 % НВ. Догляд за посівами включав в себе розпушування міжрядь на глибину 5–6 см, другий міжрядний обробіток проводили на глибину 8–10 см, а також проведення поливів та внесення добрив разом з поливною водою. Для фертигації застосовували аміачну селітру та амофос. Скошування наземної маси проводили у фазу масового цвітіння і висушували під укриттям.

### **3. Агроекологічні умови вирощування гісопу лікарського на території Миколаївщини**

Миколаївська область розташована на півдні України в басейні нижньої течії ріки Південний Буг. Більша частина області лежить у межах Причорноморської низовини. За особливості природних умов території області належить до степової зони. У ґрунтовому покриві переважають південні та звичайні чорноземи, каштанові ґрунти. У південній частині області маються слабо- та середньо-солонцюваті ґрунти важкого механічного складу. Клімат Миколаївщини помірно-континентальний з м'якою малосніжною зимою і жарким посушливим літом. Метеокліматичні характеристики досліджуваної місцевості в літній період майже субтропічні, але демонструють стрімку меридіонально-залежну тенденцію зменшення опадів. На північній межі в районі нижньої течії Синюхи вони складають 450–460 мм/рік, а за 180 км на південь – в усті Інгулу ледве сягають 280 мм/рік, що більш характерно для напівпустелі. Генетичні умови природнього розповсюдження гісопу лікарського дозволяють вважати її світлостійкою та світлолюбною рослиною, здатною виносити значні високі температури. В районах природного розповсюдження вона росте на щебенистих ґрунтах, що дозволяє вважати рослину невибагливою до ґрунтів, але краще росте і розвивається на освітлених родючих ґрунтах з нейтральною кислотністю. Гісоп є типовим ксерофітом. Отже, за ґрунтовими вимогами землі Миколаївської області придатні для вирощування гісопу лікарського.

Одними з найбільш важливих для гісопу кліматичних факторів є середній з абсолютних мінімумів температури повітря і сума активних температур повітря вище 10 °С, що відображають умови

морозонебезпеки і теплозабезпечення території. У відповідності до вказаних показників на території Миколаївщини виділено три агрокліматичних райони.

Перший, *північний агрокліматичний район* характеризується наступними показниками: сума температур вище 10° 2900–3000, сума опадів за рік 410–470 мм, ГТК 0,8–0,9. Середня тривалість безморозного періоду 160–185 днів, вегетаційного – 215–220, абсолютний мінімум температури повітря – –32 °С. Другий, *центральний агрокліматичний район* характеризується сумою температур вище 10° 3000–3200, сумою опадів за рік 360–410 мм, ГТК 0,7–0,8. Середня тривалість безморозного періоду 185–200 днів, вегетаційного – 220–225, абсолютний мінімум температури повітря – –30 °С. Третій, *південний агрокліматичний район* характеризується наступними показниками: сума температур вище 10° 3200–3400, сума опадів за рік 330–360 мм, ГТК 0,6–0,7. Середня тривалість безморозного періоду 195–205 днів, вегетаційного – 225, абсолютний мінімум температури повітря – –28 °С.

Гісоп – рослина морозостійка, холодостійка, витримує низькі температури та вітер, відрізняється посухостійкістю, тобто здатна переносити тривалі періоди зневоднення і перегрів з найменшим зниженням продуктивності. Насіння проростає при температурі +2 °С, оптимальною температурою для нормального росту та розвитку вважається 20–25 °С. Мінімальна температура, яку рослина може витримати складає – 5 °С, а максимальна біля – 35 °С. Отже, температурні показники у всіх трьох зонах Миколаївщини знаходяться в оптимальних межах для розвитку культури гісопу, тобто сума температур вище 10° від 2900 до 3200 °С і більше, тривалість безморозного періоду – 215–225 днів дає можливість сформувати один-два врожаї квіткової маси на рік. Визрівання пагонів, накопичення поживних речовин, що відбувається після закінчення вегетативного росту, триває до жовтня – початку листопада, тобто до перших приморозків.

Велика кількість опадів в холодний період створює добрі запаси вологи в ґрунті, що сприяє дружньому росту гісопу на початку вегетації. Весняні і літні опади частково компенсують випарування і спожиту рослинами вологу, тим не менш, у другій половині літа і початку осені створюються дуже посушливі умови. Недостатня кількість опадів в теплу частину року викликає необхідність зрошення гісопу лікарського.

На продуктивність гісопу лікарського впливають умови зимового періоду. Зима на території Миколаївщини характеризується як помірно м'яка, тому підмерзає гісоп дуже рідко через вимокання або якщо висаджений на низьких ділянках, тому заболочені ділянки для його вирощування не придатні. Отже, причинами пошкодження гісопу лікарського взимку найчастіше бувають: вимерзання, випрівання, видування та льодяна кірка. Ступінь пошкодження рослин гісопу визначається інтенсивністю та тривалістю дії небезпечних зимових явищ, зимостійкістю і морозостійкістю сортів, стану та віку насаджень. Навіть у сприятливих умовах Миколаївщини, при дії екстремально низьких для цього регіону температур (мінус 28–32 °С), особливо в умовах північного агрокліматичного району, у рослин спостерігається пошкодження тканин, відмирання пагонів, надто за відсутності снігового покриву.

В останні роки в січні спостерігаються тривалі відлиги, коли температури повітря підвищуються до + 8 ... + 10° С, що сприяє виходу бруньок рослин зі стану органічного спокою. Такі зміни в умовах перезимівлі гісопу призводять до негативних наслідків – зниженню морозостійкості рослин.

Для збереження насаджень гісопу лікарського від негативного впливу зимових умов оптимальною є висота снігового покриву не менше 10 см. При такій висоті снігу глибина промерзання ґрунту становить менше 100 см і температура на поверхні ґрунту не знижується нижче критичної температури вимерзання (не нижче – 16 °С при морозах до –30 °С). За наявності більшого снігового покриву насадження гісопу переносять більш низькі температури. У середньому багаторічному на досліджуваній території сніговий покрив нестійкий і встановлюється тільки в північних і центральних районах Миколаївщини. Дата стійкого залягання снігового покриву припадає на III декаду грудня. Поступово висота снігового покриву збільшується з 4 до 15 см в північних та з 4 до 9 см в південних районах у II та III декадах лютого. Руйнується сніговий покрив в основному в I декаді березня. В південному агрокліматичному районі Миколаївщини, як уже зазначалося вище, стійкий сніговий покрив встановлюється тільки в окремі роки. Аналіз матеріалів багаторічних спостережень за гісопом лікарським у Миколаївській області показав, що насадження, старші п'яти років при безсніжжі, а також при сніговому покриві до 10 см вимерзали частково або повністю вже при температурі повітря –21, –22 °С. Молоді куці (1–4-річні) переносять зиму краще.

Переважаючими вітрами у холодний період року є північно-східні, а в теплий – північно-західні. В окремі роки, особливо у ранній весняний період, вітри досягають значної сили, переходячи у пилові бурі, що слугує причиною видування ґрунту та механічного руйнування рослин гісопу лікарського. Ще одним показником перезимівлі гісопу лікарського є мінімальна температура повітря. Найнижчі середні по області температури повітря спостерігаються в січні і коливаються по території від  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Середній із абсолютних мінімумів повітря на Миколаївщині коливається у зимовий період від  $12$  до  $17\text{ }^{\circ}\text{C}$  морозу. Проаналізувавши декадні середні температури повітря, ми можемо стверджувати, що температура нижче  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  морозу, в середньому на нашій території тримається не більше 20 днів.

Глибина промерзання ґрунту суттєво впливає на умови перезимівлі гісопу лікарського. Дослідження показали (табл. 1), що середня глибина промерзання ґрунту на Миколаївщині досягає найбільших значень в II–III декади лютого і коливається від 43 до 48 см.

Таблиця 2

**Середня багаторічна глибина промерзання ґрунту  
у Миколаївській області**

Місяць	Грудень			Січень			Лютий			Березень	
Декада	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
Глибина, см	5	9	11	13	20	21	23	48	43	34	19

Згубної дії можуть надати пізні весняні заморозки, що особливо часто спостерігаються в умовах північного та центрального агрокліматичних районів області. У разі підмерзання рослин необхідна вимушена обрізка сухих пагонів гісопу, аналогічна «омолодженню».

Отже, зважаючи на те, що гісоп лікарський є досить пластичною культурою щодо умов зовнішнього середовища, в умовах Миколаївської області дослідження з інтродукції та розробка технологій вирощування цієї культури із високим адаптаційним потенціалом є актуальними. Вивчення матеріалів показує, що погодні умови літа й осені сприятливі. Більш істотним є вплив метеорологічних умов зимово-весняного періоду на врожайність суцвіть ефіроносу. Тому для найбільш повної реалізації біологічного потенціалу гісопу лікарського і отримання максимальних врожаїв квітково-стеблової маси краще розміщувати гісопові насадження у третьому, південному агрокліматичному районі Миколаївщини, де

агроекологічні умови найбільш повно відповідають біологічним вимогам рослин.

Осінньо-зимові періоди досліджуваних років були сприятливими для росту й перезимівлі гісопу лікарського. Обмерзання пагонів і бруньок, загибелі рослин не спостерігалась. Погодні умови у роки досліджень були різними. Так, 2018 р. можна віднести до посушливого, 2019 р. – до середньопосушливого, а 2020 р. – до сприятливого за вологозабезпеченістю року. В усі роки дослідження починаючи з середини квітня, внаслідок низької відносної вологості повітря та суховійних явищ швидко висихали верхні шари ґрунту та ускладнювалися умови для росту гісопу лікарського. Незначні опади не пом'якшували дію засушливих явищ, тому з кінця квітня включали краплинне зрошення.

#### **4. Параметри продуктивності гісопу лікарського для створення ефективних фітоценозів**

Дослідженням динаміки ростових процесів гісопу лікарського впродовж генеративного періоду встановлено, що максимальної висоти рослини досягали на третій рік життя (37,4–83,9 см), в той час як мінімальна була в перший рік вегетації – 24,9–55,9 см. Починаючи з другого року життя гісопу кількість вегетативно-генеративних пагонів у куці зростала. Так, на другий рік їх середня кількість становила 45–80 шт., а на третій – 66–95 шт. (рис. 1, 2).



**Рис. 1.** Рослини гісопу лікарського першого року життя





**Рис. 2.** Рослини гісопу лікарського третього року життя

Найвища маса рослини гісопу лікарського також встановлена на третій рік життя ( $659,4\text{--}1218,4\text{ г/м}^2$ ), найменша – у перший рік ( $264,3\text{--}445,3\text{ г/м}^2$ ). Причому за умови зрізання отави рослин *H. officinalis* наприкінці червня (фаза початку цвітіння) спостерігали відростання пагонів на 30–50 см і їх цвітіння впродовж останньої декади серпня – початку вересня. При цьому, у зв'язку зі зниженням температури, сформовані квітки були менших розмірів, насіння не дозрівало. Урожайність фітомаси в даному випадку була вдвічі меншою в порівнянні з першим укосом.

Нами було виявлено різницю у біометричних параметрах рослин залежно від удобрення та режимів зрошення (табл. 3). Найбільш істотним це збільшення було за внесення  $N_{30}P_{30}$  врозкид та  $N_{30}P_{30}$  з поливом, у цьому варіанті на одній рослині нараховувалося 70–76 стебел, висота рослин досягала 59,9–69,5 см, а маса рослини складала  $836,5\text{--}884,8\text{ г/м}^2$  (залежно від режиму зрошення культури). Дослідження показали, що при вирощуванні гісопу за дотримання режиму зрошення 80–70–70 % НВ урожайність квіткової сировини у абсолютно сухій вазі складала 41,8 ц/га, а при дотриманні режиму 90–80–70 % НВ – 43,0 ц/га (середнє за 2018–2020 рр.).

Таблиця 3

**Параметри продуктивності гісопу лікарського  
(середнє за 2018–2020 рр.)**

Удобрєння (А)	Висота, см	Кількість стебел, шт	Діаметр куща, см	Маса рослини, г/м <sup>2</sup>	Урожайність, ц/га
Рівень зволоження (В) – 80–70–70 % НВ					
1. Контроль (без добрив)	31,0±5,0	47±7	18±3	486,6±98,4	32,3±5,9
2. N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> врозкид	46,3±5,0	60±7	27±3	620,9±98,4	40,6±5,9
3. N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> врозкид+ N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> з поливом	59,9±5,0	70±7	33±3	836,5±98,4	52,6±5,9
<i>Середнє</i>	<i>45,7</i>	<i>58,7</i>	<i>25,9</i>	<i>648,0</i>	<i>41,8</i>
Рівень зволоження (В) – 90–80–70 % НВ					
1. Контроль (без добрив)	42,5±5,1	52±6	23±3	506,2±105,3	33,8±6,1
2. N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> врозкид	56,9±5,1	67±6	33±3	633,9±105,3	41,5±6,1
3. N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> врозкид+ N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> з поливом	69,5±5,1	76±6	38±3	884,8±105,3	53,7±6,1
<i>Середнє</i>	<i>56,3</i>	<i>65,1</i>	<i>31,4</i>	<i>675,0</i>	<i>43,0</i>
<i>НІР<sub>05</sub> для урожаю по факторах: А – 4,74; В – 3,87; АВ – 6,70.</i>					



**Рис. 3. Збір суцвітть гісопу лікарського третього року життя**

Порівнюючи режими зрошення між собою, слід зауважити, що режим зрошення 80–70–70 % НВ за ефективністю був близьким до 90–80–70 % НВ, адже середні рівні врожайності гісопу лікарського у вказаних варіантах були достовірно однаковими між собою (НІР<sub>05</sub> по фактору В – 3,87 ц/га). Отже, для формування врожайності квіткової сировини гісопу достатньо вирощувати культуру за використання режиму зрошення 80–70–70 % НВ.

Внесення мінеральних добрив на фоні краплинного зрошення підвищувало врожайність квіткової маси гісопу лікарського. Так, при внесенні мінеральних добрив прибавка врожаю становила 7,7–20,3 ц/га. Найбільшу урожайність у 52,6–53,7 ц/га сухої квіткової сировини одержано у варіанті, де внесли 50 % дози мінеральних добрив в розкид і 50% з поливною водою, при дотриманні режимів зрошення 80–70–70% НВ та 90–80–70% НВ.

Отже, в умовах Миколаївської області здійснено оцінку успішності та перспективності вирощування гісопу лікарського (*Hyssopus officinalis*) сорту 'Markiz', максимальні біометричні показники якого формувалися на третій рік життя. У середньому за 2018–2020 рр. оптимальні параметри продуктивності гісопу лікарського (найбільша кількість стебел на одній рослині 70–76 шт., з висотою рослин 59,9–69,5 см, масою однієї рослини 836,5–884,8 г/м<sup>2</sup>) відмічені за внесення мінеральних добрив N<sub>60</sub>P<sub>60</sub> (50 % врозкид і 50 % з поливною водою).

Результати досліджень паралельно апробовувалися за участю авторів упродовж 2018–2020 рр. у ТОВ «НВО «Нові Технології» в рамках реалізації проекту біологічної рекультивациі антропогенно трансформованих земель, де гісоп вирощували на площі 0,4 га. За основу було взято краший варіант з такими елементами вирощування: сівба у II декаді жовтня, режим зрошення 80–70–70 % НВ, внесення N<sub>60</sub>P<sub>60</sub> (50 % врозкид і 50 % з поливною водою). На підставі отриманих результатів було встановлено, що показники проективного покриття рослин на третій рік вирощування досягли 75 % і більше, ступінь заростання порушених ділянок була високою. Кількість рослин варіювала від 2 до 4 шт./м<sup>2</sup>, висота сягала 60–80 см, діаметр куща становив 40–50 см, кущі на третій рік життя змикалися між собою, утворюючи щільний рослинний покрив. Дослідження в межах апробованого способу рекультивациі показали урожайність квіткової маси гісопу на рівні 48,1 ц/га.

## ВИСНОВКИ

Враховуючи біоекологічні особливості гісопу лікарського та пристосованість до ґрунтово-кліматичних умов Миколаївської області, він може успішно вирощуватися з метою рекультивації деградованих ґрунтів, солонців, схилених земель, локального озеленіння техногенно забруднених ділянок, що сприятиме покращенню стану антропогенно трансформованих екосистем.

Для реалізації таких практичних заходів необхідно використати комплексний підхід при підборі агротехнічних заходів вирощування культури шляхом внесення добрив ( $N_{60}P_{60}$  врозкид,  $N_{30}P_{30}$  врозкид +  $N_{30}P_{30}$  з поливною водою у фазу стеблуння) та підтримання вологості ґрунту в шарі 30–40 см на рівні 80–70–70 % НВ. При цьому формується стійкий агрофітоценоз із урожайністю сухої квіткові сировини на рівні 52,6–53,7 ц/га. За умови першого укусу рослин наприкінці червня відбувається відростання пагонів та їх цвітіння впродовж останньої декади серпня – початку вересня. При цьому урожайність фітомаси є вдвічі меншою порівняно з першим укусом.

Отримані результати даних досліджень є складовою частиною пропозицій з раціонального використання земельних ресурсів, боротьби з деградацією земель та опустелюванням, поданих Миколаївською ДСДС ІЗЗ НААН до Департаменту АПК Миколаївської області та можуть бути використані при проектуванні і практичному проведенні робіт з біологічної рекультивації різних типів порушених земель.

## АНОТАЦІЯ

Гісоп лікарський – типовий ксерофіт, добре пристосований до посухи, південна зона Степу України за кліматичними та ґрунтовими умовами відповідає необхідним вимогам для його вирощування. Метою роботи було на основі вивчення біології гісопу лікарського встановити параметри продуктивності культури, що забезпечать отримання квіткові маси на рівні 40–50 ц/га та розробити способи його ефективного вирощування в умовах Миколаївської області. Для реалізації таких практичних заходів використовували комплексний підхід при підборі агротехнічних прийомів вирощування шляхом внесення добрив ( $N_{60}P_{60}$  врозкид,  $N_{30}P_{30}$  врозкид +  $N_{30}P_{30}$  з поливною водою у фазу стеблуння) та підтримання вологості ґрунту в шарі 30–40 см на рівні 80–70–70 % НВ. При цьому формується стійкий агрофітоценоз із оптимальними параметрами продуктивності рослин та урожайністю сухої квіткові сировини на рівні 52,6–53,7 ц/га. За

умови першого укусу рослин наприкінці червня відбувається відростання пагонів та їх цвітіння впродовж останньої декади серпня – початку вересня. При цьому урожайність фітомаси є вдвічі меншою порівняно з першим укусом.

### Література

1. Litalien A., & Zeeb B. Curing the earth: A review of anthropogenic soil salinization and plant-based strategies for sustainable mitigation. *Sci Total Environ.* 2019. Vol. 698. 134235. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134235>

2. Dhankher O. P., Doty S. L., Meagher R. B., & Pilon-Smits E. Biotechnological approaches for phytoremediation. *Plant biotechnology and agriculture.* 2011. Academic Press, Oxford. P. 309–328.

3. Fathiazad F., & Hamedeyazdan S. A review on *Hyssopus officinalis* L. Composition and biological activities. *Afr. J. Pharm. Pharmacol.* 2011. № (5). P. 1959–1966. <https://doi.org/10.5897/AJPP11.527>

4. Borrelli F., Pagano E., Formisano C., Piccolella S., Fiorentino A., Tenore G. C., Izzo A. A., Rigano D., & Pacifico S. *Hyssopus officinalis* subsp. *aristatus*: An unexploited wild-growing crop for new disclosed bioactives. *Ind. Crops Prod.* 2019. № 140. 111594. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111594>

5. Alinezhad H., Azimi R., Zare M., Ebrahimzadeh M. A., Eslami S., Nabavi, S. F., & Nabavi S. M. Antioxidant and antihemolytic activities of ethanolic extract of flowers, leaves and stems of *Hyssopus officinalis* L. var. *angustifolius*. *Int. J. Food Prop.* 2013. № 16. P. 1169–1178. <https://doi.org/10.1080/10942912.2011.578319>

6. Soleimani H., Barzegar M., Sahari M. A., & Naghdi Badi H. An investigation on the antioxidant activities of *Hyssopus officinalis* L. and *Echinacea purpurea* L. plant extracts in oil model system. *J. Med. Plants.* 2011. № 10. P. 61–72.

7. Moro A., Zalacain A., de Hurtado M. J., & Carmona M. Effects of agronomic practices on volatile composition of *Hyssopus officinalis* L. essential oils. *Molecules.*, 2011. № 16. P. 4131–4139. <https://doi.org/10.3390/molecules16054131>

8. Dumacheva E. V., Cherniavskih V. I., Markova E. I., Filatov S. V., Tokhtar V. K., Tokhtar L. A., Pogrebnyak T. A., Horolskaya E. N., Gorbacheva A. A., Vorobyova O. V., & Glubsheva T. N. Biological resources of the *Hyssopus* on the south of European Russia and prospects of its introduction. *International Journal of Green Pharmacy.* 2017. № 11(3). P. 476–480.

9. Goncariuc M., & Balmus Z. Diversity of the essential oil content and chemical composition of *Hyssopus officinalis* L. genotypes. Muzeul Olteniei Craiova. Oltenia. *Studii și comunicări. Științele Naturii*. 2013. № 29(1). P. 71–77.

10. Kizil S., Güler V., Kirici S., & Turk M. Some agronomic characteristics and essential oil composition of Hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) under cultivation conditions. *Acta scientiarum Polonorum. Hortorum cultus. Ogrodnictwo*. 2016. № 15. P. 193–207.

11. Коваленко О. А., Андрійченко Л. В. Як вирощувати нову пряно-ароматичну культуру гісоп лікарський у південній частині Степу України. *The Ukrainian FARMER : партнер сучасного фермера*. 2019. № 2(110). С. 122–123.

12. Ромащенко М. І., Шатковський А. П., Рябков С. В. Краплинне зрошення овочевих культур і картоплі в умовах Степу України. К. : «ДІА», 2012. 248 с.

13. Орел Т. И., Работягов В. Д. Качество сырья и эфирного масла эфиромасличных и лекарственных культур в условиях подпочвенного орошения в Крыму. Материалы XIV междунар. научн. конф. «Экологические основы онтогенеза природных сообществ Евразии». Херсон : Айлант, 2002. С. 75–79.

14. Вечер Н. Н., Березко М. Н. Влияние минеральных удобрений и норм высева семян на урожай лекарственного сырья иссопа. Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : сборник научных статей Междунар. науч.-практ. Конференции. Минск : БГАТУ, 2016. С. 318–321.

15. Коваленко Н. А., Ахрамович Т. И., Супиченко Г. Н., Сачивко Т. В. Антибактериальная активность эфирных масел иссопа лекарственного. *Химия растительного сырья*. 2019. № 1. С. 191–199.

**Information about the authors:  
Dobrovolsky Petro Andriyovych,**

Acting Director,

Mykolaiv State Agricultural Research Station of Institute of Irrigated Farming of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine  
17, Tsentralna str., Poligon, Mykolaiv region, 57217, Ukraine

**Andriichenko Larysa Volodymyrivna,**  
Candidate of Agricultural Sciences,  
Scientist Secretary,  
Mykolaiv State Agricultural Research Station of Institute of Irrigated  
Farming of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine  
17, Tsentralna str., Poligon, Mykolaiv region, 57217, Ukraine

**Kachanova Tetyana Volodymyrivna,**  
Candidate of Agricultural Sciences,  
Leading Researcher,  
Mykolaiv State Agricultural Research Station of Institute of Irrigated  
Farming of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine  
17, Tsentralna str., Poligon, Mykolaiv region, 57217, Ukraine

**Kovalenko Oleg Anatoliyovych,**  
Doctor of Agricultural Sciences,  
Leading Researcher,  
Mykolaiv State Agricultural Research Station of Institute of Irrigated  
Farming of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine  
17, Tsentralna str., Poligon, Mykolaiv region, 57217, Ukraine

**ГРУНТОВО-РОСЛИННИЙ ПОКРИВ  
ГІРНИЧОПРОМИСЛОВИХ ЛАНДШАФТІВ  
КРИВОРІЗЬКОЇ ЛАНДШАФТНО-ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ  
(на прикладі Бурштітського, Шимаківського відвалів  
та відвалу «Степовий»)**

**Коптева Т. С.**

**ВСТУП**

Криворізька ландшафтно-технічна система (КЛТС) є унікальною у дослідженні гірничопромислових ландшафтів за рахунок безперервного та активного розвитку гірничодобувної промисловості. КЛТС сформувалась в на південному сході Центральної України, переважно у Дніпропетровській області. Територія КЛТС становить 4,1 тис. км<sup>2</sup>, що складає 0,67 % від усієї площі держави. Протяжність з півдня на північ 96 км, з заходу на схід – 62 км.<sup>1</sup> В основі її розвитку лежить Криворізький залізорудний басейн, промислові запаси якого лише залізних руд складають більше 18 млрд тон. КЛТС формувалася упродовж майже 150 років. Зокрема, за відносно короткий термін, відбулися суттєві зміни ландшафтної структури регіону натуральні ландшафти повністю трансформувалися в антропогенні.

Починаючи з 1881 р. антропогенні перетворення переважно степових ландшафтів відбуваються постійно. Провідними геотехнічними системами, що змінюють ландшафти, є переважно промислові – гірничодобувні (відкриті та підземні), гірничо-металургійні, гірничо-будівельні та ін.<sup>2</sup>

Гірничопромисловий ландшафт за Ф. М. Мільковим – це один з двох підкласів промислових антропогенних ландшафтів, які виникають внаслідок розкривних і видобувних гірничих робіт, складування «порожньої» гірської породи та відходів переробки

---

<sup>1</sup> Денисик Г. І., Задорожня Г. М. Похідні процеси та явища в ландшафтах зон техногенезу: монографія. Вінниця : Вінницька обласна друкарня, 2013. 220 с.

<sup>2</sup> Коптева Т. С. Висотна диференціація та різноманіття гірничопромислових ландшафтів Криворіжжя : дис. ... доктора філософії (РД). Вінниця : ВДПУ, 2021. 163 с.



і збагачення корисних копалин, утворення підземних порожнин в шахтах з наступним їх погашенням та зрушенням підроблених блоків земної кори.<sup>3</sup> Гірничопромисловий ландшафт формується на основі таких техногенних утворень: відвалів, кар'єрів, провальних зон шахт. У їх межах докорінно перетворені всі компоненти колишніх ландшафтів, тому структура гірничопромислового ландшафту є специфічною, вони значно відрізняються від інших ландшафтів Криворіжжя і є елементом екологічного каркасу територій, де проживає людина.<sup>4</sup>

За підрахунками В. Л. Казакова, у межах КЛТС загальна площа гірничопромислових ландшафтів складає 17,1 тис. га, площа кар'єрів – понад 4,2 тис. га, площа відвалів – 7,0 тис. га, площа екстрактивних шламосховищ – 5,5 тис. га, площа шахтних провалів і зон зрушення – 3,4 тис. га.<sup>5</sup> З кожним роком дана цифра стрімко зростає і постає потреба у стабілізації ландшафтного середовища на території Кривбасу. З 1963 року на території КЛТС розпочалося раціональне використання порушених земель задля запобігання техногенної катастрофи на даній території. До основних напрямів покращення порушених земель гірничопромислових ландшафтів належить рекультивация.

У процесі рекультивациі на території КЛТС найбільш поширені такі моделі:

– *універсальна* – створює на поверхні відвалу родючий шар ґрунту, товщина якого сягає 1,2–1,5 м. Ця модель є найбільш популярна і відома.

– *гідромеліоративна* – формують на два яруси. Перший ярус – шар незасолених глин (25–30 см), другий ярус – шар з породами легкого гранулометричного складу (30–50 см), який досить добре поглинає атмосферні опади;

– *геомеліоративна* – реалізується на геологічних відкладах з несприятливими для рослин властивостями. Гірські породи

---

<sup>3</sup>Мильков Ф. Н. Человек и ландшафты. Очерки антропогенного ландшафтоведения: монография. Москва : Мысль, 1973. 224 с.

<sup>4</sup>Коптева Т. С. Висотна диференціяція та різноманіття гірничопромислових ландшафтів Криворіжжя : дис. ... доктора філософії (РД). Вінниця : ВДПУ, 2021. 163 с.

<sup>5</sup>Казаков В. Л. Антропогенні ландшафти Криворіжжя : історія розвитку, структура. *Географічні дослідження Кривбасу* : матеріали кафедральних наук.-дослід. тем. 2007. Вип. 2. С. 27–35.

пересипаються спочатку лесоподібними суглинками – 50–80 см, а потім родючим ґрунтовим шаром – 50–70 см. Суглинки вміщують вуглекислий кальцій, який є захисником від шкідливих речовин.

– *локальна* – проводяться аграрні заходи, які спрямовані на удобрення під певну культурну рослину.<sup>6</sup>

Тому на сьогодні актуальним постає завдання дослідити ґрунтовий та рослинний покрив на новій абсолютно трансформованою території, дослідити як природні чинники впливають на ґрунтовий та рослинний прошарок гірничопромислових ландшафтів наприкладі Буршітського, Шимаківського відвалів та відвалу «Степовий».

### **1. Загальна характеристика та ґрунтовий покрив Буршітського, Шимаківського відвалів та відвалу «Степовий»**

Зазначемо, що в адміністративному відношенні КЛТС охоплює повністю території двох районів – Криворізького і Широківського, частини прилеглих до них Апостолівського, Пятихатського та Софіївського районів Дніпропетровської області, а також невеликі території Високопільського району Херсонської та Казанського районів Миколаївської областей.<sup>7</sup>

У зв'язку із своєрідним просторовим розташуванням природні умови КЛТС неоднорідні. Криворізький залізрудний басейн знаходиться в центральній частині Українського кристалічного щита, у геологічній будові якого виокремлюються два структурних яруси: кристалічний фундамент складений метаморфізованими вулканогенно-осадковими та гранітоїдними утвореннями докембрію і осадовий чохол, розріз якого представлений відкладами кайнозою. КЛТС зі східної сторони належить до Криворізько-Кременчуцького розлому, і таким чином в його надрах є великі запаси залізних руд. КЛТС є доволі складною геологічною спорудою, в будові якої беруть участь породи мезоархею, палеопротерозою і кайнозою. На основі Українського щита та його порід сформувалися поверхневі форми території КЛТС. Тут основним елементом морфоструктурного рельєфу є лесово – суглинисті височинні та низовинні вододільні

---

<sup>6</sup> Денисик Г. І., Казаков В. П., Ярков С. В. Сингенез рослинного покриву у ландшафтах зон техногенезу : монографія. Вінниця : ПП «Едельвейс і К», 2012. 240 с.

<sup>7</sup> Коптева Т. С. Висотна диференціація та різноманіття гірничопромислових ландшафтів Криворіжжя: дис. ... доктора філософії (РД). Вінниця : ВДПУ, 2021. 163 с.

плато (абсолютні висоти 200–250 м.), які ускладнені різною морфоскульптурою-флювіальною, карстовою, суфозійною, гравітаційною та еоловою. Рельєф в основному представлений мезо та мікроформами.<sup>8</sup>

Клімат КЛТС належить до атлантико-континентальної європейської недостатньо вологої, теплої помірної кліматичної області. За показниками метеостанції Кривого Рогу, середньорічна температура повітря в центральній частині Криворіжжя становить +8,5 °С (на півночі регіону – +7,9 °С, на півдні – +9,0 °С). Середня температура повітря у липні – +22,2 °С, у січні – –5,1 °С.

Річна кількість опадів у північному та центральному районах КЛТС – 425–450 мм, у південній частині – 400–425 мм.<sup>9</sup>

Над селитебно-промисловим ландшафтом м. Кривий Ріг сформувався «острів тепла» – тут тепліше, зокрема у холодний період року на 1,8 °С, більше опадів, туманів, знижені дози сонячної радіації, інколи виникають смоги.<sup>10</sup>

Поверхневі води КЛТС формують 8 малих (крім Інгульця) річок, що належать до басейну Дніпра: Інгулець (з притоками – Саксагань, Зелена, Жовта, Бокова (з притокою Боковенька), Вербова (притока р. Вісунь, яка, в свою чергу, впадає в р. Інгулець), а також Кам'янка – притока р. Базавлук. Їх річища або каналізовані, або зайняті ставками. Крім цього у межах КЛТС лише для забезпечення водою комунальних послуг створено 9 водосховищ, загальною площею 9340 га; є 25 водосховищ сільськогосподарського призначення<sup>11</sup>

На території КЛТС гірничодобувна промисловість створила велику кількість гірничопромислових комплексів: кар'єрно – відвальні та шахтні (рис. 1).

Зазначимо, що кар'єрно – відвальний ландшафтний комплекс представлений кар'єром і відвалом, які співвідносяться між собою неоднаково. Їх взаєморозташування, взаємодія та різноманіття

---

<sup>8</sup> Коптева Т. С. Висотна диференціація та різноманіття гірничопромислових ландшафтів Криворіжжя: дис. ... доктора філософії (PD). Вінниця : ВДПУ, 2021. 163 с.

<sup>9</sup> Казаков В. Л. Геоморфологічна структура кар'єрів і їх класифікації. *Актуальні проблеми геології, географії, екології*. 2001. Вип. 3. С. 31–36.

<sup>10</sup> Коптева Т. С. Висотна диференціація та різноманіття гірничопромислових ландшафтів Криворіжжя : дис. ... доктора філософії (PD). Вінниця : ВДПУ, 2021. 163 с.

<sup>11</sup> Денисик Г. І., Задорожня Г. М. Похідні процеси та явища в ландшафтах зон техногенезу: монографія. Вінниця : Вінницька обласна друкарня, 2013. 220 с.

визначаються системою видобутку корисних копалин та їх особливістю залягання.<sup>12</sup>



**Рис. 1. Кар'єр Південного гірничо-збагачувального комбінату**

На території КЛТС створено різні типи кар'єрно-відвальних тип місцевостей: відвально-монокотлований, платоподібний багатоярусний відвальний, гребенеподібний багатоярусний відвальний, кар'єрно-відвально-озерний, кар'єрно-відвально-терасований, кар'єрно-озерно-терасований, кар'єрно-терасований, озерно-пустирний.

Детально розглянемо кожен з кар'єрно-відвальних типів місцевостей:

*Відвально-монокотлований тип місцевості* створений в результаті антропогенної денудації – неглибокі (10–25 м) кар'єрні виїмки, заповнені уламковим матеріалом. Вони виникають в процесі видобутку залізної руди, яка залягає близько до поверхні. Здебільшого це ті кар'єри, які були першими на території Криворіжжя, і функціонували з 1880-го по 1930-ті рр. Це кар'єрно-відвальні комплекси рудоуправління ім. С. Колачевського, кар'єр Шмакових, у якого відвал не зберігся, та кар'єрно-відвальний комплекс акціонерного товариства «Криворізький рудозавод»,

---

<sup>12</sup> Козинська І. П. Структура гірничопромислових ландшафтів південного лісостепу правобережної України. *Наукові записки ВДПУ ім. М. Коцюбинського. Серія: Географія*. 2011. Вип. 22. С. 15–21.

розташований як відвальний-монокотлований тип у центральній та південній частині Криворіжжя<sup>13</sup>

*Платоподібний багатоярусний відвальний тип місцевості* утворився за рахунок автомобільної або залізничної відсипки відвальних порід. Сформувалися багатоярусні відвали, з вирівняними та платоподібними поверхнями. За наявними породами багатоярусні відвали поділяються на скельні, пухкі та змішані.<sup>14</sup>

Скельні відвали характеризуються наявністю скельних уламкових порід, а саме гранітів, сланців, кварцитів та бурого залізняку. Як правило, такі відвали сипучі, тут розвиваються гравітаційні процеси і повністю відсутній рослинний покрив. Поширені по всій території Криворіжжя.

До скельних відвалів, які були діючими з 1960-го по 1990 р., належить відвал кар'єру шахти Північної колишнього рудоуправління (далі РУ) ім. Кірова, відвали колишніх шахт ім. Ваявка, ім. Ілліча, Скелеватський відвал Новокриворізького гірничозбагачувального комбінату (далі НкГЗК) «АрселорМіттал Кривий Ріг», Шимаківський відвал кар'єру № 3 НкГЗК «АрселорМіттал Кривий Ріг», Східно-Ганнівський відвал Північного гірничозбагачувального комбінату (далі ПнГЗК), відвал в зоні зрушення шахти ім. Орджонікідзе Центрального гірничозбагачувального комбінату (далі ЦнГЗК). Також серед діючих, які працюють із 1960-го р. і донині, належить відвал № 1 кар'єру Інгулецького гірничозбагачувального комбінату (далі ІнГЗК) та відвал № 2 кар'єру ІнГЗК.<sup>15</sup>

Пухкі відвали створені за допомогою відсипки пухких порід, здебільшого рихлими та водопровідними, що складені переважно вапняками, глиною, мергелем, суглинками. Пухкі відвали характеризуються значною задернованістю і активним розвитком трав'янистої та деревної рослинності.

До пухких відвалів належить відвал Кочубеївського рудника, відвал РУ ім. С. Колачевського, відвал Олександріївського рудника

---

<sup>13</sup> Коптева Т. С. Висотна диференціація та різноманіття гірничопромислових ландшафтів Криворіжжя: дис. ... доктора філософії (РД). Вінниця : ВДПУ, 2021. 163 с.

<sup>14</sup> Денисик Г. І., Задорожня Г. М. Похідні процеси та явища в ландшафтах зон техногенезу: монографія. Вінниця : Вінницька обласна друкарня, 2013. 220 с.

<sup>15</sup> Коптева Т. С. Висотна диференціація та різноманіття гірничопромислових ландшафтів Криворіжжя: дис. ... доктора філософії (РД). Вінниця : ВДПУ, 2021. 163 с.

в полі колишньої шахти Гвардійської, відвал «Кривбасзалізрудком», відвали Північного кар'єру РУ Стародобровольське, відвали південних кар'єрів РУ Стародобровольське, Північний відвал Жовтневого гранітного кар'єру, відвали кар'єрів Візирка-північна, Візирка-південна, Візирка-західна колишнього РУ Інгулецький.<sup>16</sup>

Змішані відвали утворюються завдяки наявності як скельних, так і пухких порід. До них належать: невеликі за площею відвали залізрудного кар'єру в балці Північній Червоної колишнього РУ ім. Леніна, відвал РУ Дубова Балка, відвал кар'єру Шимаківського рудника, Ленінський відвал колишнього РУ ім. Леніна, західні відвали Глеюватського кар'єру ЦГЗК, Новобільшовицькі відвали Глеюватського кар'єру ЦГЗК, відвали колишнього РУ ім. Комінтерна, південний відвал Жовтневого гранітного кар'єру, відвали кар'єрів рудника Галковського й Сакаганського, Бурштіський відвал НкГЗК «АрселорМіттал Кривий Ріг», відвал № 2–3 НКЗК «Степовий», відвал кар'єру Радянський колишнього РУ ім. Ілліча, Правобережний відвал Південного гірничозбагачувального комбінату (далі ПдГЗК), відвал кар'єру № 2 ЦГЗК, відвал № 6 кар'єру № 2 ЦГЗК, відвал Глеюватського кар'єру ЦГЗК. Всі відвали недіючі, період їх активності – 1890–1990 рр.<sup>17</sup>

*Гребенеподібний багатоярусний відвальний тип* місцевості сформований завдяки спеціалізованій відсипці відвалів, а саме циклічнопоточній технології, коли на поверхні відвалів утворюються «гребені». За рахунок гребенів на відвалах формуються «техногенні долини». Відвали сприятливі для утворення рослинності. Сконцентровані у центральній частині Криворіжжя.<sup>18</sup>

*Кар'єрно-відвально-озерний тип місцевості.* З розвитком гірничодобувної промисловості глибина видобутку залізної руди збільшується, покинуті кар'єрні виїмки з часом заповнюються водою, формуючи «голубі озера». Глибина кар'єрів сягає 40 м, висота відвалів – від 5–10 м. Схили недіючих відвалів добре задерновані трав'янистими та деревними рослинами. На відвалах активно розвиваються ландшафтні процеси, серед яких спостерігаються гравітаційні та флювіальні, а де є вапняк, утворюються

---

<sup>16</sup> Коптева Т. С. Висотна диференціація та різноманіття гірничопромислових ландшафтів Криворіжжя : дис. ... доктора філософії (РД). Вінниця : ВДПУ, 2021. 163 с.

<sup>17</sup> Там само.

<sup>18</sup> Денисик Г. І., Задорожня Г. М. Похідні процеси та явища в ландшафтах зон техногенезу: монографія. Вінниця : Вінницька обласна друкарня, 2013. 220 с.

карстові форми рельєфу. Кар'єрно-відвально-озерний тип гірничо-промислових ландшафтів приурочений до південної частини Криворіжжя.<sup>19</sup>

*Кар'єрно-відвально-терасований тип місцевості* характеризується значною глибиною кар'єрів та висотою відвалів. Видобування залізної руди відбувається спеціалізованим обладнанням для розкривних робіт, кар'єрні виїмки не затоплюються через постійну відкачку підземних вод. Розвинутий гравітаційний та флювіальний рельєф. Кар'єрно-відвально-терасований тип гірничопромислових ландшафтів розповсюджений у центральній частині Криворіжжя.

*Кар'єрно-озерно-терасований тип місцевості* утворюється внаслідок затоплення глибоких відпрацьованих раніше кар'єрних виїмок. Глибина таких кар'єрних виїмок становить до 30 м. На території Криворізької ландшафтно-технічної системи налічується близько 20 кар'єрних водойм. Біля водойм формується рослинність, зокрема й деревна. На території КЛТС зустрічаються два варіанти кар'єрно-озерно-терасованих ландшафтних комплексів – залізорудний, до якого відноситься кар'єр Радянський, та гранітний, до якого належать Жовтневий та Карачунівський гранітні кар'єри.<sup>20</sup>

*Кар'єрно-терасований тип* формує сучасну потужну зону, у якій на Криворіжжі сконцентровано всі діючі кар'єри (глибиною до 520 м, довжиною більше 4 км). У цих кар'єрах проявляються такі ландшафтні процеси, як осипи, зсуви, обвали. Рослинності не виявлено. До даного типу належить відпрацьований кар'єр ім. К. Лібкнехта. Зараз кар'єр РУ ім. К. Лібкнехта недіючий, експлуатувався з 1950-го по 1960-ті рр., він незатоплений, тому що відбувається відкачка підземних вод. Рослинність рудедральна, дно кар'єру вкрите деревною рослинністю. До кар'єрно-терасованого типу належать діючі кар'єри: кар'єр НкГЗКа № 1, кар'єр НкГЗКа № 2, кар'єр НкГЗКа № 3, кар'єр ПдГЗКа, Глеюватський кар'єр (ЦГЗК), Первомайський кар'єр (ПнГЗК), Ганнівський кар'єр (ПнГЗК), Інгулецький кар'єр (ІнГЗК).<sup>21</sup>

Найбільший за площею кар'єр – ПдГЗКа. Довжина кар'єру становить понад 3 км, ширина – 2,5 км, а глибина сягає 400 м.

---

<sup>19</sup> Коптева Т. С. Висотна диференціація та різноманіття гірничопромислових ландшафтів Криворіжжя : дис. ... доктора філософії (РД). Вінниця : ВДПУ, 2021. 163 с.

<sup>20</sup> Там само

<sup>21</sup> Там само.

Найглибший кар'єр в Україні – це Інгулецький, глибина якого сягає 420 м.

*Озерно-пустирний тип місцевості* сформувався в місцях розташування шламосховищ Криворіжжя. Шламосховища являють собою гідровідвали, які складені з обводнених шламів (пульпи – суміш подрібнених відходів добування руди з водою). Формуються шляхом шламостоку по каналам і трубам, а надалі насиченість водою підтримується штучно. Гідровідвали складені сухою породною греблею, висота якої становить 100–150 м, площа поверхні дзеркала – від 700 до 1200 га. На території Криворіжжя наявні 12 шламосховищ. На шламосховищах наявні мільйони метрів кубічних техногенних пісків, при сильних вітрах пил із пісків піднімається і розноситься на велику відстань, при цьому забруднюючи повітря, ґрунти і водойми. Шламосховища розташовуються уздовж всієї території Криворіжжя.<sup>22</sup>

Шахтний тип гірничопромислових ландшафтів утворився, відповідно, у результаті закритої розробки родовищ залізної руди. Поділяється на дві підкатегорії: шахтно-провальний та шахтно-просадочний тип місцевості.

На сьогодні середня глибина кар'єрів Кривбасу становить до 400 м (кар'єр ПдГЗК), висота відвалів та дамб становить до 100 м (відвали Ганнівського кар'єру, хвостосховища Войківське, Миколаївське), глибина шахт – до 1400 м (шахта «Родіна», «Ювілейна»);<sup>23</sup>

Більш детально зупинимося на кар'єрно-відвальному комплексі, а саме платоподібному багатоярусному відвальному типі. Відповідний тип місцевості характерний для всієї території Криворіжжя. Характерними ознаками є залізнична або автомобільна відсипка, завдяки якій утворилися багатоярусні відвали, поверхня яких вирівняна та платоподібна, які відповідають Бурщитський відвал, Шимаківський відвал і відвал «Степовий».

На території КЛІТС представлено скельні, пухкі та змішані відвали. Для складу скельних відвалів характерні тверді грубоуламкові скельні породи, кварцити, сланці, брили бурого залізняку, гранітів.

---

<sup>22</sup> Денисик Г. І., Задорожня Г. М. Похідні процеси та явища в ландшафтах зон техногенезу: монографія. Вінниця: Вінницька обласна друкарня, 2013. 220 с.

<sup>23</sup> Іванов Є. А. Еколого-ландшафтознавчі основи рекультивації гірничопромислових територій. *Проблеми ландшафтного різноманіття України*. 2000. С. 221–225.

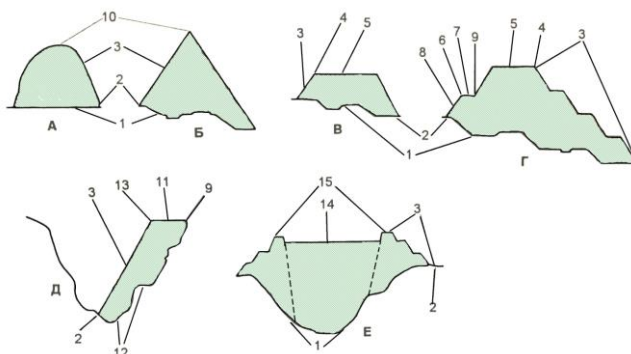


Пухкі відвали мають більш розсипні види порід, а саме: вапняки, мергелі, глини, суглинки та піски. І до змішаного типу відвалів, відповідно, належить змішання всіх вище перелічених порід.

Термін «відвал», як насип на земляній поверхні із пустих порід, одержуваних при розробці родовищ корисних копалин, хвостів збагачувальних фабрик.<sup>24</sup>

Дослідження ґрунтового покриву на гірничопромислових ландшафтів було проведено на відвалу «Степовий», Бурцітського та Шимаківського відвалів.

Бурцітський відвал сформувався пухкими розкривних породами, які притаманні кайнозойській ері. Даний відвал відносять до багатоярусного платоподібного типу (рис. 2).



**Рис. 2. Морфологія відвалів Криворіжжя<sup>25</sup>**

**Морфологічні типи відвалів:** А – гребенево-пасмоподібний; Б – терикон;  
**В** – одноярусний платоподібний; Г – багатоярусний платоподібний;  
**Д** – притулений засипний; **Е** – багатоярусний платоподібний шламосховищ.  
**Морфологічні елементи відвалів:** 1 – підшва; 2 – підніжжя; 3 – схил;  
**4** – бровка плато; 5 – поверхня плато; 6 – бровка ярусу; 7 – площадка  
(поверхня) ярусу; 8 – схил ярусу; 9 – тилловий шов; 10 – вершина;  
**11** – поверхня засипання; 12 – поверхня дотику; 13 – бровка поверхні  
засипання; 14 – поверхня тіла шламосховища; 15 – дамба з майданчиком  
та бровками

<sup>24</sup> Вільна енциклопедія «Вікіпедія». Термін «Відвал» URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%96%D0%B4%D0%B2%D0%B0%D0%BB> (дата звернення 29.03.2022).

<sup>25</sup> Задорожня Г. М. Аналіз змісту основних понять при вивченні похідних процесів та явищ у гірничопромислових ландшафтах. *Фізична географія та геоморфологія*. 2008. Вип. 54. С. 113–121.

Бурщітський відвал розташований в Україні в місті Кривий Ріг, в Інгулецькому районі, поблизу Гданцівки, с. Шевченко, височить над річкою Інгулець, має такі координати: 47°52'23"N, 33°20'0"E, був складений Новокриворізьким гірничозбагачувальним комбінатом (рис. 3).



**Рис. 3. Місце розташування Бурщітського відвалу**

Висота Бурщітського відвалу становить 80 м, крутизна схилів 35–45°. Клімат місцезнаходження відвалу – помірно-континентальний.

Середня температура січня становить 5 °С, середня температура липня становить + 22 °С, а середньорічна температура складає + 9 °С. Найбільша кількість опадів випадає в червні-липні – до 65 мм, найменша – у лютому-березні – 28 мм, річна кількість опадів – до 483 мм.<sup>26</sup> У геологічній будові відвалу такі насипні шари – смуги: нижня акумулятивна, середня акумулятивно-денудаційна та верхня денудаційна мікросмуга (рис. 5, 6).

У розрізі Бурщітський відвал складений за таким шарами-смугами:

– нижня акумулятивна мікросмуга (I) характеризується кристалічними породами, які не задіяні розробками.

---

<sup>26</sup> Koptieva T. S., Denysyk B. G. Quarry and dump landscape systems of Kryvorizhzhia. *XX-th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. Surveying, Geology and Mining, Ecology and Management – SGEM 2020*. Bulgaria. Albena, 2021, 665–670.



**Рис. 5. Насипні шари-смуги Бурщітського відвалу**



**Рис. 6. Геологічна будова Бурщітського відвалу<sup>27</sup>**

– середня акумулятивно-денудаційна (II) мікросмуга представлена лесоподібними суглинками, а біля тераси р. Інгулець присутні граніти.

– верхня денудаційна мікросмуга (III), що відповідає верхній надземній частині відвалу, складена розкривними суглинистими породами.<sup>28</sup>

<sup>27</sup> Коптева Т. С. Висотна диференціація та різноманіття гірничопромислових ландшафтів Криворіжжя: дисер. на здобуття наукового ступеня доктора філософії (PD). Вінниця: ВДПУ, 2021. 163 с.

<sup>28</sup> Коптева Т. С. Висотна диференціація гірничопромислових ландшафтів Криворіжжя (на прикладі Бурщітського відвалу). *Актуальные вопросы наук о земле в концепции устойчивого развития Беларуси и сопредельных государств*: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. Гомель, 2018. С. 27–30.

Загалом, у ґрунтовому покриві Криворізької ландшафтно-технічної системи переважають чорноземи звичайні малогумусні – 67,5 % території. Поширені також чорноземи звичайні середньогумусні (північно-західні райони). Чорноземи південні малопотужні малогумусні (20,3 % площі) у південній частині КЛТС сформувались внаслідок проростання тут типчакowo-ковилової рослинності.

На території КЛТС, а саме на заплавах, поширені лучно-чорноземні ґрунти. Лучні засолені, чорноземно-лучні глибоко-слабкосолонцюваті та слабко-солончакуваті ґрунти наявні на днищах балок і подів КЛТС.<sup>29</sup>

Наступний відвал який має характерні ознаки від Бурщітського відвалу – це Шимаківський відвал, який належить до скельного типу відвалу, складений чергуванням метаморфічних порід: різноманітні залізисті кварцити, різновиди сланців та карбонастих порід, а також – граніти, мігматити, гнейси та амфіболіти.

Шимаківський відвал утворився завдяки проектному покриттю, яке має відносні вирівняні частини відвалів та невеликі западини між куч, які утворились при вивезенні автомобільним транспортом.<sup>30</sup>

Відвал розташовується в Україні в місті Кривий Ріг, в Інгулецькому районі, поблизу кар'єру ПдГЗК, має такі географічні координати: 47°50'36"N 33°15'54"E.

Відвал складений Південним гірничо-збагачувальним комбінатом 1960–1967 рр. Висота Шимаківського відвалу приблизно 80 м., крутизна схилів – 45–50°, площа відвалу становить 2,5 га.<sup>31</sup>

Клімат місцезнаходження відвалу помірно – континентальний, всі кліматичні показники індетичні Бурщітському відвалу. За рис. 7 у геологічній будові відвалу такі насипні шари – смуги:

1. Нижня акумулятивна мікросмуга складається із кристалічних порід, які не задіяні з розробками, вапняки, лесоподібні суглинки.

2. Середня акумулятивно – денудаційна мікросмуга, якій характерні щебень, сипісок та кам'яні брили.

---

<sup>29</sup> Коптева Т. С. Висотна диференціація та різноманіття гірничопромислових ландшафтів Криворіжжя: дис. ... доктора філософії (PD). Вінниця : ВДПУ, 2021. 163 с.

<sup>30</sup> Koptieva T. S., Denysyk B. G. Quarry and dump landscape systems of Kryvorizhzhia. *XX-th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. Surveying, Geology and Mining, Ecology and Management – SGEM 2020*. Bulgaria. Albena, 2021, 665–670.

<sup>31</sup> Ibid.



Рис. 7. Насипні шари- мікросмуги Шиманівського відвалу<sup>32</sup>

3. Верня денудаційна мікросмуга представлена брилами та гранітами.

Відвал № 2–3 «Степовий» розташований також в Україні в місті Кривий Ріг, в Інгулецькому районі, в межах Причорноморської низовини, з географічними координатами: 47°49'20"N, 33°15'15"E, був також складений Новокириворізьким гірничозбагачувальним комбінатом (рис. 8).

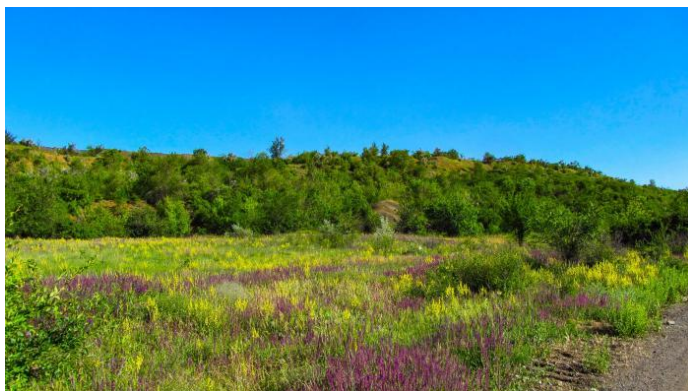


Рис. 8. Місце розташування відвалу «Степовий»

<sup>32</sup> Koptieva T. S., Denysyk B. G. Quarry and dump landscape systems of Kryvorizhzhia. *XX-th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. Surveying, Geology and Mining, Ecology and Management – SGEM 2020. Bulgaria. Albena, 2021, 665–670.*

Відвал «Степовий» за висотою є середнім – 50 м, площа становить 473,4 га, за об'ємом – 155,4 млн м<sup>3</sup>. Форма відвалу є видовжена, складна, трьохярусна, платоподібна. За гідрологічними характеристиками відвал є сухопородним, складеним зі змішаних гірських порід, суглинків і глин з домішками вапняків, піску та скельних порід.

Клімат місцезнаходження відвалу – помірно-континентальний з чітко вираженими порами року.

Середня температура січня становить – 5,1 °С, середня температура липня становить + 22,5 °С, а середньорічна температура складає +9 °С. Опадів на рік становить 400 мм. Висота снігового покриву 10 см.

У геологічній будові відвал «Степовий» також має насипні шари – смуги: нижня акумулятивна, середня акумулятивно-денудаційна та верхня денудаційна мікросмуга.

Плато відвалу складене скельними породами. У ґрунтовому розрізі тераси шарів – смугів складені із суглинку та дрібнозему, на них сформується найбільша кількість видів трав'яної та деревної рослинності, що формує гумус.

## **2. Рекультивація та рослинний покрив на Бурштівському, Шимаківському відвалах та відвалу «Степовий»**

Відтворити натуральний стан ландшафтних комплексів Криворіжжя уже неможливо, та й недоцільно з господарського погляду. Однак потрібно розробити заходи, які допоможуть впорядкувати структуру гірничопромислових ландшафтів таким чином, щоб вони не лише не завдавали шкоди навколишньому середовищу, але й приносили користь. Насамперед проектувальні роботи зі створення гірничопромислових ландшафтних комплексів та їх рекультивації мають бути чітко спланованими, і повинні враховувати особливості висотної диференціації та різноманіття сучасної природи Криворіжжя. Одне з найважливіших завдань – відновлення території після промислової діяльності, запобігання деградації гірничопромислових ландшафтів і їхнє повернення в довгострокове та ефективне користування)<sup>33</sup>

Рекультивація є основним напрямом раціонального використання порушених земель гірничопромислових ландшафтів.

---

<sup>33</sup> Коптева Т. С. Висотна диференціація та різноманіття гірничопромислових ландшафтів Криворіжжя: дис. ... доктора філософії (РД). Вінниця : ВДПУ, 2021. 163 с.

*Рекультивация* гірничопромислових ландшафтів – спроба реалізувати складний комплекс інженерних, гірничотехнічних, меліоративних, біотичних, санітарно-гігієнічних та інших заходів, які спрямовані на повернення порушених промисловістю територій у різні види природокористування (сільськогосподарське, лісогосподарське, рекреаційне).<sup>34</sup>

Рекультиватії підлягають усі гірничопромислові комплекси, на яких відбувається зміна товщ відкладів, рельєфу, ґрунтового та рослинного покривів. Найчастіше рекультиватію здійснюють при ліквідації гірничодобувного підприємства і постайнових (відпрацьованих) систем, які залишилися від підприємства. Об'єктами рекультиватії виступають: кар'єрні виїмки, відвали, відстійники, хвостосховища, а також території, які були порушені під час видобування і збагачення корисних копалин (прогини, провалля тощо).<sup>35</sup>

Технологічний процес, який відбувається при розробці родовищ корисних копалин, призводить до винесення на земну поверхню порід різноманітного складу, генезису, літології та властивостей. Часто буває так, що породи, які видобуваються, містять токсини, небезпечні для ґрунтів та рослин. Іноді токсини утворюються в процесі окислення відкладів на земній поверхні, тому досить важливо визначати можливості та напрями оптимізації гірничопромислових ландшафтів.<sup>36</sup>

У межах Криворіжжя переважає рекультиватія, що проходить в два етапи: гірничотехнічний і біотичний (рис. 9, 10).

Гірничотехнічний етап – це підготовка земельних угідь, планування поверхні рельєфу, нанесення родючих ґрунтів на поверхню певного гірничопромислового об'єкту, меліоративні роботи та інше<sup>37</sup>.

---

<sup>34</sup> Денисик Г. І., Казаков В. П., Ярков С. В. Сингенез рослинного покриву у ландшафтах зон техногенезу : монографія. Вінниця : ПП «Едельвейс і К», 2012. 240 с.

<sup>35</sup> Коптева Т. С. Висотна диференціяція та різноманіття гірничопромислових ландшафтів Криворіжжя: дис. ... доктора філософії (PD). Вінниця : ВДПУ, 2021. 163 с.

<sup>36</sup> Сивий М. Мінеральні ресурси Поділля: конструктивно-географічний аналіз і синтез: монографія. Тернопіль : Підручники і посібники, 2004. 656 с.

<sup>37</sup> Коптева Т. С. Оптимізація функціонування гірничопромислових ландшафтів Криворіжжя. *Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування* : матеріали Міжнарод. наук. конф. Харків, 2018. С. 216–217.

Біотичний етап рекультивації передбачає певний комплекс агротехнічних і фітомеліоративних заходів, які спрямовані на відновлення середовища існування живих організмів і господарської продуктивності земель.<sup>38</sup>



**Рис. 9. Гірничотехнічна рекультивація на кар'єрі № 2 ЦГЗК**



**Рис. 10. Біологічна рекультивація на кар'єрі № 3 Інгулецького гірничозбагачувального комбінату**

---

<sup>38</sup> Коптева Т. С. Висотна диференціація та різноманіття гірничопромислових ландшафтів Криворіжжя: дис. ... доктора філософії (РД). Вінниця : ВДПУ, 2021. 163 с.



Рекультивацию на території Криворіжжя здебільшого проводять на кар'єрно-відвальному типі місцевостей.

У 1963 р. на території Криворіжжя було здійснено перші спроби оптимізації відвальних ландшафтних комплексів І. А. Добровольським і В. М. Данько. Дослідники намагалися підібрати різні за життєвими формами види рослин, які будуть здатні проростати на розкритих породах відвалів. У 1970-х рр. був створений Криворізький ботанічний сад, який продовжив цей напрям діяльності, також вивчалися екологічні умови проростання рослин і кліматичні характеристики території.<sup>39</sup>

Фіторекультивація на кар'єрно-відвальних комплексах проводилась різними методами – від ручної посадки насіння та саджанців до засіву за допомогою гелікоптерів. Однак перші спроби фіторекультивації були малоефективні і дуже матеріально затратні. У ХХІ ст. дослідники дійшли висновку, що найефективнішою рекультивация виявилась на кам'янистих відвалах, які були засаджені сосною кримською. Після вдалого експерименту дослідники почали розробляти стратегії, напрями та моделі рекультивации порушених земель не лише на території Криворіжжя, а й по всій Україні (М. Є. Берескевич, М. Т. Масюк, І. П. Чабан, В. Л. Забалуєв та А. А. Мицик).<sup>40</sup>

Метою дослідження було дослідити рослинний покрив на рекультивованих гірничопромислових ландшафтів, а саме на Бурштинському, Шимаківському відвалах і відвалі «Степовий».

Зазначемо, що рослинність КЛТС представлена понад 1260 видами вищих рослин. Корінним типом рослинності є степи, у видовому складі яких переважають багаторічні трав'янисті рослини, зокрема дернинні злаки: ковила (*Stipa*), костриця (*Festuca*), келерія (*Coeleria*), житняк (*Agropyron*), тонконіг (*Poa*) та інші.

Степова частина України входить до складу Причорноморської степової провінції. У її межах виокремлюється дві провінції – Приазовсько-Чорноморська та Середньодонська. У Приазовсько-Чорноморській виділяють три підзони: різнотравно-типчаково-ковилових степів, для якої характерна ковила Лессінга та стоколос прибережний; типчаково-ковилових степів, до якої відноситься

---

<sup>39</sup> Коптева Т. С. Висотна диференціація та різноманіття гірничопромислових ландшафтів Криворіжжя: дис. ... доктора філософії (РД). Вінниця : ВДПУ, 2021. 163 с.

<sup>40</sup> Там само.

ковила українська; полиново-злакових степів, що представляють такі види рослин, як житняк гребінчастий та полин кримський.<sup>41</sup>

У знижених формах рельєфу трапляються мезоксерофітні види різнотрав'я: люцерна румунська, шавлія дібровна, різак звичайний. У водоймах, які формуються у балках і окремих старицях, рослинний покрив представлений лучно-болотними та лучно-степовими угрупованнями, де наявний пирій подовий, стоколос безостий, осоки.<sup>42</sup>

У КЛТС присутні лісові масиви, які сформувались у заплавах річок та невеликих балках. Урочища байрачних лісів наявні у північно-степовій підзоні, а саме в смузі різнотравно-типчаково-ковилових степів, на півночі та в центрі Кривбасу. До них належать такі види рослин: дуб звичайний, клен гостролистий, в'яз граболистий, липа серцелиста, груша звичайна; для чагарників притаманна крушина ламка, глід криваво-червоний, шипшина собача та степова; до трав'яного покриву відноситься зірочник злакоподібний, яглиця звичайна, конвалія звичайна; верба притаманна в заплавах лісових угрупованнях<sup>43</sup>.

На гірничопромислових ландшафтах проростає рослинність, яка була насаджена за допомогою рекультивації або проросла самостійно (здебільшого з дерев'янисто-чагарникових видів – клен татарський, тополя пірамідальна, верба ламка, маслина вузьколиста та ін.; серед різнотрав'я притаманні такі рослини: спориш звичайний, волошка сонячна, буркун жовтий, кульбаба лікарська, тонконіг степовий, пирій повзучий, молочай степовий, полин австрійський, костриця борозниста, залізник колючий та ін).<sup>44</sup>

Бурштіський відвал зараз повністю рекультивований, рослинні угруповання на відвалі різноманітні:

На рис. 11 детально продемонстровано рослинне угруповання на терасах Бурштіського відвалу і визначено:

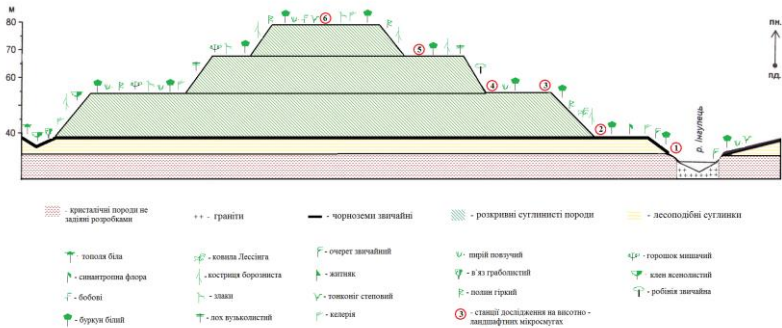
---

<sup>41</sup> Природнича географія Кривбасу / В. Л. Казаков та ін. Кривий Ріг : Октан-Принт, 2005. 156 с.

<sup>42</sup> Денисик Г. І., Казаков В. П., Ярков С. В. Сингенез рослинного покриву у ландшафтах зон техногенезу : монографія. Вінниця : ПП «Едельвейс і К», 2012. 240 с.

<sup>43</sup> Там само

<sup>44</sup> Коптева Т. С. Висотна диференціація та різноманіття гірничопромислових ландшафтів Криворіжжя : дис. ... доктора філософії (РД). Вінниця : ВДПУ, 2021. 163 с.



**Рис. 11. Різноманітність рослинного угруповання на Бурштинському відвалі<sup>45</sup>**

– у підніжжі відвалу на нижній акумулятивній мікросмугі (точки виміру 1, 2) притаманні такі рослини, як тополя біла, в'яз граблестий, клен ясенелистий; із трав'янистих рослин росте буркун білий, горошок мишачий, полин, пирій (рис. 12).<sup>46</sup>



**Рис. 12. Нижня акумулятивна мікросмуга Бурштинського відвалу**

<sup>45</sup> Коптева Т. С. Висотна диференціація та різноманіття гірничопромислових ландшафтів Криворіжжя : дис. ... доктора філософії (РД). Вінниця : ВДПУ, 2021. 163 с.

<sup>46</sup> Там само.

– до середньої акумулятивно-денудаційної мікросмуги (точки виміру 3, 4) належить скереда покрівельна, костриця борозниста та злаки (рис. 13).<sup>47</sup>



**Рис. 13. Середня акумулятивно-денудаційної мікросмуга  
Бурщітського відвалу**

– верхня денудаційна мікросмуга (точки виміру 5,6) характеризується такими рослинами, як тонконіг, буркун білий, келерія, житняк (рис. 14).<sup>48</sup>

Шимановський відвал повністю рекультивований і має постійну рослинність, яка досить інтенсивно розвивається на відвали.

На цих мікрорівнях характерна така рослинність: лох вузьколистий, тополя біла та пірамідальна, в'яз граболистий, робінія

---

<sup>47</sup> Коптева Т. С. Висотна диференціація та різноманіття гірничопромислових ландшафтів Криворіжжя : дис. ... доктора філософії (PD). Вінниця : ВДПУ, 2021. 163 с.

<sup>48</sup> Там само.

звичайна, клен татарський, синантропна флора (амброзія, злинка, грінделія, чорнощир).<sup>49</sup>



**Рис. 14. Верхня денудаційна мікросмуга Бурщітського відвал**

Якщо зробити висновок між Бурщітським та Шимановським відвалом, істотна відмінність не притаманна, але за рахунок порід, з яких складені відвали, обумовлена інтенсивність розвитку рослинності, а саме: пусті породи легко пропускають воду і коріння деревоподібних рослин. Також важливу роль відіграє крутизна схилів відвалів і панування вітрів. Загалом відвали повністю рекультивані і мають туристичну і наукову цінність.

Детально дослідили ділянки відвалу «Степового» і визначили, що основу флористичного спектру формують 10–15 основних родин.

Визначили, що на нижній акумулятивній мікросмузі відвалу «Степового» домінують такі родини рослин: Asteraceae (Айстрові) – 50, Fabaceae (Бобові) – 12,5, Poaceae (Злаки) – 12, Apiaceae (Селерові) – 5,5, Brassicaceae (Хрестоцвіті) – 5,5, Solanaceae (Пасльонові) – 5,5, Polygonaceae (Гречкові) – 5,5, Rubiaceae (Маренові) – 5,5 (рис. 15).

---

<sup>49</sup> Koptieva T. S., Denysyk B. G. Quarry and dump landscape systems of Kryvorizhzhia. *XX-th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. Surveying, Geology and Mining, Ecology and Management – SGEM 2020*. Bulgaria. Albena, 2021, 665–670.



**Рис. 15. Нижня акумулятивна мікросмуга відвалу «Степовий»**

На середній акумулятивно-денудаційній мікросмузі відвалу «Степового» мешкають такі родини рослин: Lamiaceae (Глухокропиви) – 5, Asteraceae (Астрові) – 40, Poaceae (Злаки) – 5, Apiaceae (Селерові) – 5, Fabaceae (Бобові) – 10 (рис. 16).



**Рис. 16. Середня акумулятивно-денудаційної мікросмуга відвалу «Степовий»**

Верхня денудаційна мікросмуга відвалу «Степовий» має такі родини рослин: Asteraceae (Астрові) – 6, Poaceae (Злаки) – 9, Apiaceae (Селерові) – 9, Solanaceae (Пасльонові) – 9 (рис. 17).



**Рис. 17. Рослинний покрив відвалу «Степовий»**

## **ВИСНОВКИ**

Отже, дослідження показало, що Бурщітський відвал у видовому складі рослин змінюється за рахунок висоти: у підніжжі відвалу притаманна деревоподібна рослинність, верхня денудаційна смуга відвалу являє собою різнотрав'я. Це пояснюється впливом таких чинників, як клімат, рельєф, кут нахилу відвалу, вологообмін, біохімічна міграція, надходження сонячної енергії та вихід речовини з екотопу.

Якщо зробити висновок між Бурщітським та Шимаківським відвалом, істотна відмінність не притаманна, але за рахунок порід, з яких складені відвали, обумовлена інтенсивність розвитку рослинності, а саме: пусті породи легко пропускають воду і коріння деревоподібних рослин. Також важливу роль відіграє крутизна схилів відвалів і панування вітрів.

Щодо відвалу «Степовий», то видовий склад рослинних угруповань відрізняється, тим, що на різних елементах мезорельєфу формуються різні екологічні умови. Домінування родин Asteraceae (Астрові), Brassicaceae (Капустяні), Fabaceae (Бобові) свідчить про їх більшу пластичність у різних екологічних умовах.

## **АНОТАЦІЯ**

Розглянуто особливості формування ґрунтового та рослинного покриву на гірничопромислових ландшафтах Криворізької ландшафтно – технічної системи наприкладі Бурщітського, Шимаківського відвалів та відвалу «Степовий» Зазначено, що, безперервний, упродовж 150 років, та активний розвиток гірничодобувної промисловості у межах Криворізького залізничного басейну, призвів до формування своєрідної ландшафтно

структури. Показано, що на території Криворізької ландшафтно – технічної системи створені шляхи раціонального використання порушених земель гірничопромислових ландшафтів, а саме рекультивація. Досліджено, що завдяки рекультивації на гірничопромислових ландшафтах створені сприятливі умови для розвитку ґрунтового та рослинного покриву. Визначено, задля запобігання техногенної катастрофи на території Криворізької ландшафтно – технічної системи потрібно більше залучати нових підходів на гірничопромислових ландшафтах до оптимізації та подальшого раціонального використання.

### Література

1. Вільна енциклопедія «Вікіпедія». Термін «Відвал» URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%96%D0%B4%D0%B2%D0%B0%D0%BB> (дата звернення 29.03.2022).
2. Денисик Г. І., Задорожня Г. М. Похідні процеси та явища в ландшафтах зон техногенезу : монографія. Вінниця : Вінницька обласна друкарня, 2013. 220 с.
3. Денисик Г. І., Казаков В. П., Ярков С. В. Сингенез рослинного покриву у ландшафтах зон техногенезу : монографія. Вінниця : ПП «Едельвейс і К», 2012. 240 с.
4. Казаков В. Л. Антропогенні ландшафти Криворіжжя: історія розвитку, структура. *Географічні дослідження Кривбасу* : матеріали кафедральних наук.-дослід. тем. 2007. Вип. 2. С. 27–35.
5. Іванов Є. А. Еколого-ландшафтознавчі основи рекультивації гірничопромислових територій. *Проблеми ландшафтного різноманіття України*. 2000. С. 221–225.
6. Козинська І. П. Структура гірничопромислових ландшафтів південного лісостепу правобережної України. *Наукові записки ВДПУ ім. М. Коцюбинського. Серія: Географія*. 2011. Вип. 22. С. 15–21.
7. Коптева Т. С. Висотна диференціація та різноманіття гірничопромислових ландшафтів Криворіжжя : дисер. на здобуття наукового ступеня доктора філософії (РД). Вінниця : ВДПУ, 2021. 163 с.
8. Koptieva T. S., Denysyk V. G. Quarry and dump landscape systems oof Kryvorizhzhia. *XX-th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. Surveying, Geology and Mining, Ecology and Management – SGEM 2020*. Bulgaria. Albena, 2021, 665–670 (Emerging Scopus).



9. Коптева Т. С. Оптимізація функціонування гірничопромислових ландшафтів Криворіжжя. *Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування* : матеріали Міжнар. наук. конф. Харків, 2018. С. 216–217.

10. Сивий М. Мінеральні ресурси Поділля: конструктивно-географічний аналіз і синтез : монографія. Тернопіль : підручники і посібники, 2004. 656 с.

11. Природнича географія Кривбасу / В. Л. Казаков та ін. Кривий Ріг : Октан-Принт, 2005. 156 с.

**Information about the author:**

**Koptieva Tetiana Serhiivna,**

Candidate of Geographical Sciences,

Teacher

H. S. Skovoroda Kharkiv National Pedagogical University

26, Ludviga Svobody ave., Kharkiv, 61174, Ukraine

## МЕТОД НАТУРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ У ГЕОЛОГІЧНИХ ТА ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ: ТЕОРЕТИЧНИЙ АСПЕКТ

Мелконян Д. В.

### ВСТУП

Вивчення механізмів, що беруть участь у процесі побудови висновків на основі аналогій, є важливим завданням для багатьох галузей науки, таких як: механіка, гідродинаміка, штучний інтелект, система управління, геологія, геофізика та ін.

Метод аналогій стосовно до наук про Землю був створений авторами наукових праць<sup>1</sup> та названий «методом натурального моделювання».

Метод натурального моделювання є перспективним для застосування в управлінні геологічними системами, оскільки є ефективним з погляду системного підходу до вирішення завдань управління, тобто аналізу структури системи у кожен аналізований час, і з погляду законів розвитку системи, тобто законів взаємодії елементів системи та законів їх переходу з одного стану в інший з набуттям нових властивостей у процесі розвитку системи.

Метод натурального моделювання передбачає спільне вивчення великої кількості факторів та наявність великого обсягу даних безперервних спостережень. Перевага натурних моделей полягає в тому, що вони зберігають різносторонність і складність зв'язків, характерних для геологічних процесів. При відповідній обробці даних неперервних спостережень можна створити різноманітні групи природних аналогів – базу для прогнозу майбутнього стану геологічної системи та для вживання заходів управління ними.

Сьогодні, коли створені численні геоінформаційні системи (ГІС), окрім бази даних, і існують сучасні швидкодійні комп'ютери,

---

<sup>1</sup> Розовский Л. Б., Зелинский И. П., Воскобойников В. М. Инженерно-геологические прогнозы и моделирование. Москва – Киев – Одесса : Вища. шк., 1987. 208 с.; Petit J.-C. Reasoning by analogy: rational foundation of natural analogue studies. *Applied Geochemistry. Supplementary Issue*. 1992. Vol. 1. P. 9–12.

застосування даного методу практично для всіх геологічних процесів і явищ є реальним.

В нинішній час є великий обсяг різнорідних даних геологічних та геофізичних розвідувальних робіт, наприклад, моніторингові спостереження за ґрунтовими і підземними водами та іншими компонентами як геологічного, так і навколишнього природного середовища; результати випробувань ґрунтів лабораторними і польовими методами та ін. Застосування ГІС та інших інтелектуальних систем забезпечує накопичення та надійне зберігання цих даних, загальний доступ до них та їх використання на стадії розвідувальних робіт; наочне картографічне відображення виявлених особливостей досліджуваного геологічного об'єкта, явища чи процесу. Отримана інформація дозволяє не лише судити про особливості геологічного утворення, процесу чи явища, але й простежити за їхньою динамікою під впливом різних факторів, у тому числі техногенних.

Метод натурного моделювання заснований на теорії подібності і дозволяє враховувати взаємозв'язок не тільки процесів, які мають місце при природному розвитку геологічного середовища, але й складні взаємовідношення між інженерно-геологічними процесами. Зазвичай метод аналогій використовують тоді, коли у зв'язку з великою складністю і недостатньою дослідженістю процесу диференціальне рівняння не може бути складеним, або його складання пов'язане з істотним спрощенням процесу, або, якщо лабораторний експеримент на малих моделях пов'язаний з недопустимим спрощенням. Для багатьох сучасних геологічних процесів неможливо ані вивести такі рівняння, ані довести однозначність їх розв'язку. При натурному моделюванні не потрібно будувати моделі, їх потрібно лише знайти в природі у готовому вигляді. На цих природних аналогах процеси, які очікуються на об'єкті прогнозу, вже протікали, і дані спостережень на природних аналогах можна перенести на подібні їм об'єкти прогнозу.

У геології існують численні приклади успішного використання методу аналогій<sup>2</sup>, і це є передумовою того, щоб надати аналогії

---

<sup>2</sup> Alexander W. R., Reijonen H. M., McKinley I. G. Natural analogues: studies of geological processes relevant to radioactive waste disposal in deep geological repositories. *Swiss Journal of Geosciences*. 2015. Vol. 108. P. 75–100. <https://doi.org/10.1007/s00015-015-0187-y>; Magnuszewski P., Sendzimir J., Kronenberg J. Conceptual modeling for adaptive environmental assessment and management in the Barycz Vally, Lower Silesia, Poland. *International Journal of*

статусу одного з можливих методів наукового пізнання<sup>3</sup>. Метод широко використовується не тільки в геології, але й в інженерній геології<sup>4</sup>. Наприклад, автори робіт<sup>5</sup> застосували метод аналогії під назвою «метод інженерно-геологічної аналогії» для оцінки сучасних інженерно-геологічних умов досліджуваної території та напружено-деформованого стану масивів гірських порід у перспективі їхньої взаємодії з інженерними спорудами; для аналізу характеру та причин деформацій будівель та споруд; для виконання прогнозних оцінок розвитку геологічних і інженерно-геологічних процесів та ін.

---

*Environmental Research*. 2005. Vol. 2(2). P. 194–203. doi: 10.3390/ijerph2005020001; Schellart W. P., Strak V. A review of analogue modeling of geodynamic processes: Approaches, scaling, materials and quantification, with an application to subduction experiments. *Journal of Geodynamics*. 2016. Vol. 100. P. 7–32. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2016.03.009>; Зелинский И. П., Черкез Е. А., Гузенко А. В. Инженерно-геологические прогнозы и моделирование. Одесса : Изд-во ОГУ, 1983. 126 с.; Зелинский И. П., Елсуфьев С. А., Школа А. В. Геомеханика. Одесса : Астропринт, 1998. 256 с.; Количко А. В. Метод инженерно-геологических аналогий. *Проблемы и перспективы*: сб. науч. тр. Москва: АО «Институт Гидропроект», 2000. Вып. 159. С. 5–9; Мелконян Д. В., Черкез Е. А. Применение метода натурального моделирования в управлении эколого-геологическими системами. *Актуальные вопросы инженерной геологии и экологической геологии*: труды междунар. конф. (Москва, 25–26 мая 2010 г.) / Под ред. В. Т. Трофимова и В. А. Королева. Москва : Изд-во МГУ, 2010. 272 с.; Розовский Л. Б., Зелинский И. П., Воскобойников В. М. Инженерно-геологические прогнозы и моделирование. Москва – Киев – Одесса: Вища. шк., 1987. 208 с.; Тюнина Н. В. Особенности применения метода инженерно-геологических аналогий при изысканиях на городских территориях. *Промышленное и гражданское строительство*. 2007. Вып. 9. С. 46.

<sup>3</sup> Уемов А. И. Аналогия в практике научного исследования. Москва : Наука, 1970. 264 с.

<sup>4</sup> Розовский Л. Б., Зелинский И. П., Воскобойников В. М. Инженерно-геологические прогнозы и моделирование. Москва – Киев – Одесса : Вища. шк., 1987. 208 с.; Зелинский И. П., Елсуфьев С. А., Школа А. В. Геомеханика. Одесса : Астропринт, 1998. 256 с.; Количко А. В. Метод инженерно-геологических аналогий. *Проблемы и перспективы*: сб. науч. тр. Москва : АО «Институт Гидропроект», 2000. Вып. 159. С. 5–9; Тюнина Н. В. Особенности применения метода инженерно-геологических аналогий при изысканиях на городских территориях. *Промышленное и гражданское строительство*. 2007. Вып. 9. С. 46.

<sup>5</sup> Количко А. В. Метод инженерно-геологических аналогий. *Проблемы и перспективы*: сб. науч. тр. Москва : АО «Институт Гидропроект», 2000. Вып. 159. С. 5–9; Тюнина Н. В. Особенности применения метода инженерно-геологических аналогий при изысканиях на городских территориях. *Промышленное и гражданское строительство*. 2007. Вып. 9. С. 46.

## 1. Основи методу натурального моделювання

**Геологічна подібність.** Одним з важливих етапів застосування методу аналогії до геологічних утворень, явищ та процесів є встановлення геологічної подібності за допомогою критеріїв геологічної подібності, які мають бути пропорційними для подібних однойменних процесів та явищ.

*Критерії геологічної подібності* (безрозмірні числа) відображають взаємодію геологічних процесів і сил, що викликають ці процеси. Крім того, критерії геологічної подібності зберігають постійність у подібних геологічних процесів. Рівність критеріїв геологічної подібності вказує на те, що при всіх змінах у міру розвитку геологічного процесу характер взаємодії внутрішніх сил і сторін процесу залишається одним і тим самим.

Будь-який геологічний процес охоплює низку фізичних процесів, що його складають, тобто теорія геологічної подібності є частковим застосуванням загальної теорії фізичної подібності у галузі геологічних наук і досліджень. У зв'язку з цим для встановлення геологічної подібності можна застосувати теорію фізичної подібності<sup>6</sup>. Заміна реальної фізичної системи моделлю основана на так званих *законах подібності*, за допомогою яких можна отримати критерії подібності, що дозволяють перенести дані, отримані на моделі, на вихідну фізичну систему.

Геологічні процеси і явища відрізняються від фізичних (теплових, фізико-хімічних та ін.) процесів тим, що вони самі складаються з комплексів цих же процесів. Проте геологічні процеси є не механічною сумою фізичних процесів і явищ, а їх діалектичним поєднанням, в результаті становлення якого з'являється якісно нова форма руху матерії – геологічна. І так само як теплова подібність характеризує подібність температур і теплових потоків, електромагнітна подібність – подібність полів струмів і електромагнітних сил і т. п., геологічна подібність характеризує подібність конкретних форм проявів геологічного руху, подібність геологічних процесів, явищ і утворень.

Геологічні процеси мають подовжені координати часу і простору, тобто вони діють на значних площах і протягом тривалого часу. Седиментація, утворення шарів, абразія берегів, вивітрювання гірських порід, ерозія, конкретні прояви тектогенезу, формування

---

<sup>6</sup> Веников В. А., Веников Г. В. Теория подобия и моделирования. Москва : Высш. шк., 1984. 439 с.

речовинного складу руд і підземних вод та інші геологічні процеси не можуть бути порівнянними за своїми розмірами і тривалістю дії зі швидкоплинними фізичними процесами. Подовження координат часу і простору обумовлює важливі особливості геологічних утворень (процесів, явищ), які можна сформулювати як *неоднорідність в точці і однорідність в цілому*<sup>7</sup>.

Тривале протікання геологічних процесів і неодноразова зміна умов середовища дії процесів призводять до *неоднорідності в точці* геологічних утворень. Наприклад, в процесі утворення шару піску міняються умови осадження зерен піску: змінюються глибини водоймища, швидкості стікання води, її температура, міняється сам матеріал осаду і т.д. Все це відбувається на фоні руху берегової лінії. В результаті шар складається із зерен, різноманітних за формою, розміром і мінералогічним складом. Проте, та ж подовженість координат часу і простору створює численні статистичні ситуації, результатом яких є поява усереднених якостей. Ці узагальнені якості і обумовлюють *однорідність в цілому* геологічних утворень. У тому ж шарі піску його узагальненими якостями є: особливий механічний склад, роздільнозернистість, певні закономірності в заляганні і т.п. Ці усереднені і узагальнені якості визначають виділення шару піску як особливого геологічного утворення або інженерно-геологічного елементу. Узагальненими якостями можуть бути також закономірна геохімічна зональність (наприклад, закономірна зміна вмісту заліза в мінералах), закономірний розподіл дрібних розривів і тріщин різного типу в масивах гірських порід і т.д. Однорідність в цілому і неоднорідність в точці властиві в тій чи іншій мірі всім геологічним утворенням, явищам і процесам.

Таким чином, *геологічна подібність* – це схожість виявлених істотних, узагальнених якостей (однорідність в цілому) при несхожості частковостей (неоднорідність в точці).

Оскільки більшість геологічних процесів є багатофакторними складними процесами, важко створювати їх моделі або знайти у природі геологічні процеси (об'єкти) із строго пропорційними одна одній характеристиками. З цих причин геологічна подібність є переважно наближеною подібністю. Існування неоднорідного

---

<sup>7</sup> Розовский Л. Б., Зелинский И. П., Воскобойников В. М. Инженерно-геологические прогнозы и моделирование. Москва – Киев – Одесса : Вища. шк., 1987. 208 с.; Зелинский И. П., Елеуфьев С. А., Школа А. В. Геомеханика. Одесса : Астропринт, 1998. 256 с.

в точці утрудняє виявлення подібності геологічних об'єктів. Проте, наявність однорідного в цілому обґрунтовує принципову можливість встановлення їхньої наближеної подібності. Потрібно лише встановити у порівнюваних об'єктів приблизно пропорційні зміни величин, що характеризують узагальнені якості.

*Подібними* називаються ті геологічні процеси, явища й утворення, у яких схожість істотних, усереднених і узагальнених властивостей супроводжується приблизно пропорційними змінами цих властивостей або їх співвідношень.

Таким чином, застосувавши закони фізичної подібності до геологічних об'єктів (явищ, процесів), можна сказати, що два геологічні об'єкти є подібними, якщо для них приблизно однакові: 1) геологічні умови (літологія порід, їх властивості, умови залягання і т.д.); 2) просторова (геолого-структурна) характеристика території, на якій виявляється процес або явище; 3) геологічна історія і тривалість явища або процесу; 4) умови взаємодії найістотніших аспектів явища або процесу на певному етапі.

Важливо зазначити, що теорія фізичної подібності надає можливість для кількісних оцінок подібності. Базою для цієї теорії служать три теореми фізичної подібності<sup>8</sup>. Основою умов натурного моделювання геологічних процесів є така теза: у геологічних процесів немає особливостей, які могли б виключити застосування до них теорем фізичної подібності<sup>9</sup>.

*Перша теорема* фізичної подібності стверджує, що у подібних процесів безрозмірні комбінації величин (тобто критерії подібності), що відображають зв'язки між істотними характеристиками процесу, є відповідно рівними.

Подібність фізичних процесів потребує точного збігу критеріїв подібності. Геологічна подібність є наближеною, і у зв'язку з цим можливо здійснити лише схожість (наближену рівність) критеріїв. Оскільки геологічна подібність – це наближена подібність, при виведенні критеріїв геологічної подібності враховують в основному узагальнені, генералізовані чинники. До критеріїв геологічної подібності не входять величини, що є моноваріантами

---

<sup>8</sup> Веников В. А., Веников Г. В. Теория подобия и моделирования. Москва : Высш. шк., 1984. 439 с.

<sup>9</sup> Розовский Л. Б., Зелинский И. П., Воскобойников В. М. Инженерно-геологические прогнозы и моделирование. Москва – Киев – Одесса : Вища. шк., 1987. 208 с.; Зелинский И. П., Черкез Е. А., Гузенко А. В. Инженерно-геологические прогнозы и моделирование. Одесса : Изд-во ОГУ, 1983. 126 с.

(моноваріанти – чинники, не пов’язані з результатом дії процесу узгодженими змінами), хоча вони можуть брати участь в процесі. Наприклад, для процесу переробки берегів до критеріїв подібності не зараховують показник просадковості лесів (моноваріант), оскільки узгоджений зв’язок між змінами просадковості і розмивом берега не встановлено. Хоча з геологічних міркувань слід було б розглядати просадковість лесів як важливий чинник їх деформації. Проте, в умовах їх енергетичного розмиву хвилями вплив чинника осідання на інтенсивність розмиву виявився заглушеним сильнішим впливом інших чинників. Мікроосідання лесів призводять до відшаровування від схилу порід загальним об’ємом близько часток кубічного метра на метр берегу, тоді як розмив хвилями сягає багатьох десятків кубічних метрів.

*Друга теорема (π-теорема)* фізичної подібності свідчить, що, якщо рівняння зв’язку характеристик явища або процесу перетворене таким чином, що воно складається з безрозмірних комбінацій, тобто критеріїв подібності, то у такому разі це *критеріальне рівняння* є кількісно рівним для всіх подібних явищ.

В практиці використання натурних моделей можуть бути отримані рівняння зв’язку (критеріальне рівняння) між прогнозною величиною і одним або групою критеріїв подібності  $A = f(K_1, K_2, K_3, \dots, K_n)$ . Практична цінність таких рівнянь полягає у тому, що вони є проміжним ступенем між моделюванням і узагальненнями результатів досліджень у вигляді емпіричних залежностей. Наприклад, В. М. Воскобойников виявив степеневу залежність між об’ємами розмивів ( $V$ ) берегів (на 44 ділянках Каховського водосховища після двох і п’яти років експлуатації) і величинами критерію геодинамічної подібності  $K_1$ . Критеріальне рівняння для цього зв’язку виглядає так<sup>10</sup>:  $V = a \cdot K_1^{-m}$ , де  $a$  і  $m$  – постійні процесу. Тут також встановлено діапазон значень критерію  $K_1$ , за межами якого, унаслідок підсиленого впливу моноваріант, порушується відповідність змін параметрів, представлених у критерію, і змін прогнозної величини. Тоді використання критеріальних рівнянь у попередньому вигляді стає неможливим.

Наведене вище підтверджує, що подібні геологічні явища, процеси та утворення характеризуються рівняннями, в які входять

---

<sup>10</sup> Розовский Л. Б., Зелинский И. П., Воскобойников В. М. Инженерно-геологические прогнозы и моделирование. Москва – Киев – Одесса : Вища. шк., 1987. 208 с.



критерії геологічної подібності. Такі рівняння називаються прогнозними в межах, між якими вплив моноваріант не встановлено.

*Третя теорема* стверджує, що подібні ті процеси та явища, які відбуваються в геометрично подібних системах, підкоряються одним і тим самим рівнянням зв'язку, у яких умови однозначності знаходяться в кількісно постійному відношенні, а складені з них визначальні критерії подібності є рівними.

Під умовами однозначності розуміється комплекс умов, задоволення яких уможливує виділення з цілого комплексу явищ якого-небудь одиничного явища. Іншими словами, це ті умови, які в будь-якій причинній залежності визначають одне єдине значення наслідку. До них належать такі, незалежні від механізму самого явища, чинники і умови: геометричні властивості системи, в якій протікає процес; фізичні параметри середовища і тіл, утворюючих систему; початковий стан системи (початкові умови); умови на межах системи (граничні умови).

У конкретнішій постановці, наприклад, для подібності умов однозначності процесів переробки берегів абразією необхідно, щоб на натурній моделі і об'єкті прогнозу (або на двох ділянках узбережжя) були однакові: 1) літологічний склад і властивості порід, що розмиваються, на обох ділянках; 2) висота і крутизна схилу, що переробляється; 3) початкові умови (профіль схилу і властивості порід до початку переробки), а також тривалість процесів; 4) співвідношення між енергією хвиль, що руйнують беріг, і потенційною енергією сил опору порід розмиву протягом періоду часу, для якого виконується прогноз.

У багатофакторному геологічному процесі складніше встановити граничні умови. Для багатьох геологічних процесів справедливим є таке припущення, прийняте в подібності механічних і електричних явищ: якщо на подібні тіла діють динамічно подібні системи сил, то рухи і зміни тіл будуть подібними за однієї лише умови початкового стану тіл. Інакше кажучи, при однаковому вихідному стані подібність діючих сил обумовлює і подібність результатів. Проте, строгий збіг (у будь-який момент часу) змінних чинників, наприклад, таких, як швидкість і напрям вітру на водосховищах, що визначають одну з граничних умов – сумарну енергію хвиль, забезпечити неможливо. Отже, постійність співвідношення граничних умов при моделюванні складних геологічних процесів порушуватиметься. Проте, наближений характер геологічної подібності допускає такі порушення, якщо вони компенсовані в часі, і окремі відхилення

неістотно впливають на результат процесу. Внаслідок цього ціннішими є натурні моделі з тривалим періодом прояву процесу (наприклад, для процесу переробки берегів – 5–10 років і більше).

Зазначені припущення, так само як і інші припущення моделювання, можна перевірити дослідом – порівнянням статистичного ряду пар аналогів. Якщо вони вірні, то подібність умов однозначності обмежується подібністю одних лише початкових умов. Критерії, в які входять початкові умови, будуть *визначальними*. Наприклад, для процесу переробки берегів до критеріїв геометричної подібності  $K_3$  і  $K_4$  (див. параграф 2) і до критеріїв літологічної подібності  $K_2$  входять початкові умови (характеристики вихідного стану). Ці три критерії є визначальними.

В інших випадках подібність граничних умов забезпечується, якщо умови взаємодії з навколишнім середовищем є однаковими на об'єкті прогнозу і аналогу. Наприклад, для переробки берегів водосховищ така подібність граничних умов виникає, якщо є однакові співвідношення між енергією хвиль, що руйнує схил, і потенційною енергією сил опору масиву порід розмиву протягом періоду часу, для якого виконується прогноз.

***Натурна модель. Принципи натурального моделювання.*** З трьох типів моделювання – натурального, лабораторного і логічного – найбільші можливості для конкретних кількісних прогнозів сучасних геологічних процесів (зсувів, переробки берегів водосховищ, ерозії і т. д.) має натурне моделювання.

Будь-яке геологічне явище, як і споруда, побудована в певних геологічних умовах, є експериментом (конкретним прикладом), який повинен вивчатися і служити засобом пізнання прогнозних явищ. Тому при прогнозуванні геологічних процесів і явищ доводиться користуватися методом аналогії (натурного геологічного моделювання).

*Натурні моделі* – такі природні комплекси, особливості і поведінка яких в часі достатньо вивчені для того, щоб можна було встановити їх аналогію (подібність) з іншими природними комплексами.

Натурними аналоговими моделями можуть служити будь-які геологічні об'єкти – площа прояву і дії геологічних та інженерно-геологічних процесів (ділянка узбережжя, схили, геоморфологічні елементи, шар, масив, будмайданчики і т.д.). Моделлю може служити також геологічне явище: зсув, абразія, землетрус і т.д. На природних аналогах, як і на будь-яких інших моделях,

відтворюються процеси, протікання яких очікується на об'єкті прогнозу. Важливою ознакою природних аналогів (натурних моделей) є те, що вони пов'язані з відповідними об'єктами коефіцієнтами пропорційності, близькими до одиниці. Це полегшує інтерпретацію властивостей моделі на об'єкті прогнозу.

*Метод натурального моделювання* є комплексом досліджень об'єкта прогнозу і його природного аналога (моделі), виконаним в послідовності і обсязі, які є достатніми для перенесення одержаних висновків з аналога на об'єкт або навпаки.

Метод натурального моделювання включає три послідовні операції<sup>11</sup>: (1) пошук аналогів; (2) встановлення подібності між об'єктом прогнозу (або об'єктом дослідження) і його аналогом; (3) перенесення даних від природного аналога (спостережень на натурній моделі) на об'єкт прогнозу.

*Перший етап* (створення бази даних) зводиться до збору і обробки інформації про природні комплекси, які знаходяться в схожих геологічних умовах. Тут також створюють окремі класи аналогів з урахуванням їх кількісних і якісних критеріїв подібності. Класи аналогів створюють, використовуючи такі істотні характеристики (показники, критерії подібності), врахування яких є достатнім для прогнозу поведінки системи в заданому діапазоні точності прогнозу.

*Друга операція* – це вибір потрібної натурної моделі. У зв'язку з цим (з урахуванням кількісних і якісних критеріїв подібності) спочатку встановлюють приналежність об'єкта прогнозу до одного з класів аналогів, а потім виявляють наближену подібність з одним з об'єктів усередині вибраного класу.

Для здійснення другого етапу використовують різні методи теорії розпізнавання образів: кореляційний, регресійний, метод евклідової відстані та ін. Деякі з цих методів розглянуті в параграфі 3.

При виконанні *третьої операції* (перенесення даних від природного аналога на об'єкт прогнозу) використовується просте припущення: при збігу у порівнюваних об'єктів  $n$  істотних характеристик можна очікувати, що і  $n+1$  характеристика, відома на моделі і невідома на об'єкті прогнозу, також співпадає. В цьому разі

---

<sup>11</sup> Розовский Л. Б., Зелинский И. П., Воскобойников В. М. Инженерно-геологические прогнозы и моделирование. Москва – Киев – Одесса : Вища. шк., 1987. 208 с.

можливим є просте перенесення прогнозної величини з моделі на об'єкт прогнозу.

Для того, щоб природний аналог (натурна модель) дозволяв вирішувати дослідницькі і прогнозні завдання, повинен бути дотриманий ряд умов (або ряд принципів моделювання): 1) принцип наближеної і неповної подібності натурної моделі і об'єкта прогнозу; 2) принцип інтегральної подібності процесу за наявності відхилень від подібності окремих процесів, що його складають; 3) принцип алгоритмізації ознак подібності природного аналога і використання представляючих показників.

1. *Принцип наближеної і неповної подібності натурної моделі і об'єкта прогнозу.* Цей принцип є прямим наслідком з постулату *однорідного в цілому, неоднорідного в точці*. Тут між моделлю і об'єктом прогнозу має бути доведено існування одного з видів встановлених аналогій (*ізоморфної, гомоморфної або групової*), а також наявність приблизно подібних змін істотних змінних характеристик.

У складних випадках, коли, наприклад, натурною моделлю служить ділянка узбережжя діючого водосховища, на якому протягом багатьох років відбувається переробка, порівнянню підлягають властивості подвійного характеру: характеристики, що практично мало змінюються в межах тривалості протікання процесу (літологія порід схилу, їх фізико-механічні властивості, мінералогічний і хімічний склад), і характеристики, що змінюються. До характеристик, що змінюються, зараховуються і діючі сили (енергія хвиль), і умови їх прояву (коливання рівнів води, трансформація хвиль на обміліні, частота обвалів), і результати їх дії (розмивання берега, зміна профілю схилу).

Перші властивості (характеристики) називаються *постійними* процесу, а другі – *змінними*.

*Ізоморфні аналогії* мають взаємно однозначну відповідність елементів відношень між ними. Прикладами можуть служити: аналогія між геологічною картою і геологічною будовою знятої території; аналогія між зміною дебіту свердловини і кривою дебіту свердловини на графіку. В ізоморфних аналогіях може бути відсутньою матеріальна схожість окремих елементів, проте є схожість форм, схожість відношень між окремими елементами. Наприклад, на карті взаємні відношення між розповсюдженням окремих елементів залишаються тими ж самими, що й на місцевості (на частку пісків доводиться, наприклад, 30 % площі і на місцевості,

і на карті). Водночас кожному з елементів на місцевості відповідає строго певний елемент (позначення) на карті. Це і є взаємно однозначною відповідністю.

У *гомоморфних аналогіях* відповідність елементів є неоднозначною. При цьому зберігається схожість деяких відношень і структур, і можлива також схожість деяких елементів. Наприклад, співвідношення різних мінералів в пробі піску можуть бути тотожними співвідношенню цих самих мінералів у пласті, але немає відповідності (геометричної подібності) всіх розмірів і форм пласта і проби.

*Аналогії групові* є аналогіями систем, що належать до однієї і тієї ж самої групи. Приналежність до групи встановлюється підпорядкуванням частини або всіх елементів одним і тим самим законом або загальністю деяких властивостей і відношень. Наприклад, декілька різних зсувів можна розглядати як групові аналогії тільки тому, що всі вони є зсувом порід по схилу під впливом сили тяжіння. Решта елементів – літологія порід, що зсовуються, поверхня ковзання, походження зсувів, їх історія і т.п. – є різними.

Ізоморфні, гомоморфні і групові аналогії відрізняються одна від одної ступенем і характером схожості. Найвищий рівень схожості відзначається в ізоморфних аналогіях. В міру деталізації досліджень і відбору аналогів групові аналогії можуть переростати в гомоморфні, а іноді – і в ізоморфні.

При порівнянні складних систем може бути встановлено наявність відразу декількох типів аналогії.

2. *Принцип інтегральної подібності геологічного процесу за наявності відхилень від подібності окремих процесів, що його складають.* Вимогу забезпечення складових окремих процесів важко виконати однаковою мірою для всіх окремих процесів. У зв'язку з цим, щоб забезпечити подібність двох геологічних процесів, немає необхідності відшукувати в природі аналоги з пропорційною зміною кожної змінної. За наявності *компенсаторів* подібність встановлюється і при непропорційних змінах всієї решти змінних.

Компенсатором може служити властивість, що найбільш "рухливо", легко змінюється (наприклад, енергія сил, що викликають процес). Дослідникам берегів давно відомо, що деякі різні за формою і літологічним складом ділянки узбережжя розмиваються з однаковою швидкістю (тут компенсатором служить величина енергії хвиль), або одну й ту саму притоку води в колодязь дають породи різної проникності (компенсатор – ухили депресивної поверхні) і т.п.

3. *Принцип алгоритмізації ознак подібності натурної моделі і використання представляючих показників.* Нерідко алгоритмізація (тобто вираження числами, формулами, правилами) багатфакторного процесу становить значні труднощі. Тоді моделювання здійснюють за допомогою якісних описів ознак подібності. Таке моделювання називається атрибутивним, оскільки в цьому випадку порівнюються атрибути (властивості) явищ (процесів, утворень), виражені словами, а не числом. Наприклад, «обидва береги складені рихлими породами», «трансформація хвиль відбувається на порівнюваних об'єктах однаковим чином» і т.п.

Представлення ознак подібності у вигляді чисел (тобто алгоритмізація) – це одна з основних умов ефективного використання натурних моделей. Окрім цього, перехід від якісного (атрибутивного) моделювання до кількісного, який використовує критерії подібності (числа), має очевидні переваги в аспекті підвищення конкретності і об'єктивності прогнозів.

Алгоритмізація різних аспектів і чинників геологічного процесу не становить серйозних труднощів, якщо є можливість розчленувати процес на складові елементи, характеристики яких піддаються безпосередньому вимірюванню. Наприклад, морфологічні елементи геологічного об'єкта (висота, крутизна профілю схилу). Утруднення з'являються тоді, коли які-небудь властивості і результати прояву процесу неможливо вимірити з різних причин. В цьому разі вдаються до представляючих показників, зміни яких відбивають зміни даної властивості. Наприклад, енергія прибіжного потоку, для якої ще не відомі задовільні методи розрахунку, може бути представлена енергією хвиль відкритого моря, для якої вже є низка емпіричних формул.

Всі теореми і принципи (умови) подібності, справедливі для лінійних систем, можуть бути поширені і на будь-які нелінійні системи або системи із змінними параметрами при збігу відповідних відносних характеристик змінних або нелінійних параметрів.

## 2. Критерії геологічної подібності

***Виведення критеріїв геологічної подібності на основі аналізу розмірності.*** У теорії подібності і моделювання критерії подібності визначають за допомогою: *теоретичного* (логічного) аналізу процесу або *аналізу розмірності*. Проте, через складний характер більшості геологічних процесів диференціальні рівняння, що характеризують ці процеси, не можуть бути складені або вимагають істотних спрощень. У зв'язку з цим основним засобом отримання

критеріїв геологічної подібності в натурному моделюванні є аналіз розмірності.

В натурному моделюванні критерії подібності можна одержати, враховуючи умови однозначності і застосовуючи аналіз розмірності. Для виведення критеріїв геологічної подібності необхідно виконати такі операції:

1. Скласти структурну схему процесу, в якій встановлюють процеси, що його складають (інваріанти – чинники, діючі однозначно і односторонньо; коваріанти – чинники, діючі за принципом прямого і зворотного зв'язку; моноваріанти – чинники, не пов'язані з результатом дії процесу узгодженими змінами). Саме з величин, що представляють інваріанти і коваріанти, і утворюються критерії подібності.

2. Знайти величини, що кількісно представляють інваріанти і коваріанти першого порядку (порядок чинника визначається за силою його впливу на процес). Одна з величин вибирається як прогнозована.

Метод натурного моделювання необхідний для кількісних прогнозів, тому він повинен оперувати числами, що полягає в зображенні інваріант і коваріант числами. Це означає, що числа (скалярні або векторні величини) не обов'язково повинні вимірювати дану властивість (чинник), що для багатьох аспектів геологічних процесів важко здійснити, а повинні відображати істотні зміни цієї властивості (чинника). Наприклад, для процесу переробки берегів водосховищ одним з важливих чинників є втрата хвильової енергії у процесі трансформації хвиль на обміліні. У цьому вельми складному процесі є низка складових процесів: втрати енергії на тертя, на зважування частинок, на фільтрацію в ґрунт і т.п. Проте, інтенсивність всіх цих складових процесів залежить від довжини пробігу хвиль над обміліною, тобто від розмірів обміліни. Тому як представляючу величину для чинника "втрата хвильової енергії в процесі трансформації хвиль на обміліні" можна вибрати ширину обміліни.

При виборі показників необхідно враховувати такі обставини:

а) показники повинні бути такими, щоб їх обчислювання або вимірювання на природних аналогах і об'єктах прогнозу було можливим;

б) показники підбираються такі, щоб їх розмірності не повторювалися. Тільки один з показників, який буде використаний як прогнозована величина, може мати розмірність, однакову з одним

з інших представляючих показників. Ця вимога обумовлена методикою аналізу розмірності;

в) мінімальна кількість представляючих показників повинна бути три, не враховуючи безрозмірних коефіцієнтів.

Системи з недостатньою кількістю врахованих характеристик (чинників) є хаотичними, їх поведінка непередбачувана. Тому, при складанні структурної схеми необхідно врахувати ту велику кількість характеристик, яка забезпечує однозначність перетворень.

Для того, щоб була дотримана умова (в), іноді буває доцільним включити до числа представляючих показників прискорення сили тяжіння, яке разом з іншими показниками (наприклад, вага породи в одному циклі обвалення, вага порід, залучених до процесу) представляє гравітаційні сили, діючі майже в будь-якому сучасному геологічному процесі.

Таким чином, після визначення всіх представляючих показників один з них (у якого зв'язки з іншими чинниками проявляються особливо чітко, тобто цей показник повинен бути фокусувальним) вибирається як прогнозована величина.

3. Скласти в загальному вигляді рівняння зв'язку прогнозованої величини та інших інваріант і коваріант у вигляді степеневого одночлена. При складанні рівняння зв'язку необхідно врахувати, що в лівій і правій частині рівняння величини з однаковою розмірністю повинні міститися не більше ніж по одному разу.

4. Застосувати аналіз розмірності. Застосувавши до складеного рівняння зв'язку аналіз розмірності, можна отримати безрозмірні числа (тобто критерії подібності), які можуть відображати подібність різних процесів, властивостей і умов на натурній моделі і об'єкті прогнозу.

Нижче наведені критерії геологічної подібності, які були отримані із застосуванням аналізу розмірності на прикладі переробки лесових берегів водосховищ<sup>12</sup>.

Критеріальне рівняння має такий вигляд:

$$l = h \cdot f(K_1, K_2, K_3, K_4, K_5), \quad (1)$$

де  $h$  – висота прибережного схилу;  $l$  – ширина абразійної обмілини, яка пов'язана з прогнозованою інтенсивністю розмиву берега ( $S$ )

---

<sup>12</sup> Розовский Л. Б., Зелинский И. П., Воскобойников В. М. Инженерно-геологические прогнозы и моделирование. Москва – Киев – Одесса : Вища шк., 1987. 208 с.



простою залежністю  $S = l \cdot d$  ( $d$  – ширина схилу в зоні хвильової дії);  $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5$  – критерії геологічної подібності, які детально розглянуті нижче.

$$K_1 = \frac{E}{h^4 \gamma}; \quad K_2 = \psi; \quad K_3 = i; \quad K_4 = J; \quad K_5 = Z. \quad (2)$$

Позначимо індексом «а» критерії і величини аналога, а індексом «о» – об'єкта прогнозу:

$$l_a = h_a f_a(K_1^a, K_2^a, K_3^a, K_4^a, K_5^a); \quad (3)$$

$$l_o = h_o f_o(K_1^o, K_2^o, K_3^o, K_4^o, K_5^o).$$

Якщо у об'єкта і у аналога  $K_1^a \approx K_1^o, K_2^a \approx K_2^o, K_3^a \approx K_3^o, K_4^a \approx K_4^o, K_5^a \approx K_5^o$ , то можна зробити припущення, що і їх функції мають однаковий вигляд (в межах якісно однакової групи явищ, наприклад, "Лесові береги"). У подібних явищ при рівності критеріїв це означає і рівність функцій, тобто  $f_a(K_1^a, K_2^a, K_3^a, K_4^a, K_5^a) \approx f_o(K_1^o, K_2^o, K_3^o, K_4^o, K_5^o)$ . Тоді з рівності (3) маємо:

$$l_o = \frac{h_o}{h_a} l_a = C_1 l_a. \quad (4)$$

Це рівняння вірне тільки при рівності критеріїв подібності. Воно представляє рівняння зв'язку між об'єктом прогнозу і природним аналогом. Тут  $C_1 = h_o/h_a$  є масштабним коефіцієнтом моделювання. Тоді інтенсивність розмиву на об'єкті прогнозу можна визначити так:  $S_o = l_o \cdot d_o = C_1 l_a \cdot d_o$ .

**Характеристика критеріїв геологічної подібності.** Розглянемо докладно характеристику критеріїв геологічної подібності процесу переробки берегів водосховищ.

Критерій  $K_1 = E/h^4 \gamma$  називається *критерієм геодінамічної подібності*. Фізичне значення цього критерію полягає у тому, що він відображає співвідношення двох енергій: чисельник є активною енергією, що руйнує беріг, знаменник – енергією опору порід руйнуванню.

У багатьох екзогенних геологічних процесах (абразія, ерозія, вивітрювання, осідання, карст, ущільнення ґрунтів та ін.) також можна знайти взаємодію цих двох енергій. Тому критерій  $K_1$  є універсальним. Він характеризує подібність динаміки

денудацийних процесів, що знайшло відображення в найменуванні цього критерію. Цей критерій включає час дії процесу, оскільки сумарна величина повної і вільної енергії залежить від тривалості її прояву. Таким чином, цей критерій відображає і подібність часових умов – натурної моделі і об'єкта прогнозу, і їх синхронність.

Критерій  $K_1$  є однією з модифікацій критерію Ньютона ( $Ne$ ), що має найзагальніший характер.

Критерій  $K_2 = \psi$  характеризує *подібність речовинного (літологічного) складу*. Для прогнозу переробки берегів, складених крихкими ґрунтами, як кількісний показник літологічного складу і пов'язаних з ним міцнісних властивостей порід умовно прийняли значення кута зрушення  $\psi$ . Як відомо,  $\psi$  є функцією кута внутрішнього тертя  $\phi$ , величини зчеплення  $C$ , об'ємної ваги ґрунту і висоти берега:

$$\operatorname{tg} \psi = \operatorname{tg} \phi + \frac{C}{p} = \operatorname{tg} \phi + \frac{C}{h\gamma}. \quad (5)$$

Проте, можуть бути застосовані і інші безрозмірні характеристики літологічного складу і міцнісних властивостей. Наприклад, в набір критеріїв  $K_2$  для скельних і напівскельних порід може входити коефіцієнт міцності.

Критерій  $K_2$  можна представити не одним числом, а декількома, якщо вони уточнюють характеристику речовинного складу, тобто може бути декілька критеріїв літологічного складу:  $(K_2)'$ ,  $(K_2)''$ ,  $(K_2)'''$  і т.д. Зокрема, при неоднорідній літологічній будові схилу (наприклад, при перешаруванні в схилі мергелів і пісків) необхідно вказати безрозмірну характеристику тих порід, які суттєво впливають на результат процесу (піски), крім того, як другий критерій літологічної подібності  $(K_2)''$  можна розглянути відношення потужностей окремих шарів (пісків і мергелів).

Якщо моделюється тривалий за часом геологічний процес (наприклад, переробка берегів протягом 10 років експлуатації водосховища), то необхідно також враховувати можливість зміни властивостей порід за цей період під впливом природних чинників. Тоді, якщо змінюються показники властивості порід, то змінним буде і значення  $K_2$ .

Оскільки геолого-літологічна будова натурної моделі і об'єкта є найважливішою характеристикою середовища, в якому діє літоло-

гічний процес, то критерій літологічної подібності є універсальним критерієм у всіх випадках використання натурних моделей.

Подібність просторових умов на натурній моделі і об'єкті прогнозу відображається *критеріями геометричної подібності*. Геометрична подібність двомірних натурних моделей (наприклад, геологічних профілів) контролюється одним або кількома критеріями подібності. Наприклад, у прогнозах переробки берегів за натурними моделями подібність просторових умов враховується двома критеріями:  $K_3 = i$  – критерієм геометричної подібності профілю схилу,  $K_4 = J$  – критерієм геометричної подібності профілю берегової лінії (у плані). Критерій  $K_3$  представляється ухилом схилу ( $i$ ), а для обривистих берегів – представляє відношення висоти берега до глибини води ( $K_3 = \bar{h}_\sigma / H_m$ , де  $\bar{h}_\sigma$  – зведена висота берега;  $H_m$  – глибина відкритого моря). Критерій  $K_4$  відображається величиною коефіцієнта звивистості берегової лінії, який являє собою відношення довжини берегової лінії до її проекції.

Всі розглянуті вище критерії є *визначальними*, оскільки в ці критерії входять умови однозначності.

Критерій  $K_5 = Z$  – *критерій акумулятивних процесів*, рівний коефіцієнту акумуляції (відношення об'єму порід, що відклалися, до об'єму розмитих порід). Цей критерій є *невизначальним*, оскільки інтенсивність акумулятивних процесів на берегах, що розвиваються за абразійним типом, залежить від умов, які увійшли до визначальних критеріїв (енергія хвиль, літологічний склад, розрзаність берегової лінії і т.п.). Водночас цей критерій є і спеціальним, а не універсальним, оскільки він приймається тільки в моделюванні переробки берегів водосховищ.

Одержані за допомогою аналізу розмірності критерії геологічної подібності повинні бути піддані усебічній перевірці. Контролю підлягає ряд зроблених припущень і операцій: припущення про рівність функцій при рівності критеріїв, правильність вибору представляючих показників, повнота врахування чинників, коректність алгебричних викладів.

Інші приклади подібності отримані авторами робіт<sup>13</sup> для моделювання напруженого стану порід зсувних схилів. Тут за допомогою аналізу розмірності отримано критерій подібності

---

<sup>13</sup> Зелинский И. П., Елеуфьев С. А., Школа А. В. Геомеханика. Одесса : Астропринт, 1998. 256 с.

$K_1, K_2, K_3$ . Критерій  $K_1 = \frac{E}{\gamma \cdot h}$  є ідентичним критерію геодинамічної подібності (де  $E$  – модуль пружності,  $h$  – висота схилу,  $\gamma$  – питома вага ґрунту), тобто представляє відношення двох сил: в чисельнику сила опору, в знаменнику – рушійна сила (гравітаційна); критерії  $K_2 = v$  і  $K_3 = i$  забезпечують умови однозначності деформацій і напружень, відповідно, де  $v$  – коефіцієнт Пуассона,  $i$  – крутість схилу.

### 3. Методи теорії розпізнавання образів. Міра подібності

Для геологічної подібності однією зі складних проблем є вивчення меж допустимого незбігу критеріїв подібності об'єкта прогнозу та його природного аналога і вплив цього незбігу на результат прогнозу. У зв'язку з тим, що можна знайти велику кількість природних аналогів, у міру збігу критеріїв подібності потрібно їх групувати в класи аналогів. Після цього, за збігом критеріїв можна виявити приналежність об'єкта прогнозу до одного з класів аналогів, а потім виявити подібність з одним з аналогів усередині вибраного класу. Вказаний процес називають *виявленням міри подібності*, тобто виявленням деякого *порогу подібності*, перевищення якого означатиме відсутність подібності. Такі методи формування класу аналогів і виявлення подібності розроблені в *теорії розпізнавання образів*<sup>14</sup>.

Геологічна подібність кваліфікується як наближена подібність, а при виявленні наближеної подібності часто відзначається різний ступінь схожості у різних характеристик порівнюваних об'єктів. У таких випадках доцільно використовувати *інтегральні міри подібності*. Тут замість ряду критеріїв подібності, які необхідно зіставляти роздільно, отримують узагальнений показник, що включає окремі характеристики подібності.

Розглянемо деякі положення теорії розпізнавання образів та їх інтерпретацію для геологічної подібності. У теорії розпізнавання образів будь-які багатофакторні об'єкти, до яких належать і всі геологічні процеси, явища і утворення, називаються зображеннями, або образами. Всі вони розглядаються як вектори або точки в  $N$ -мірному просторі. Наприклад, якщо природний аналог характеризується сімома кількісними критеріями подібності, то цей

---

<sup>14</sup> Ту Дж., Гонсалес Р. Принципы распознавания образов. Москва : Мир, 1978. 412 с.

аналог може бути представлений у вигляді точки в семимірному просторі.

Збіг параметрів у ряду таких точок є підставою для того, щоб об'єднати ці точки в один клас так званих навчальних зображень. З таких навчальних зображень формують базу даних для комп'ютера.

Графічно клас навчальних зображень може бути представлений у вигляді деякої області точок, в якій розкид точок пов'язаний з незбігом деяких критеріїв подібності. Загальні властивості зображень, що становлять клас і їх кількість, визначають контури ділянки, усередині якої розташовуються точки.

Задача розпізнання нового так званого випробовуваного образу  $P$  складається з двох етапів:

1) розділення образів на класи; створення бази даних для комп'ютера;

2) розпізнавання, яке полягає у випробуванні нового зображення з метою визначення спочатку приналежності його до одного з класів навчальних зображень, а потім виявлення подібності з одним із зображень усередині вибраного класу.

Випробування полягає у визначенні відстані об'єкта прогнозу до всіх областей  $N$ -мірного простору, що графічно зображає різні класи (рис. 1). Передбачається, що чим менше відстань, тим більше міра близькості об'єкта прогнозу і деякого узагальненого образу, що характеризує клас. Вказаний метод розпізнавання називають геометричним. Його різновидами є такі методи: *кореляційний*, *евклідової відстані*, *лінії регресії* та ін.

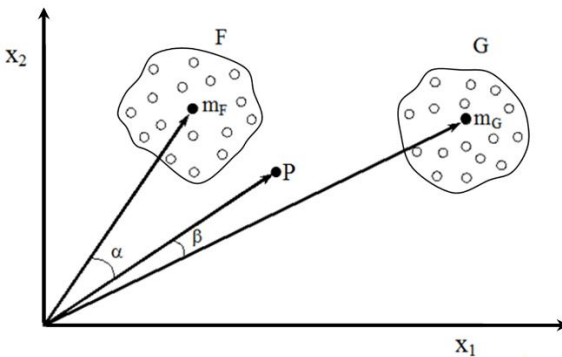


Рис. 1. Застосування кореляційного методу для оцінки міри подібності;  
 $F$  і  $G$  – класи навчальних зображень (природних аналогів);  
 $P$  – випробовуване зображення (об'єкт прогнозу);  $\alpha$ ,  $\beta$  – міри подібності

Розглянемо деякі з вказаних методів. На відповідних рисунках покажемо зображення в двомірному просторі, проте формули і вирішальні правила наведемо в загальному вигляді для  $N$ -мірного простору ( $N$  це будь-яке натуральне число,  $N = 1, 2, 3, \dots$ ).

**Кореляційний метод.** У кореляційному методі кількісною характеристикою подібності порівнюваних об'єктів, тобто *мірою подібності*, є косинус кута (рис. 1) між вектором випробовуваного зображення і еталоном одного з класів навчальних зображень. На рис. 1 наведені два класи об'єктів  $F$  і  $G$ . Кожен  $i$ -тий об'єкт класу  $F$  зображається вектором:  $f_i = (f_{i1}, f_{i2}, \dots, f_{iN})$   $i = 1, 2, 3, \dots, M_1$ , а класу  $G$  – вектором:  $g_i = (g_{i1}, g_{i2}, \dots, g_{iN})$   $i = 1, 2, 3, \dots, M_2$ .

Випробовуване зображення  $P$  задане координатами  $P = (P_1, P_2, P_3, \dots, P_N)$ .

Кожна з координат  $P_1, P_2, P_3, \dots, P_N$  є однією з властивостей (критерій подібності або будь-яка інша характеристика) зображення.

Сукупність векторів, що становлять класи  $F$  і  $G$ , може бути замінена, відповідно, векторами-еталонами  $m_F$  і  $m_G$ , які є середнім з навчальних зображень для кожного з класів:

$$m_F = \frac{1}{M_1} \sum_{i=1}^{M_1} f_i, \quad (6)$$

$$m_G = \frac{1}{M_2} \sum_{i=1}^{M_2} g_i. \quad (7)$$

Процедура розпізнання полягає у пошуках кореляції (зв'язків) між випробовуваним зображенням  $P$  і еталонами-векторами  $m_F$  і  $m_G$ . Мірою зв'язку є коефіцієнт кореляції, рівний косинусу кута між вектором  $P$  і  $m_F$ ,  $P$  і  $m_G$ :

$$\cos \alpha = \frac{P_1 m_F^1 + P_2 m_F^2 + \dots + P_N m_F^N}{\sqrt{P_1^2 + P_2^2 + \dots + P_N^2} \sqrt{(m_F^1)^2 + \dots + (m_F^N)^2}}, \quad (8)$$

$$\cos \beta = \frac{P_1 m_G^1 + P_2 m_G^2 + \dots + P_N m_G^N}{\sqrt{P_1^2 + P_2^2 + \dots + P_N^2} \sqrt{(m_G^1)^2 + \dots + (m_G^N)^2}}. \quad (9)$$

У формулах (6)–(9):

$m_F^1, m_F^2, \dots, m_F^N$  – відповідні координати вектора  $m_F$ , тобто показники, кожен з яких характеризує одну з  $N$  властивостей еталона класу  $F$  (або один з усереднених критеріїв подібності для класу  $F$ );

$m_G^1, m_G^2, \dots, m_G^N$  – те ж для класу  $G$ ;

$P_1, P_2, \dots, P_N$  – відповідні показники (координати) випробовуваного зображення  $P$  (або відповідні критерії подібності для об'єкта прогнозу);

$M_1, M_2$  – число навчальних зображень, відповідно, в класах  $F$  і  $G$ ;

$f_i$  –  $i$ -тий об'єкт класу  $F$  (або  $i$ -тий природний аналог класу  $F$ );

$g_i$  –  $i$ -тий об'єкт класу  $G$  (або  $i$ -тий природний аналог класу  $G$ ).

Переходячи до подібності об'єктів, *вирішальне правило* можна представити таким чином:  $P$  пов'язаний з класом  $F$  більш високою мірою подібності, ніж з класом  $G$ , якщо  $\cos \alpha$  більше  $\cos \beta$  (і навпаки):

$$\begin{aligned} P \in F, & \quad \text{якщо} \quad \cos \alpha > \cos \beta \quad (\alpha < \beta), \\ P \in G, & \quad \text{якщо} \quad \cos \alpha < \cos \beta \quad (\alpha > \beta). \end{aligned} \quad (10)$$

Метод кореляції дає добрі результати, якщо кут, що охоплює велику кількість зображень одного класу, малий в порівнянні з кутом між еталонами, тобто коли різниця між узагальненими властивостями класів значно більше, ніж між окремими аналогами усередині класу.

**Метод евклідової відстані.** Цей метод виходить з порівняння евклідової відстані  $d(P, m_F)$  і  $d(P, m_G)$  між випробовуваним зображенням  $P$  і еталонами класів навчальних зображень (рис. 2).

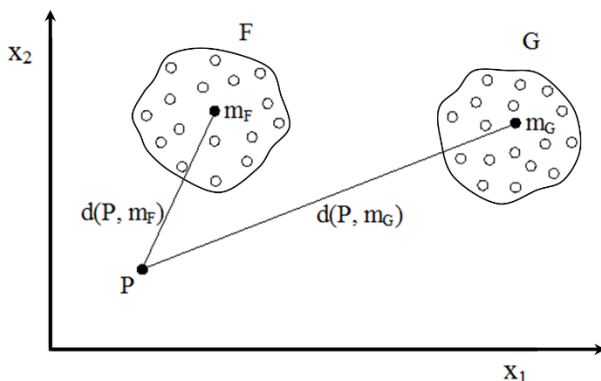


Рис. 2. Застосування методу евклідової відстані для оцінки міри подібності;  $d(P, m_F), d(P, m_G)$  – міри подібності

Евклідовою відстанню між двома точками називають довжину прямолінійного відрізка, що з'єднує ці точки. В  $N$ -мірному просторі

евклідова відстань між точкою  $P$  і класом  $F$  визначається як відстань між  $P$  і еталоном  $m_F$  класу  $F$  за формулою:

$$d(P, m_F) = \sqrt{\sum_{i=1}^N (P_i - m_F^i)^2} = \sqrt{(P_1 - m_F^1)^2 + (P_2 - m_F^2)^2 + \dots + (P_N - m_F^N)^2}. \quad (11)$$

Відповідно, відстань між точками  $P$  і  $m_G$  класу  $G$  обчислюється як:

$$d(P, m_G) = \sqrt{\sum_{i=1}^N (P_i - m_G^i)^2} = \sqrt{(P_1 - m_G^1)^2 + (P_2 - m_G^2)^2 + \dots + (P_N - m_G^N)^2}. \quad (12)$$

*Вирішальне правило* для порівняльної оцінки подібності формулюється таким чином:  $P$  пов'язаний з класом  $F$  більш високою мірою подібності, ніж з класом  $G$ , якщо відстань  $P$  до еталона класу  $F$  менша, ніж до еталона класу  $G$ .

$$\begin{aligned} P \in F, & \quad \text{якщо} \quad d(P, m_F) < d(P, m_G), \\ P \in G, & \quad \text{якщо} \quad d(P, m_F) > d(P, m_G). \end{aligned} \quad (13)$$

Відстань  $d$  може бути використана не тільки у вирішальному правилі, але і як самостійна міра подібності.

Необхідно враховувати, що ототоженні міри подібності з косинусом кута між векторами (метод кореляції) або евклідовою відстанню між точками (метод евклідової відстані) дають тільки відносну характеристику подібності. За їх допомогою можна тільки встановити, що між об'єктами, наприклад,  $P$  і  $Q$  є тісніша аналогія (подібність), ніж, скажемо, між  $P$  і  $R$ . Отже, не виключена можливість існування аналога  $T$ , якого ще немає у базі даних і який може бути ще ближче до  $P$ , ніж до  $Q$ . У цьому виявляється загальний недолік методів аналогії. У зв'язку з цим для практичних цілей виявлення подібності дуже важливо визначити деякий поріг подібності, тобто максимальну відстань, перевищення якої означатиме відсутність подібності.

**Інтегральна міра подібності з урахуванням вагових коефіцієнтів.** Описані вище методи розпізнавання дають можливість встановити близькість випробовуваного зображення до одного з класів аналогів одночасно за великою кількістю властивостей (критеріїв подібності). При цьому передбачається однакова «вага» (значущість) всіх  $N$ -властивостей, що враховуються.

Теорія розпізнавання образів дозволяє врахувати ступінь впливу окремих чинників за допомогою вагових, тобто значущих, коефіцієнтів, які кількісно характеризують ступінь впливу даної



властивості не взагалі, а тільки для конкретного ряду спостережень: класу навчальних зображень.

Інтегральна міра подібності з урахуванням вагових коефіцієнтів обчислюються за формулою<sup>15</sup>:

$$S(P, F) = \frac{1}{M_1} \left[ d^2(P, f_1) + d^2(P, f_2) + \dots + d^2(P, f_i) \right], \quad (14)$$

де  $d^2(P, f_i)$  – квадрат відстані від об'єкта  $P$  до вектора  $f_i$  класу  $F$ , обчислюваний за формулою:

$$d^2(P, f_i) = \sum_{n=1}^N \delta_n^2 (P_n - f_{in})^2, \quad i = 1, \dots, M_1. \quad (15)$$

Вагові коефіцієнти характеризують значущість (вагу)  $n$ -ої властивості (координати) середовища решти  $N$  властивостей, виражаються в частках одиниці ( $0 < \delta_n \leq 1$ ) і обчислюються за формулою:

$$\delta_n = \frac{1}{\sigma_n^2 \left( \sum_{n=1}^N \frac{1}{\sigma_n^2} \right)}. \quad (16)$$

де  $\sigma_n^2$  – дисперсія показників  $n$ -ої властивості, яка обчислюється як:

$$\sigma_n^2 = \bar{f}_n^2 - (\bar{f}_n)^2 = \frac{1}{M_1} \sum_{m=1}^{M_1} f_{mn}^2 - \frac{1}{M_1} \left( \sum_{m=1}^{M_1} \bar{f}_{mn} \right)^2, \quad (17)$$

де  $f_m$  –  $m$ -ий аналог класу  $F$ ;

$f_{mn}$  –  $n$ -а координата (властивість)  $m$ -го аналога  $f_m$  класу  $F$ ;

$M_1$  – число аналогів (або навчальних зображень) класу;

$\bar{f}_n^2$  – середня квадратична показників, що характеризують  $n$ -ну властивість (для всіх аналогів класу);

$(\bar{f}_n)^2$  – квадрат середньої величини показника  $n$ -ої властивості для всіх аналогів класу.

У розрахунках сума  $\delta_n$  приймається за одиницю, тобто

---

<sup>15</sup> Ту Дж., Гонсалес Р. Принципы распознавания образов. Москва : Мир, 1978. 412 с.

$$\sum_{n=1}^N \delta_n = 1. \quad (18)$$

В основі формул (15) і (16) знаходиться простий принцип: у аналогів класу впливовіші властивості (чинники) повинні мати розбіжності (дисперсії) менш значні, ніж розбіжності по другорядних мало впливових властивостях. Інакше кажучи – чим менше дисперсія, тим більше вага. Цей принцип відповідає умовам наближеної подібності, за якими необхідно добиватися збігу критеріїв подібності істотних властивостей, допускаючи неадекватність менш істотних критеріїв.

## **ВИСНОВКИ**

Складні і багатофакторні геологічні процеси, явища та утворення мають властивість однорідного в цілому і неоднорідного в точці. На цій властивості основана принципова можливість подібності геологічних об'єктів і процесів.

Геологічна подібність – це схожість виявлених істотних, узагальнених якостей (однорідність в цілому) при несхожості частковостей (неоднорідність в точці).

Перевага природних аналогів полягає в тому, що вони зберігають багатосторонність та складність зв'язків, характерних для геологічних та інженерно-геологічних процесів.

В нинішній час існує великий обсяг різнорідних даних натурних спостережень сучасних геологічних та інженерно-геологічних процесів, і застосування ПС та інших інтелектуальних систем забезпечує створення баз даних (автоматизованої інформаційної системи), загальний доступ до них та їх використання на стадії дослідження та розвідувальних робіт. У зв'язку з цим застосування методу натурального моделювання практично для всіх геологічних та інженерно-геологічних процесів і явищ є реальним.

Натурна модель і об'єкт прогнозу повинні мати такі умови подібності: наближено пропорційні зміни істотних характеристик, що визначають стан геологічного об'єкта або процес; спільність та незмінність механізму процесу; інтегральну подібність загального процесу за наявності окремих його складових; рівність чи подібність однозначності, у тому числі однакову тривалість протікання процесу; однакові початкові та граничні умови.

Три теореми фізичної подібності інтерпретуються для геологічних об'єктів у вигляді трьох загальних принципів геологічної подібності: 1) принцип наближеної і неповної подібності натурної моделі і об'єкта прогнозу; 2) принцип інтегральної подібності процесу за наявності відхилень від подібності окремих процесів, що його складають; 3) принцип алгоритмізації ознак подібності природного аналога і використання представляючих показників.

Через складний характер більшості геологічних процесів диференціальні рівняння, що характеризують ці процеси, не можуть бути складені або вимагають істотних спрощень. У зв'язку з цим основним засобом отримання критеріїв геологічної подібності в натурному моделюванні є аналіз розмірності.

Вирішальні правила і алгоритми, розроблені в теорії розпізнавання образів, дають можливість оцінити близькість аналізованого об'єкта прогнозу до різних класів об'єктів, характеристики яких відомі.

## **АНОТАЦІЯ**

Геологічні та інженерно-геологічні процеси є складними та багатofакторними. Для їх вивчення та прогнозування ефективним є використання методу натурного (аналогового) моделювання. Перевагою даного методу є те, що він дозволяє враховувати багатобічність та складність зв'язків між внутрішніми та зовнішніми факторами, що формують досліджуваний процес. Розглянуто принципи та методика, які доцільно використовувати під час натурного моделювання. Зокрема, розглянуто деякі методи теорії розпізнавання образів які застосовуються для встановлення геологічної подібності. Висвітлено поняття геологічної подібності, критеріїв геологічної подібності. Розглянуто інтерпретацією теорем фізичної подібності для геологічної подібності. Описано методику виведення критеріїв геологічної подібності та схарактеризовано ці критерії для різних геологічних та інженерно-геологічних процесів.

## **Література**

1. Розовский Л. Б., Зелинский И. П., Воскобойников В. М. Инженерно-геологические прогнозы и моделирование. Москва – Киев – Одесса : Вища шк., 1987. 208 с.

2. Petit J.-C. Reasoning by analogy: rational foundation of natural analogue studies. *Applied Geochemistry. Supplementary Issue*. 1992. Vol. 1. P. 9–12.

3. Alexander W. R., Reijonen H. M., McKinley I. G. Natural analogues: studies of geological processes relevant to radioactive waste disposal in deep geological repositories. *Swiss Journal of Geosciences*. 2015. Vol. 108. P. 75–100. <https://doi.org/10.1007/s00015-015-0187-y>

4. Emmerton B., Burgess J., Esterle A, Erskine P., Baumgartl T. The application of natural landform analogy and geology-based spoil classification to improve surface stability of elevated spoil landforms in the Bowen Basin, Australia. *Land Degradation & Development*. 2018. Vol. 29. P. 1489–1508. <https://doi.org/10.1002/ldr.2908>

5. Magnuszewski P., Sendzimir J., Kronenberg J. Conceptual modeling for adaptive environmental assessment and management in the Barycz Vally, Lower Silesia, Poland. *International Journal of Environmental Research*. 2005. Vol. 2(2). P. 194–203. doi: 10.3390/ijerph2005020001

6. Schellart W. P., Strak V. A review of analogue modeling of geodynamic processes: Approaches, scaling, materials and quantification, with an application to subduction experiments. *Journal of Geodynamics*. 2016. Vol. 100. P. 7–32. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2016.03.009>

7. Зелинский И. П., Черкез Е. А., Гузенко А. В. Инженерно-геологические прогнозы и моделирование. Одесса : Изд-во ОГУ, 1983. 126 с.

Зелинский И. П., Елсуфьев С. А., Школа А. В. Геомеханика. Одесса : Астропринт, 1998. 256 с.

8. Количко А. В. Метод инженерно-геологических аналогий. *Проблемы и перспективы*: сб. науч. тр. Москва : АО «Институт Гидропроект», 2000. Вып. 159. С. 5–9.

9. Мелконян Д. В., Черкез Е. А. Применение метода натурального моделирования в управлении эколого-геологическими системами. *Актуальные вопросы инженерной геологии и экологической геологии*: труды междунар. конф. (Москва, 25–26 мая 2010 г.) / Под ред. В. Т. Трофимова и В. А. Королева. Москва : Изд-во МГУ, 2010. 272 с.

10. Тюнина Н. В. Особенности применения метода инженерно-геологических аналогий при изысканиях на городских территориях. *Промышленное и гражданское строительство*. 2007. Вып. 9. С. 46.

Уемов А. И. Аналогия в практике научного исследования. Москва : Наука, 1970. 264 с.

11. Веников В. А., Веников Г. В. Теория подобия и моделирования. Москва : Высш. шк., 1984. 439 с.

12. Ту Дж., Гонсалес Р. Принципы распознавания образов.  
Москва : Мир, 1978. 412 с.

**Information about the author:**

**Melkonyan Dzhema Varantsivna,**

Candidate of Physical and Mathematical Sciences,  
Associate Professor at the Department of Engineering Geology and  
Hydrogeology

Odessa I. I. Mechnikov National University  
2, Dvorianska Str., Odesa, 65082, Ukraine

**КУЛЬТУРА ІЗОЛЬОВАНИХ КЛІТИН І ТКАНИН ЛЬОНУ  
ЗВИЧАЙНОГО (*LINUM USITATISSIMUM* L.)  
В УМОВАХ *IN VITRO***

**Міщенко С. В.**

**ВСТУП**

Практичне значення видів роду *Linum* L. (Linaceae) зумовлене наявністю в його представників корисних властивостей, завдяки чому їх використовують як текстильні, олійні, медоносні, лікарські, кормові, ефіроолійні та декоративні рослини. Різні види цього роду за певних умов можуть бути залучені до міжвидових схрещувань із подальшим використанням таких гібридів у селекції. У аграрному виробництві поширені різні сорти льону звичайного (*Linum usitatissimum* L.), які здебільшого вирощують з метою отримання натурального волокна для текстильної промисловості, насіння, харчової або технічної олії. Незважаючи на те, що льон відомий декілька тисячоліть, він і сьогодні залишається предметом численних наукових досліджень, присвячених філогенезу і таксономії<sup>1,2</sup>, селекції<sup>3,4</sup>

---

<sup>1</sup> Оптасюк О. М., Шевера М. В. Рід *Linum* L. у флорі України. Київ : Альтерпрес, 2011. 276 с.

<sup>2</sup> Зеленцов С. В., Зеленцов В. С., Мошненко Е. В., Рябенко Л. Г. Современные представления о филогенезе и таксономии рода *Linum* L. и льна обыкновенного (*Linum usitatissimum* L.). *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень ВНИИ масличных культур*. 2016. Вып. 1. С. 106–121.

<sup>3</sup> Логінов М. І. Етапи розвитку та підсумки селекції льону-довгунця в Україні. *Збірник наукових праць Інституту луб'яних культур УААН*. 2007. Вип. 4. С. 64–69.

<sup>4</sup> Кривошесва Л. М. Вихідний матеріал льону-довгунця в селекції на якість волокна. *Луб'яні та технічні культури*. 2017. Вип. 5. С. 114–119.

і захисту від хвороб<sup>5,6</sup>, технології вирощування<sup>7,8</sup> і, звичайно ж, біотехнології.

Культуру ізольованих клітин і тканин доцільно використовувати у практичній селекції. з цією метою обґрунтовуються стратегії застосування явища регенерації рослинних клітин і тканин льону, методів соматичного ембріогенезу, культури ізольованих протопластів, клітинних суспензій тощо, важливою галуззю досліджень є використання у селекційних програмах культури пиляків та подвосних гаплоїдів, розглядаються нові технології перенесення і експресії генів за допомогою генетичної трансформації, підкреслюючи перспективність даної сільськогосподарської культури<sup>9,10</sup>.

Культивування *in vitro* індукує епігенетичну мінливість, викликану модифікуючим впливом штучних умов, і генетичну мінливість, яка закріплюється в потомстві. Утворені *in vitro* рослини-регенеранти, порівняно з вихідним матеріалом, характеризуються соматональною мінливістю, яка в разі позитивних змін може бути використана для створення нових сортів. Небажані мутантні форми можна вибракувати вже на стадії регенерації в культурі *in vitro*. Рівень мінливості клітин залежить при цьому від низки факторів: вихідного матеріалу, типу експланта, тривалості й умов культивування, впливу компонентів поживних середовищ. Найбільше зазнають змін наступні ознаки льону звичайного: кількість волокон у пучку, кількість здерев'янілих волокон, частка здерев'яніння;

---

<sup>5</sup> Чучвага В. І, Кривошеєва Л. М. Імунологічний моніторинг різних груп стиглості сортів льону-довгунця в умовах північно-східного Полісся України. *Луб'яні та технічні культури*. 2019. Вип. 7. С. 42–45. DOI: 10.48096/btc.2019.7(12).42–45

<sup>6</sup> Чучвага В. І, Кривошеєва Л. М. Методологічні аспекти вивчення стійкості сортів льону-довгунця до фузаріозу. *Луб'яні та технічні культури*. 2019. Вип. 7. С. 54–57. DOI: 10.48096/btc.2019.7(12).54–57

<sup>7</sup> Шувар А. М. Залежність продуктивності льону-довгунця від застосування мікробних препаратів за умов органічного виробництва. *Луб'яні та технічні культури*. 2015. Вип. 4. С. 85–91.

<sup>8</sup> Вишнівська Ю. С., Дрозд О. М., Лісовий О. Б. Вплив елементів технології вирощування на щільність посіву, урожайність насіння і волокна льону-довгунця. *Луб'яні та технічні культури*. 2017. Вип. 5. С. 157–162.

<sup>9</sup> Поляков А. В. Биотехнология в селекции льна. Тверь, 2000. 180 с.

<sup>10</sup> Evtimova M., Vlahova M., Atanassov A. Flax improvement by biotechnology means. *Journal of Natural Fibers*. 2005. Vol. 2, Iss. 2. P. 17–34. DOI: 10.1300/J395v02n02\_02

відносно стабільними залишаються такі ознаки, як висота рослин, діаметр стебла і кількість пучків луб'яних волокон<sup>11</sup>.

Загалом, технології *in vitro* щодо льону звичайного досить добре розроблені, зокрема методи регенерації рослинних клітин і тканин, соматичного ембріогенезу, культури пиляків та подвоєних гаплоїдів, ізольованих протопластів, клітинних суспензій тощо, однак у проаналізованих джерелах у ролі об'єкта досліджень здебільшого використано зразки, що належать до так званого олійного льону, а не *L. usitatissimum* L. convar. *elongatum* (льону-довгунця), який значно відрізняється від першого різновиду за морфологічними, фізіологічними і генетичними ознаками та властивостями. Для індукції калусогенезу і формування пагонів дослідниками, як правило, застосовано певні співвідношення ауксинів і цитокінінів, тому виникає проблемне питання, чи здатен льон-довгунець до утворення калусних тканин і в подальшому до регенерації пагонів на середовищах лише з ауксинами або лише з цитокінінами екзогенного походження, яке оптимальне співвідношення цих регуляторів росту, чи має вплив генотипу зразка (сорту) на інтенсивність калусоутворення та органогенезу, що й визначило вибір теми нашого дослідження та його актуальність. Нами було проведено низку досліджень<sup>12,13,14,15,16</sup> у цьому напрямі, які узагальнені у даному розділі монографії.

---

<sup>11</sup> Кубрак С. В., Шаптуренко М. Н. Изменчивость льна-долгунца (*Linum usitatissimum*) в культуре *in vitro* как источник получения новых селекционных форм. *Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя Біялагічных навук*. 2013. № 2. С. 36–40.

<sup>12</sup> Міщенко С. В., Кривошеєва Л. М. Калусогенез і органогенез в умовах *in vitro* різних зразків *Linum usitatissimum* L. *Генетичні ресурси рослин*. 2018. № 23. С. 49–58. DOI: 10.36814/pgr.2018.23.04

<sup>13</sup> Міщенко С. В. Вплив 6-бензиламінопурину на інтенсивність калусогенезу і органогенезу *Linum usitatissimum* L. в умовах *in vitro*. Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія Біологія. 2019. Вип. 2 (47). С. 92–100. DOI: 10.35550/vbio2019.02.092

<sup>14</sup> Mishchenko S. V., Kryvosheieva L. M. Callus formation, organogenesis and microclonal reproduction in different species of the genus *Linum* L. *in vitro*. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2019. Vol. 15, No 2. P. 124–134. DOI: 10.21498/2518-1017.15.2.2019.173558

<sup>15</sup> Mishchenko S., Kryvosheieva L. Possibility of reproduction of *Linum usitatissimum* L. from seeds with low germination and viability *in vitro* conditions. *Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Health and Life Quality*. 2019. No 3. P. 304–311. DOI: 10.15414/agrobiodiversity.2019.2585-8246.304-311

<sup>16</sup> Міщенко С. В. Вплив 1-нафтилоцтової та індол-3-оцтової кислоти на інтенсивність калусогенезу і органогенезу *Linum usitatissimum* L. в умовах *in vitro*. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2021. Т. 28. С. 100–105. DOI: 10.7124/FEEO.v28.1383



## 1. Біологічні особливості льону звичайного

Льон звичайний (довгунець) – однорічна рослина родини Льонові (*Linaceae*), при цьому внутрішньовидова класифікація (таксономія) досить суперечлива. Ботанічна характеристика та біологічні особливості даного виду добре описані в науковій літературі<sup>17,18,19,20,21,22</sup>, нижче подамо їх узагальнення.

Рослини мають тонке гладеньке стебло, яке у загущених посівах досягає близько 1,25 м. Суцвіття – китиця з 5–7 коробочками. В умовах розрідженого посіву рослини схильні до галуження, на них може утворюватися 10 і більше коробочок. Квітка правильної форми, діаметром 15–21 мм, чашечка має п'ять чашолистиків, а віночок – п'ять пелюсток. Маточка складається з п'ятигніздої зав'язі та п'ятьох стовпчиків з приймочками, тичинок з пиляками також п'ять. Пелюстки блакитного, рідше білого чи рожевого кольору. Плід – кулеподібна коробочка, розділена навпіл на дві частини по п'ять гнізд у кожній. Листки завдовжки 36–40 мм і завширшки 2–4,4 мм, ланцетні, сидячі, на стеблі розміщені почергово (по спіралі). За нормального процесу запилення в одній коробочці утворюється 10 насінин. Насіння пласке, яйцеподібної форми з вузьким, трохи загнутим «носиком», з блискучою поверхнею, світло- або темно-коричневого забарвлення. Коренева система стрижнева, розвинена порівняно слабо, її маса не перевищує 8–10 % маси всієї рослини.

Стебло ззовні покрите щільною покривною тканиною (кутикулою) з восковим нальотом, яка захищає його від механічних пошкоджень та надмірного випаровування вологи. Під покривною тканиною розміщується шар корової паренхіми, у якій знаходяться

---

<sup>17</sup> Лен-долгунец / Дюев И. Ф. и др.; под. общ. ред. М. М. Труша. Москва : Колос, 1976. 352 с.

<sup>18</sup> Технічні культури (льон-довгунець, коноплі, кенаф, джут, канатник, тютюн, махорка, хміль) / за ред. М. Г. Городнього. 2-ге вид. Київ : Урожай, 1969. 351 с.

<sup>19</sup> Лихочвор В. В. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур: навчальний посібник. 2-ге вид. Київ : Центр навчальної літератури, 2004. 808 с.

<sup>20</sup> Нечитайло В. А., Кучерява Л. Ф. Ботаніка. Вищі рослини : підручник. 2-ге вид. Київ : Фітосоціоцентр, 2005. 432 с.

<sup>21</sup> Рослинництво з основами технології переробки. Практикум: навчальний посібник / Мельник А. В. та ін.; за ред. А. В. Мельника, В. І. Троценка. Суми : Університетська книга, 2008. 384 с.

<sup>22</sup> Технічні культури : навчальний посібник / Жатов О. Г. та ін.; за ред. О. Г. Жатова, С. М. Каленської. Суми : Університетська книга, 2013. 359 с.

волокнисті пучки та ситоподібні трубки провідної системи. Під корою розміщується тонкий шар твірної тканини – камбію. У стеблах льону функціонують дві твірні тканини – перицикл і камбій. Між їхньою діяльністю існує зворотна кореляційна залежність. Під камбієм всередині стебла розміщена деревина, яка складається з товстостінних клітин, забезпечуючи механічну функцію стебла. Усередині шару деревини знаходиться серцевина, яка становить центральну частину стебла. Серцевина представлена тонкостінними ламками клітинами, які руйнуються в онтогенезі, у результаті чого всередині стебла виникає порожнина.

Волокно льону звичайного складається із дуже видовжених, веретеноподібних, із загостреними кінцями клітин, які називають елементарними волокнами. Вони завдовжки близько 20–30 мм, а в окремих випадках довжина може досягати 100 мм і більше, товщина – 20–30 мкм. Форма поперечного зрізу від овальної до багатокутної. Клітинна стінка елементарного волокна складається з кількох концентрично розміщених шарів. У центральній частині елементарного волокна розміщений канал. Чим він менший і чим товщі стінки, тим міцніше волокно. Елементарні волокна льону об'єднуються в пасма (пучки), щільно склеюються між собою за допомогою пектину. Кількість елементарних волокон в пасмі коливається в межах від 30 до 50. Пасма розміщуються по всій довжині стебла. Найбільша кількість елементарних волокон у пучку (пасмі) і пучків у стеблі міститься у нижній третині стебла, найменша – у верхівці. Якісне волокно утворюється в стеблах не менше 70 см завдовжки і 1,0–1,5 мм завтовшки.

Протягом вегетаційного періоду льон звичайний росте нерівномірно: повільно у фазу «ялинки» (5–6 справжніх листків) і інтенсивно у фазу бутонізації (3–5 см за добу). Ріст стебла у висоту під час цвітіння фактично припиняється. Фаза досягання характеризується швидким здерев'янінням тканин стебла і стиглістю насіння.

Це самозапильна рослина, разом з тим в окремих випадках (0,15–0,63 %) можливе перехресне запилення, тому що в деякій частині квіток пиляки внаслідок відставання у рості не досягають висоти приймочок. Перехресному запиленню комахами сприяє також відкрита будова і яскраве забарвлення квіток. Запліднення відбувається після запилення, пилок, який потрапив на приймочку маточки, приблизно через 20–30 хв проростає, а пилкова трубка, яка при цьому утворюється, через 2–3 год досягає зародкового мішка.

Розрізняють кілька фаз стиглості: зелену, ранню жовту, жовту і повну стиглість. Зелена стиглість настає наприкінці цвітіння, насіння в цей час в коробочках має зелене забарвлення, уся рослина теж зеленого кольору. Під час ранньої жовтої стиглості окремі листки (переважно в нижній частині стебла) жовтіють і осипаються, насіння й коробочки мають світло-жовте забарвлення. У період жовтої стиглості основна маса коробочок має жовтий колір, листки осипаються повністю, а насіння набуває характерного для сорту забарвлення – від світло-коричневого до темно-коричневого, іноді інтенсивного жовтого.

Льон звичайний (довгунець) мало вимогливий до тепла та світла, добре росте в умовах вологого клімату, вимогливий до ґрунтів через недостатньо розвинену кореневу систему, добре росте на структурних ґрунтах з достатньою кількістю поживних речовин.

Створення нових сортів льону звичайного потребує інтенсифікації селекційного процесу, важливу роль в якому можуть відігравати біотехнологічні методи і прийоми.

## **2. Індукція калусогенезу й органогенезу льону звичайного в умовах *in vitro***

Для індукування соматичного калусо- й органогенезу у льону звичайного в умовах *in vitro* відомий успішний досвід використання 1-нафтилоцтової кислоти (НОК) і 6-бензиламінопурину (БАП)<sup>23,24</sup>, 2,4-дихлорфеноксоцтової кислоти (2,4-Д) і БАП<sup>25</sup>, тидіазурону (ТДЗ)<sup>26</sup> тощо. У культурі клітинної суспензії оптимальним було додавання фітогормонів НОК (0,1 мг/л) і БАП (0,5 мг/л), водночас висока концентрація БАП у рідкому середовищі обмежувала

---

<sup>23</sup> Шиша Е. Н., Емец А. И., Гузенко Е. В. и др. Изучение регенерационной способности и корнеобразования у сортов льна-долгунца украинской и белорусской селекции. *Физиология и биохимия культ. растений*. 2011. Т. 43, № 1. С. 57–64.

<sup>24</sup> Janowicz J., Niemann J., Wojciechowski A. The effect of growth regulators on the regeneration ability of flax (*Linum usitatissimum* L.) hypocotyl explants in *in vitro* culture. *BioTechnologia*. 2012. Vol. 93, Iss. 2. P. 135–138. DOI: 10.5114/bta.2012.46578

<sup>25</sup> Siegień I., Adamczuk A., Wróblewska K. Light affects *in vitro* organogenesis of *Linum usitatissimum* L. and its cyanogenic potential. *Acta Physiol. Plant*. 2013. Vol. 35, Iss. 3. P. 781–789. DOI: 10.1007/s11738-012-1118-4

<sup>26</sup> Mundhara R., Rashid A. TDZ-induced triple-response and shoot formation on intact seedlings of *Linum*, putative role of ethylene in regeneration. *Plant Sci*. 2006. Vol. 170, Iss. 2. P. 185–190. DOI: 10.1016/j.plantsci.2005.06.015

проліферацію клітин і зменшувала утворення біомаси<sup>27</sup>. Також встановлено, що низькомолекулярні п'яти- й шестичленні нітrogenовмісні гетероциклічні сполуки (похідні піридину, піримідину, піразолу та ізофлавононів) виявляють високий стимулювальний вплив на прямий органогенез льону, тобто ці сполуки є перспективними в ролі ефективних заміників традиційних (поширених) ауксину НОК і цитокініну БАП<sup>28</sup>.

Ефективність каллусоутворення й органогенезу залежить не лише від визначення оптимальних концентрацій і комбінацій ауксинів та цитокінінів у середовищі, а й прийомів попередньої підготовки експлантів і конкуренції між ними. Ефективність була вищою в тому разі, коли гіпокотильні сегменти перед розміщенням на живильному гормональному середовищі занурювали у стерильну дистильовану воду і злегка струшували протягом 20 хв, порівняно з варіантом, де їх відразу поміщали на середовище; така попередня обробка пом'якшувала шар епідермісу і збільшувала його проникність, що й зумовлювало вищу метаболічну активність тканин завдяки збільшенню поглинання води, елементів живлення і регуляторів росту із середовища<sup>29</sup>. Конкуренції серед експлантів було досягнуто через зміну між ними відстані в чашках Петрі, зокрема за відстані 1,0 см, порівняно з розміщенням через 2,0 см, збільшувалася кількість регенерантів та їх довжина, а в разі зменшення відстані до 0,5 см спостерігали зменшення частоти органогенезу та розмірів утворених пагонів<sup>30</sup>; оптимальним було розміщення експлантів за схемою 1,5 × 1,5 см<sup>31</sup>.

---

<sup>27</sup> Seta-Koselska A., Skórzyńska-Polit E. Optimization of *in vitro* culture conditions for obtaining flax (*Linum usitatissimum* L. cv. Modran) cell suspension culture. *BioTechnologia*. 2017. Vol. 98, Iss. 3. P. 183–188. DOI: 10.5114/bta.2017.70796

<sup>28</sup> Tsygankova V. A., Bayer O. O., Andrusovich Ya. V. Et al. Screening of five and six-membered nitrogen-containing heterocyclic compounds as new effective stimulants of *Linum usitatissimum* L. organogenesis *in vitro*. *Int. J. Med. Biotechnol. Genetics*. 2016. S2:001. P. 1–9. DOI: 10.19070/2379-1020-SI02001

<sup>29</sup> Yıldız M., Özgen M. The effect of a submersion pretreatment on *in vitro* explant growth and shoot regeneration from hypocotyls of flax (*Linum usitatissimum*). *Plant Cell Tiss. Organ. Cult.* 2004. Vol. 77, Iss. 1. P. 111–115. DOI: 10.1023/B:TICU.0000016493.03592.c3

<sup>30</sup> Yıldız M., Sağlık C., Telci C., Erkilich E. G. The effect of *in vitro* competition on shoot regeneration from hypocotyl explants of *Linum usitatissimum*. *Turk. J. Bot.* 2011. Vol. 35, Iss. 2. P. 211–218. DOI: 10.3906/bot-1005-26

<sup>31</sup> Beyaz R., Yıldız M. The effect of inter-plantal competition on *in vitro* seed germination and seedling growth in flax (*Linum usitatissimum* L.). *Eskişehir Technical Univ. J. of Sci. and Tech. C – Life Sci. and Biotech.* 2019. Vol. 8, Iss. 1. P. 61–68. DOI: 10.18036/aubtdc.427128

Культура пиляків хоча і є менш ефективною для регенерації рослин льону, порівняно з культурою соматичних клітин, але досить часто використовується в біотехнологічних дослідженнях. Саме регенеранти, отримані з клітин пиляків, мають підвищену стійкість проти фузаріозу<sup>32</sup>. На індукцію калусоутворення в культурі пиляків льону значний вплив мали попередня обробка рослин-донорів, генотип (сорт), вид і співвідношення екзогенних регуляторів росту, температура культивування експлантів. Пиляки рослин-донорів, вирощених в умовах більш низьких температур (14–18°C), значно підвищували інтенсивність калусоутворення, порівняно з пиляками, вирощеними за більш високих температур (18–22°C). Комбінації фітогормонів доцільно розробляти для кожного генотипу окремо, зокрема, для певних сортів як ефективні описані такі комбінації: 0,1 мг/л БАП і 0,2 мг/л 2,4-Д; 0,2 мг/л БАП і 0,1 мг/л НОК; 0,1 мг/л БАП і 0,2 мг/л індол-3-оцтової кислоти (ІОК); залежно від генотипу для ефективної регенерації пагонів потрібно доповнити живильне середовище сахарозою<sup>33,34,35</sup>, мальтозою<sup>36</sup> чи лактозою, яка підвищує інтенсивність калусогенезу<sup>37</sup>. Кількість пиляків з калусогенезом

---

<sup>32</sup> Rutkowska-Krause I., Mankowska G., Lukaszewicz M., Szopa J. Regeneration of flax (*Linum usitatissimum* L.) plants from anther culture and somatic tissue with increased resistance to *Fusarium oxysporum*. *Plant Cell Rep.* 2003. Vol. 22, Iss. 2. P. 110–116. DOI: 10.1007/s00299-003-0662-1

<sup>33</sup> Burbulis N., Blinstrubienė A., Sliesaravičius A., Venskutoniene E. Influence of genotype, growth regulators, sucrose level and preconditioning of donor plants on flax (*Linum usitatissimum* L.) anther culture. *Acta Biol. Hung.* 2005. Vol. 56, Iss. 3–4. P. 323–331. DOI: 10.1556/ABiol.56.2005.3-4.15

<sup>34</sup> Burbulis N., Blinstrubienė A. Genotypic and exogenous factors affecting linseed (*Linum usitatissimum* L.) anther culture. *J. Food Agricult. Environ.* 2011. Vol. 9, Iss. 3–4. P. 364–367. DOI: 10.1234/4.2011.2285

<sup>35</sup> Burbulis N., Blinstrubienė A., Masiene R., Jonytienė V. Influence of genotype, growth regulators and sucrose concentration on linseed (*Linum usitatissimum* L.) anther culture. *J. Food Agricult. Environ.* 2012. Vol. 10, Iss. 3–4. P. 764–767. DOI: 10.1234/4.2012.3509

<sup>36</sup> Millam S., Davidson D., Powell W. The use of flax (*Linum usitatissimum*) as a model system for studies on organogenesis in vitro: the effect of different carbohydrates. *Plant Cell Tiss. Organ. Cult.* 1992. Vol. 28, Iss. 2. P. 163–166. DOI: 10.1007/BF00055512

<sup>37</sup> Chen Y., Dribnenki P. Effect of genotype and medium composition on flax *Linum usitatissimum* L. anther culture. *Plant Cell Rep.* 2002. Vol. 21, Iss. 3. P. 204–207. DOI: 10.1007/s00299-002-0500-x

була більшою за температури культивування 28 °С, порівняно з 33 і 6 °С<sup>38</sup>.

Також розробляються прийоми отримання калюсної тканини із зародків (зав'язей) льону звичайного з подальшою регенерацією пагонів<sup>39</sup>. Установлено, що найінтенсивніше формувався калюс і регенерувалися пагони на середовищі, доповненому 1,5 мг/л ІОК і 1,5 мг/л БАП, але ризогенез у такому разі не спостерігався, корені розвивалися на середовищі лише з ауксином 2,4-Д<sup>40</sup>. Іншими дослідженнями продемонстровано, що частота калюсоутворення може варіювати у широких межах (9,17–100 %), залежно від сорту і фітогормонального складу середовища, а в деяких сортів органогенез не відбувався взагалі. У більшості випадків найвищу частоту регенерації пагонів отримано на середовищі, доповненому 0,1 мг/л НОК і 0,2 мг/л ТДЗ. Цитологічний аналіз свідчить, що 21,88 % рослин-регенерантів були гаплоїдами, а решта – диплоїдами або міксоплоїдами (78,12 %) <sup>41</sup>.

Останнім часом даний вид набуває все більшої популярності завдяки здатності до синтезу таких вторинних метаболітів, як лігнани, що використовуються для лікування різних типів онкологічних захворювань. Отримують дані сполуки, використовуючи калюсні культури льону *in vitro* на основі стеблових і листкових експлантів, інокульованих на середовищі Мурасіге і Скуга, доповненому різними концентраціями НОК, ТДЗ і БАП. Калюси, отримані із листків (1,0 мг/л НОК у середовищі), накопичують найбільшу біомасу і характеризуються найвищим рівнем антиоксидантної активності, у той же час найвищий рівень синтезу флавоноїдів і фенольних сполук спостерігають у калюсах, які походять зі стеблових експлантів. Дані результати дають певні

---

<sup>38</sup> Сорока А. И. Особенности подготовки материала и культивирования *in vitro* пыльников льна при получении гаплоидных растений. *Вісник Запорізького національного університету. Біологічні науки*. 2010. № 2. С. 13–19.

<sup>39</sup> Obert V., Bartosova Z., Pretova A. Dihaploid production in flax by anther and ovary cultures. *Journal of Natural Fibers*. 2005. Vol. 1, Iss. 3. P. 1–14. DOI: 10.1300/J395v01n03\_01

<sup>40</sup> Sakhare S. P., Mendhulkar V. D. Embryo excised callus induction and rhizogenesis in *Linum usitatissimum* L. *Int. J. Pharm. Bio. Sci.* 2016. Vol. 7, Iss. 3. P. 507–511.

<sup>41</sup> Blinstrubienė A., Burbulis N., Masiene R. Genotypic and exogenous factors affecting linseed ovary culture. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2017. Vol. 104, No. 3. P. 243–248. DOI: 10.13080/z-a.2017.104.031

докази того, що НОК по-різному впливає на продукування лігнанів і неолігнанів у калюсній культурі льону, що відкриває широкі можливості для розробки стратегій зі збільшення виробництва зазначених цінних метаболітів<sup>42</sup>. Також лігніни можна отримувати, використовуючи калюсні культури льону звичайного на основі гіпокотильних сегментів під впливом ТДЗ і кінетину (КІН)<sup>43</sup> або в клітинній суспензійній культурі<sup>44</sup>.

Процеси калюсоутворення й органогенезу льону звичайного в умовах *in vitro* визначаються генетичними чинниками. На калюсогенез і здатність до регенерації впливають неадитивні ефекти генів, водночас ступінь (інтенсивність) калюсо- й органогенезу має різну генетичну природу<sup>45</sup>.

Умови проведення досліджень наших досліджень були наступними: насіння стерилізували 1,5%-м водним розчином натрій гіпохлориту (NaOCl) з експозицією 12,5–15 хв, тричі промивали стерильною дистильованою водою, пророщували на агаризованому безгормональному живильному середовищі Мурасіге і Скуга<sup>46</sup> з додаванням 10 г/л сахарози; на 7–15-ту добу з проростків брали гіпокотильні та епикотильні сегменти довжиною 2–3 мм, які культивували на середовищі Мурасіге і Скуга, доповненому певними фітогормонами, при цьому фотоперіод становив 16 год, інтенсивність освітлення – 2500 лк, відносна вологість – 60–80 %, температура повітря – 22–24°C. Обліки проводили на 35-ту добу культивування за ознаками: частота калюсогенезу (відсоток

---

<sup>42</sup> Anjum S., Abbasi B. H., Hano C. Trends in accumulation of pharmacologically important antioxidant-secondary metabolites in callus cultures of *Linum usitatissimum* L. *Plant Cell Tiss Organ Cult.* 2017. Vol. 129, Iss. 1. P. 73–87. DOI: 10.1007/s11240-016-1158-3

<sup>43</sup> Khan I., Khan M. A., Shehzad M. A. et al. Micropropagation and production of health promoting lignans in *Linum usitatissimum*. *Plants.* 2020, Vol. 9, Iss. 6. 728. DOI: 10.3390/plants9060728

<sup>44</sup> Zahir A., Nadeem M., Ahmad W. et al. Chemogenic silver nanoparticles enhance lignans and neolignans in cell suspension cultures of *Linum usitatissimum* L. *Plant Cell Tiss Organ Cult.* 2019. Vol. 136, Iss. 3. P. 589–596. DOI: 10.1007/s11240-018-01539-6

<sup>45</sup> Bonell M., Lassaga S. L. Genetic analysis of the response of linseed (*Linum usitatissimum* L.) somatic tissue to *in vitro* cultivation. *Euphytica.* 2002. Vol. 125, Iss. 3. P. 367–372. DOI: 10.1023/A:1016013609068

<sup>46</sup> Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant.* 1962. Vol. 15, Iss. 3. P. 473–497. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x

експлантів, на яких утворився калюс), маса калюсу з одного експланта, частота органогенезу (відсоток калюсів, на яких утворились пагони), кількість пагонів, що утворились (без урахування меристематичних зон і зачаткових пагонів), і висота нормально розвинених пагонів; вибірка – не менше 30 експлантів і спостережень для кожного колекційного зразка.

*L. usitatissimum* L. convar. *elongatum* (сорт Глінум) дуже чутливий до культури *in vitro*, зокрема за умов культивування гіпокотильних сегментів на безгормональному середовищі за вказаних кліматичних умов і фотоперіоду калюсогенез, хоча і досить слабкий, виявлено у 24,24 % експлантів. Соматичний ембріогенез також був можливий і на безгормональному середовищі (частота органогенезу при цьому склала 6,06%). Слід зазначити, що 69,70–75,00 % гіпокотильних експлантів формували калюсну тканину при культивуванні на середовищі лише з ауксинами НОК, ІОК чи 2,4-Д. При цьому частота органогенезу була незначною: 6,25 і 12,90 % у варіантах з 0,5 і 1,0 мг/л ІОК відповідно, 12,50 і 12,12 % у варіантах з 0,05 і 0,1 мг/л НОК відповідно і регенерація пагонів майже не відбувалась у варіантах з 0,15 і 0,30 мг/л 2,4-Д. Також калюс добре формувався на середовищах виключно з цитокінінами БАП (0,5, 1,0 і 2,0 мг/л) і КІН (0,15 і 0,30 мг/л). Частота калюсогенезу становила 93,75, 100,00, 93,94 і 66,66, 83,87%, а органогенезу – 81,25, 93,55, 50,00 і 48,71, 48,38 % відповідно.

Поєднання ауксинів і цитокінінів, зокрема 0,05 НОК і 1,0 мг/л БАП, 0,05 НОК і 0,3 мг/л КІН, 0,5 ІОК і 1,0 мг/л БАП, 0,5 ІОК і 0,3 мг/л КІН, 0,15 2,4-Д і 0,3 мг/л КІН, 0,3 2,4-Д і 0,3 мг/л КІН, 0,3 2,4-Д і 0,6 мг/л КІН сприяло утворенню калюсу у 100,00 % експлантів, у варіантах з 0,15 2,4-Д і 1,0 мг/л БАП, 0,3 2,4-Д і 2,0 мг/л БАП, частота калюсоутворення була дещо нижчою, але вищою за 96 %. При цьому частота органогенезу мала досить суттєвий розмах варіації – від 3,12 до 96,88 %. З позицій інтенсивного органогенезу не зовсім вдалим виявились поєднання НОК і КІН, ІОК і КІН, 2,4-Д і БАП, а також 2,4-Д і КІН. Збільшення концентрації НОК до 1,0 мг/л, ІОК до 3,0 мг/л і БАП до 3,0 мг/л пригнічувало ріст калюсу і регенерацію пагонів. Фітогормон 2,4-Д сприяв порівняно інтенсивному калюсогенезу, але при його наявності у живильному середовищі пагони майже не утворювалися (табл. 1).



Таблиця 1

**Частота калюсоутворення і органогенезу льону звичайного  
в залежності від співвідношення фітогормонів  
у живильному середовищі**

Ауксини, мг/л			Цитокініни, мг/л		Частота калюсогенезу, %	Частота органогенезу, %
НОК	ІОК	2,4-Д	БАП	КІН		
–	–	–	–	–	24,24	6,06
0,05	–	–	–	–	71,88	12,50
0,10	–	–	–	–	69,70	12,12
–	0,50	–	–	–	71,88	6,25
–	1,00	–	–	–	74,19	12,90
–	–	0,15	–	–	75,00	3,12
–	–	0,30	–	–	75,00	0,00
–	–	–	0,50	–	93,75	81,25
–	–	–	1,00	–	100,00	93,55
–	–	–	2,00	–	93,94	50,00
–	–	–	–	0,15	66,66	48,71
–	–	–	–	0,30	83,87	48,38
–	–	–	–	0,60	25,00	12,50
0,05	–	–	1,00	–	100,00	96,88
0,05	–	–	–	0,30	100,00	6,25
–	0,50	–	1,00	–	100,00	93,55
–	0,50	–	–	0,30	100,00	3,12
–	–	0,15	1,00	–	96,77	12,90
–	–	0,30	1,00	–	96,67	10,00
–	–	0,30	2,00	–	96,67	6,67
–	–	0,15	–	0,30	100,00	15,65
–	–	0,30	–	0,30	100,00	15,60
–	–	0,30	–	0,60	100,00	3,12

Гіберелова кислота (ГК<sub>3</sub>) не дуже часто використовують в культурі *in vitro*, порівняно з ауксинами та цитокінінами, але вона сприяє подовженню пагонів, активує діяльність багатьох ферментів, поліпшує вуглеводний обмін, стимулює поділ і розтягування клітин меристем. Дослідження показали, що поєднання 0,5 ГК<sub>3</sub> з 0,05 НОК і 1,0 мг/л БАП не впливало на частоту калюсогенезу (100,00 в обох варіантах досліду), але збільшувало масу калюсу з експланта (2,29, порівняно з 1,46 г), зменшувало частоту органогенезу (96,88, порівняно з 74,00%), але збільшувало кількість пагонів (4,5, порівняно з 3,0 шт.) і їх висоту (2,35, порівняно з 1,44 см у контрольному варіанті). Не зважаючи на зниження частоти

органогенезу, додавання ГК<sub>3</sub> у зазначеній дозі є ефективним, оскільки збільшується кількість регенерантів, їх висота і відповідно кількість міжвузлів, тобто виникають можливості підвищення коефіцієнта подальшого розмноження соматоклонів (табл. 2). При цьому істотні відмінності маси калюсу з експланта (за культивування у біологічних пробірках діаметром 20 мм) проявляються на 24-ту добу. З цього часу спостерігається й найбільший приріст біомаси калюсної тканини, який продовжується до 42-ї доби. На середовищі без додавання ГК<sub>3</sub> приріст маси калюсу фактично призупиняється на 35-ту добу культивування.

Таблиця 2

**Вплив ГК<sub>3</sub> (0,5 мг/л) на інтенсивність калюсоутворення й органогенезу льону звичайного за умови наявності 0,05 мг/л НОК і 1,0 мг/л БАП у живильному середовищі**

Варіант	Інтенсивність калюсогенезу		Інтенсивність органогенезу		
	частота калюсогенезу, %	маса калюсу з експланта, г	Частота органогенезу, %	кількість пагонів, шт.	висота пагонів, см
Контроль (без ГК <sub>3</sub> )	100,0	1,46 ± 0,162	96,88	3,0 ± 0,15	1,44 ± 0,211
З додаванням ГК <sub>3</sub>	100,0	2,29 ± 0,217**	74,00	4,5 ± 0,15***	2,35 ± 0,239**

Примітки: \*\* – відмінності порівняно з контролем істотні при  $P < 0,01$ , \*\*\* – при  $P < 0,001$ .

Отже, льон звичайний значною мірою здатний до утворення калюсу на гіпокотильних сегментах під впливом: 1) лише ауксинів, 2) лише цитокінінів, 3) комбінації ауксинів і цитокінінів екзогенного походження. Найкращим поєднанням для ініціації утворення пагонів був варіант НОК і БАП, а також ІОК і БАП (звичайно, в межах досліджуваних концентрацій), що і визначило вибір даних фітогормонів для проведення подальших досліджень з більш широким варіаційним рядом їх доз у середовищі.

**3. Вплив цитокініну 6-бензиламінопурину й ауксинів 1-нафтилоцтової й індол-3-оцтової кислоти на інтенсивність калюсогенезу й органогенезу льону звичайного**

БАП є важливим фітогормоном для росту і розвитку льону, а також диференціації клітин *in vitro*, що активізує протікання відповідних фізіологічних процесів у клітинах і тканинах, тому

у подальшому було встановлено залежність інтенсивності калюсоутворення і органогенезу від концентрації БАП за умови наявності чи відсутності ауксину НОК.

У результаті проведених досліджень виявлено, що калюс утворювався на середовищах з БАП від 0,25 до 3,0 мг/л з високою частотою (у 75,00–100,00 % експлантів). Слід зазначити, що в межах досліджуваної вибірки частота калюсоутворення становила 100,00 % у варіантах з 1,0, 1,25 і 1,5 мг/л БАП. Найнижча частота калюсоутворення була у варіантах з 0,25 і 3,0 мг/л даного цитокініну. Таким чином, подальше зниження концентрації (< 0,25 мг/л) чи її підвищення (> 3,0 мг/л) з метою індукції калюсогенезу є недоцільною. Найвищу масу калюсу з одного експланта виявлено у варіанті з 1,0 мг/л БАП, вона у середньому становила 3,00 г. Дещо нижчу інтенсивність формування калюсних тканин спостерігали у варіантах з 0,5 і 1,25 мг/л БАП, а найнижчу – у варіантах з крайніми значеннями концентрацій: 0,16 г при 0,25 мг/л БАП і 0,15 г при 3,0 мг/л БАП.

Частота органогенезу також залежала від концентрації БАП у живильному середовищі. У 100,00 % випадків з калюсу відбувалось формування пагонів на середовищі, що містило 1,25 мг/л досліджуваного фітогормону. Загалом, висока інтенсивність органогенезу характерна для варіантів, де вміст БАП становив від 1,0 до 1,75 мг/л, що підтверджує аналіз ознак кількості і висоти утворених пагонів (2,4–5,0 шт. і 1,19–3,10 см відповідно). Концентрація БАП 3,0 мг/л не сприяла (або й пригнічувала) диференціації калюсних тканин і в подальшому появі меристематичних зон вегетативних органів льону (табл. 3).

Дослідження впливу різних концентрацій БАП на частоту та інтенсивність калюсо- і органогенезу за умови присутності у середовищі НОК з однаковою концентрацією 0,05 мг/л засвідчило, що загалом частота утворення калюсу і появи пагонів зростає, порівняно з відповідними варіантами, в яких був лише цитокінін. Одночасно оптимальні концентрації БАП розширюються від 0,5 до 2,0 мг/л. Калюс утворився на 100,00% експлантів у варіантах з 1,0, 1,25, 1,5 і 1,75 мг/л БАП, а органогенез спостерігали у 100,0% калюсів у варіанті з 1,5 мг/л зазначеної сполуки. Низька (0,25 мг/л) або ж висока (3,0 мг/л) доза БАП за умови додавання до середовища 0,05 мг/л НОК давали низьку частоту регенерації пагонів. Вона становила лише 6,25%.

Таблиця 3

**Вплив концентрації БАП за умови відсутності ауксину  
у живильному середовищі на інтенсивність калусоутворення  
і органогенезу льону звичайного**

Концент- рація БАП, мг/л	Інтенсивність калусогенезу		Інтенсивність органогенезу		
	Частота калусо- генезу, %	Маса калюсу з експланта, г	Частота органогенезу, %	Кількість пагонів, шт.	Висота пагонів, см
0,25	75,00	0,16 ± 0,015	12,50	2,0 ± 0,13	1,93 ± 0,080
0,50	93,75	1,98 ± 0,115	81,25	2,8 ± 0,15	1,95 ± 0,304
1,00	100,00	3,00 ± 0,157	93,55	4,0 ± 0,22	3,10 ± 0,377
1,25	100,00	2,50 ± 0,109	100,00	5,0 ± 0,11	2,88 ± 0,174
1,50	96,88	1,02 ± 0,173	93,75	3,0 ± 0,20	1,79 ± 0,228
1,75	100,00	0,80 ± 0,058	90,62	2,4 ± 0,15	1,19 ± 0,056
2,00	93,94	0,76 ± 0,048	50,00	1,6 ± 0,17	0,80 ± 0,049
2,50	90,62	0,82 ± 0,083	31,25	1,9 ± 0,25	0,84 ± 0,064
3,00	81,25	0,15 ± 0,020	3,12	1,5 ± 0,12	0,80 ± 0,049

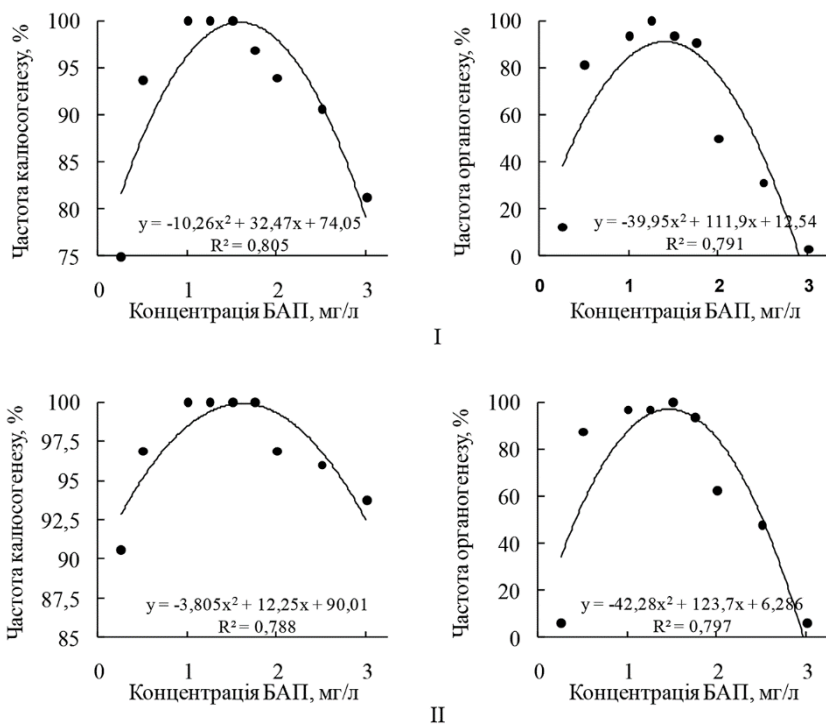
Ознаки маси калюсу з експланта, кількості і висоти пагонів на середовищах, які містили НОК, порівняно з середовищами без ауксину екзогенного походження, відрізнялись несуттєво. Межі їх варіювання становили 0,48–2,82 г, 1,1–5,0 шт. і 1,52–2,02 см відповідно (табл. 4).

Таблиця 4

**Вплив концентрації БАП за умови наявності 0,05 мг/л НОК  
у живильному середовищі на інтенсивність калусоутворення  
і органогенезу льону звичайного**

Фітогормони , мг/л		Інтенсивність калусогенезу		Інтенсивність органогенезу		
НОК	БАП	Частота калусо- генезу, %	Маса калюсу з експланта, г	Частота - органогенезу, %	Кількість пагонів, шт.	Висота пагонів, см
0,05	0,25	92,62	0,48 ± 0,085	6,25	2,6 ± 0,18	1,66 ± 0,085
0,05	0,50	96,88	1,71 ± 0,104	87,50	2,9 ± 0,12	1,76 ± 0,172
0,05	1,00	100,0	2,22 ± 0,099	96,88	4,4 ± 0,14	1,62 ± 0,205
0,05	1,25	100,0	1,32 ± 0,081	96,88	4,4 ± 0,14	2,00 ± 0,173
0,05	1,50	100,0	1,98 ± 0,071	100,00	5,0 ± 0,19	2,02 ± 0,211
0,05	1,75	100,0	1,95 ± 0,070	93,75	3,6 ± 0,15	1,74 ± 0,112
0,05	2,00	96,88	2,82 ± 0,145	62,50	1,6 ± 0,14	1,75 ± 0,183
0,05	2,50	96,00	2,14 ± 0,076	48,00	1,6 ± 0,14	1,52 ± 0,107
0,05	3,00	93,75	0,60 ± 0,090	6,25	1,1 ± 0,07	1,58 ± 0,069

Аналіз експериментальних даних показує, що залежність між концентрацією БАП у живильному середовищі та інтенсивністю калусоутворення і органогенезу є нелінійною, можна побудувати графіки та рівняння криволінійної регресії (за типом параболи), які дозволяють прогнозувати збільшення чи зменшення частоти калусоутворення і частоти органогенезу від зменшення чи збільшення величини вмісту фітогормону у середовищі, виділити оптимальну його концентрацію для індукції зазначених явищ і отримання соматклонів (рис. 1).



**Рис. 1. Криволінійна регресійна залежність частоти калусоутворення і органогенезу від концентрації БАП у живильному середовищі (I – за умови відсутності ауксину, II – за умови наявності НОК)**

Проведені дослідження із залученням більш великого варіаційного ряду концентрацій БАП свідчать про те, що при наявності ауксину НОК (0,05 мг/л) ефективність калусогенезу і регенерації пагонів була вищою. Разом з тим застосування лише

БАП може бути цілком самостійним прийомом для індукції зазначених процесів. Лише збільшення концентрації БАП до 3,0 мг/л пригнічувало ріст калюсу і регенерацію пагонів. Можна припустити, що для досліджуваного виду загалом і даного генотипу зокрема достатнім для органогенезу є синтез ауксинів ендогенного походження при наявності цитокінінів екзогенного походження, однак це питання потребує подальшого вивчення і встановлення фізіологічних механізмів відповідних процесів у рослинних клітинах і тканинах.

Найбільша результативність калюсогенезу і органогенезу нами виявлена у варіантах: 1) 1,5 мг/л БАП, 2) 1,25 мг/л БАП і 0,05 мг/л НОК. Слід зазначити, що у літературних джерелах описані як ефективні або нижчі або вищі.

Дослідження різних концентрацій ауксинів НОК й ІОК за умови наявності у живильному середовищі цитокініну БАП з однаковою концентрацією 1,00 мг/л засвідчило, що певні концентрації ауксинів підвищують ефективність калюсоутворення й органогенезу. Як при включенні у середовище НОК від 0,025 до 1,000 мг/л, так і при включенні ІОК від 0,05 до 3,00 мг/л, частота калюсогенезу становила 100,0% (табл. 5).

У першому випадку (за умови додавання НОК) маса калюсу з експланта коливалась в межах від 0,94 до 2,25 г, різко зменшуючись, починаючи з концентрації 0,750 мг/л. Частота органогенезу становила від 6,25 (варіант з 0,750 мг/л НОК) до 100,0% (варіант з 0,075 мг/л НОК), органогенез зовсім не відбувся при наявності у середовищі 1,000 мг/л досліджуваної сполуки. Найбільша кількість пагонів утворилась у середовищах з 0,050 і 0,075 мг/л даної речовини (4,4 і 4,3 шт. відповідно). З підвищенням концентрації НОК зменшувалась висота пагонів. Загалом найбільш оптимальними виявились варіанти середовища, які містили у своєму складі 0,050 або 0,075 мг/л НОК і 1,0 мг/л БАП.

У другому випадку (за умови додавання у середовище ІОК) маса калюсу коливалась в межах від 0,96 до 2,09 г. При цьому низькі (0,05 мг/л) і більш високі (3,00 мг/л) концентрації даного ауксину не сприяли інтенсивному збільшенню маси калюсних тканин. Частота органогенезу коливалась в межах від 3,03 (варіант з 3,00 мг/л ІОК) до 93,75% (варіанти з 0,30 і 0,50 мг/л ІОК). Ознака кількості пагонів в межах варіантів з ІОК була меншою за середовище з НОК, але з підвищенням концентрації їх кількість значно зростала. Ознака висоти пагонів коливалась в межах від 1,10 до 2,75 см, що

перевищувало варіанти з ауксином НОК. Найкращими були варіанти, що поєднували ІОК від 0,10 до 0,50 мг/л і 1,0 мг/л БАП.

Таблиця 5

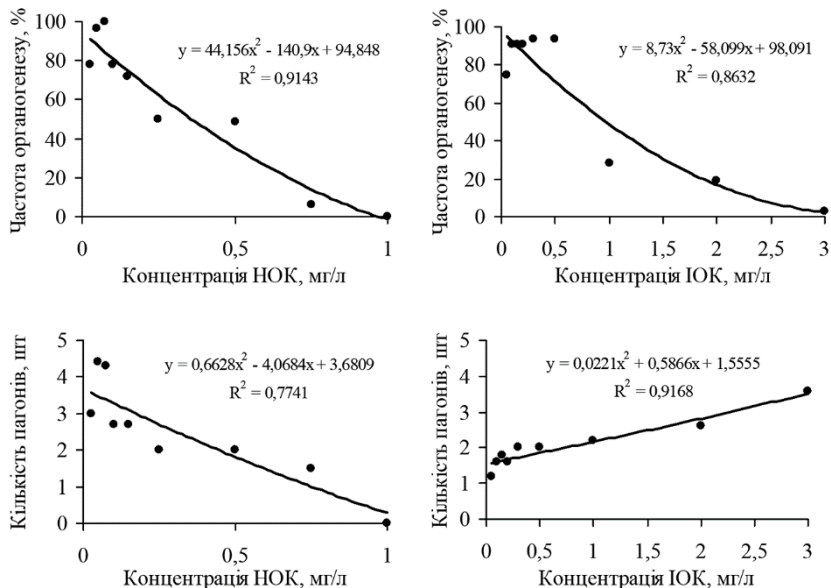
**Вплив концентрації НОК та ІОК за умови наявності 1,0 мг/л БАП у живильному середовищі на інтенсивність калусоутворення і органогенезу льону звичайного**

Фітогормони, мг/л		Інтенсивність калусогенезу		Інтенсивність органогенезу		
НОК	ІОК	Частота калусо-генезу, %	Маса калусу з експланта, г	Частота органо-генезу, %	Кількість пагонів, шт.	Висота пагонів, см
0,025	–	100,0	2,14 ± 0,176	78,12	3,0 ± 0,20	1,60 ± 0,248
0,050	–	100,0	2,22 ± 0,099	96,88	4,4 ± 0,14	1,62 ± 0,205
0,075	–	100,0	2,25 ± 0,137	100,00	4,3 ± 0,15	1,63 ± 0,119
0,100	–	100,0	2,04 ± 0,076	78,12	2,7 ± 0,18	1,59 ± 0,168
0,150	–	100,0	1,96 ± 0,098	71,88	2,7 ± 0,18	1,36 ± 0,065
0,250	–	100,0	1,89 ± 0,072	50,00	2,0 ± 0,20	1,34 ± 0,121
0,500	–	100,0	1,84 ± 0,172	48,39	2,0 ± 0,09	0,76 ± 0,080
0,750	–	100,0	0,94 ± 0,101	6,25	1,5 ± 0,14	0,65 ± 0,033
1,000	–	100,0	0,94 ± 0,084	0,00	–	–
–	0,05	100,0	0,96 ± 0,090	75,00	1,2 ± 0,10	1,10 ± 0,155
–	0,10	100,0	1,69 ± 0,071	90,62	1,6 ± 0,27	1,82 ± 0,346
–	0,15	100,0	1,78 ± 0,115	90,90	1,8 ± 0,12	1,84 ± 0,114
–	0,20	100,0	1,77 ± 0,055	90,62	1,6 ± 0,13	1,85 ± 0,077
–	0,30	100,0	2,00 ± 0,158	93,75	2,0 ± 0,16	1,99 ± 0,107
–	0,50	100,0	2,09 ± 0,164	93,75	2,0 ± 0,07	2,00 ± 0,110
–	1,00	100,0	1,66 ± 0,102	28,12	2,2 ± 0,12	2,19 ± 0,088
–	2,00	100,0	1,66 ± 0,140	18,75	2,6 ± 0,14	2,27 ± 0,168
–	3,00	100,0	1,00 ± 0,036	3,03	3,6 ± 0,24	2,75 ± 0,142

Аналіз експериментальних даних показує, що залежність між концентрацією ауксинів у живильному середовищі та інтенсивністю органогенезу і кількістю пагонів є нелінійною, можна побудувати графіки та рівняння криволінійної регресії, які дозволяють прогнозувати збільшення чи зменшення частоти органогенезу та інтенсивності утворення пагонів від зменшення чи збільшення величини вмісту фітогормону у середовищі, виділити оптимальну його концентрацію для індукції зазначених явищ і отримання соматоклонів (рис. 2).

Зазвичай ауксини та цитокініни додають до живильного середовища у певному співвідношенні один до одного. Досить часто

кратне збільшення чи зменшення різних груп фітогормонів до певної межі «урівноважує» протікання фізіологічних процесів, які вони детермінують, однак, як показують результати наших досліджень, у льону звичайного дана тенденція не простежується.



**Рис. 2. Криволінійна регресійна залежність частоти органогенезу від концентрації НОК й ІОК у живильному середовищі, яке містить 1,0 мг/л БАП**

Одне з найоптимальніших поєднань – 0,05 НОК і 1,0 мг/л БАП (співвідношення ауксин:цитокінін складає 1:20) – індукувало калюсоутворення на 100,00% гіпокотильних експлантах і у 96,88 % випадків – органогенез. За цього ж співвідношення (1:20) при зменшенні фітогормонів у п'ять разів (0,01 НОК і 0,2 мг/л БАП) калюсоутворення спостерігали у 100,00% випадків, а органогенез відбувся лише на 15,62% калюсів. У свою чергу додавання до живильного середовища лише 0,01 мг/л НОК або лише 0,2 мг/л БАП викликало доволі інтенсивне утворення калюсу (69,70 і 74,19%) і дуже слабкий органогенез (12,12 і 9,68% відповідно). За цього ж співвідношення НОК:БАП (1:20), але за умови збільшення концентрації фітогормонів у п'ять разів (0,25 НОК і 5,0 мг/л БАП)



спостерігали поодинокі випадки калюсоутворення (3,03%) і повну відсутність соматичного органогенезу (0,00%). При цьому слід відмітити, що за наявності у складі живильного середовища лише 0,25 мг/л ауксину НОК частота калюсоутворення становила 62,50, а органогенезу – 9,38%, за наявності у складі середовища лише 5,0 мг/л цитокініну БАП частота калюсоутворення становила 6,25, а органогенезу – 0,000% (табл. 6)

Таблиця 6

**Вплив співвідношення НОК та БАП у живильному середовищі на частоту калюсоутворення й органогенезу льону звичайного**

Концентрація, мг/л		Співвідношення НОК:БАП	Частота, %	
НОК	БАП		калюсоутворення	органогенезу
0,01	0,1	1 : 10	96,88	12,50
0,01	–	–	69,70	12,12
–	0,1	–	71,88	9,38
0,01	0,2	1 : 20	100,00	15,62
–	0,2	–	74,19	9,68
0,05	1,0	1 : 20	100,00	96,88
0,05	–	–	71,88	12,50
–	1,0	–	100,00	93,75
0,25	2,5	1 : 10	100,00	31,25
0,25	5,0	1 : 20	3,03	0,00
–	5,0	–	6,25	0,00
0,25	–	–	62,50	9,38
–	2,5	–	90,62	31,25

Введення у живильне середовище фітогормонів зі співвідношенням ауксин:цитокінін як 1:10 сприяло індукції інтенсивного калюсогенезу, а утворення меристематичних зон і пагонів з них залишалось досить низьким. Так, за вмісту 0,01 НОК і 0,1 мг/л БАП (концентрація НОК без змін, концентрацію БАП зменшено у 10 разів, порівняно з контрольним варіантом) частота калюсоутворення склала 96,88, а органогенезу – 12,50%; за вмісту 0,25 НОК і 2,5 мг/л БАП (концентрацію НОК збільшено у 5 разів, концентрацію БАП збільшено у 2,5 рази, порівняно з контрольним варіантом) частота калюсоутворення склала 100,00, а органогенезу – 31,25%. За роздільного внесення НОК і БАП їх ефективність була нижчою. Таким чином, оптимальним для індукції калюсоутворення й органогенезу льону звичайного є додавання до живильного

середовища визначених концентрацій регуляторів росту рослин – 0,05 НОК і 1,0 мг/л БАП, а не підбір їх за співвідношенням ауксин : цитокінін.

Таким чином, для соматичного ембріогенезу в культурі *in vitro* оптимальні концентрації БАП (в мг/л) можна виразити нерівністю  $1,0 \leq \text{БАП} \leq 1,75$ ; оптимальні концентрації БАП за умови додавання до живильного середовища 0,05 мг/л НОК – нерівністю  $0,5 \leq \text{БАП} \leq 2,0$ ; оптимальні концентрації НОК за умови додавання до середовища 1,0 мг/л БАП – нерівністю  $0,025 \leq \text{НОК} \leq 0,150$ ; оптимальні концентрації ІОК за умови додавання до середовища 1,0 мг/л БАП – нерівністю  $0,05 \leq \text{ІОК} \leq 0,50$  (табл. 7)

Таблиця 7

**Оптимальні поєднання фітогормонів (мг/л) екзогенного походження для соматичного ембріогенезу льону звичайного в культурі *in vitro***

Постійна концентрація одного фітогормону	Змінна концентрація другого фітогормону у вигляді нерівності
–	$1,000 \leq \text{БАП} \leq 1,750$
0,05 мг/л НОК	$0,500 \leq \text{БАП} \leq 2,000$
1,00 мг/л БАП	$0,025 \leq \text{НОК} \leq 0,150$
1,00 мг/л БАП	$0,050 \leq \text{ІОК} \leq 0,500$

Установлені закономірності доцільно використовувати в селекційно-біотехнологічних дослідженнях.

**4. Скринінг генотипів льону звичайного на здатність до калюсогенезу і органогенезу**

Загалом, рослини роду *Linum* L. і вид *L. usitatissimum* L. за вказаних умов культивування і фітогормонального складу, який включає 0,05 НОК і 1,0 мг/л БАП, значною мірою здатний до утворення калюсу і пагонів з нього в умовах *in vitro*. Частота й інтенсивність калюсогенезу і в подальшому органогенезу за однакового фітогормонального складу залежить від генотипу, що доведено на прикладі різних колекційних зразків (сортів) льону-довгунця.

Так, частота калюсоутворення становила від 15,0% у зразка UF0401830 до 100% у решти зразків, крім UF0401864, тобто гіпокотильні та епикотильні сегменти досліджуваних генотипів завжди формували калюс. У зразка UF0401830 спостерігалась

внутрішньопопуляційна мінливість за здатністю утворювати калюс: з експлантів, взятих з однієї рослини він завжди формується, а з експлантів, взятих з іншої рослини – ніколи. Маса калюсу з одного експланта за 35 діб культивування становила від 0,56 г (UF0402142) до 1,51 г (UF0401864). Найбільш інтенсивно накопичували калюс наступні зразки: UF0401864 (1,51 г), UF0401494 (1,45 г), UF0401792 (1,25 г), UF0402228 (1,18 г) і UF0401867 (0,97 г). Слід зазначити, що від маси калюсу не залежала частота органогенезу ( $r = 0,01$ ), між ознаками маси калюсу з експланта і кількості пагонів існував додатний слабкий взаємозв'язок ( $r = 0,29$ ), а між ознаками маси калюсу і висоти пагонів встановлено додатний середній взаємозв'язок ( $r = 0,46$ ).

Частота органогенезу коливалась в межах від 10,0 % (зразок UF0401830) до 93,8 % (UF0401603 і UF0401819). Найбільш здатними до органогенезу виявились зразки: UF0401603, UF0401819 (93,8 %), UF0402178 (90,6 %), UF0401494, UF0401897 та UF0401900 (87,5 %). Багато меристематичних зон спостерігали у UF0401864, що походить з Румунії, та UF0402178, що походить з Чехії, рівномірний розвиток пагонів був притаманний UF0401792 (країна походження – Канада). Кількість пагонів, які формувались з калюсної тканини під впливом фітогормонів, становила від 1,4 шт. (UF0402071) до 4,0 шт. (UF0401864 та UF0402178 відповідно). За даною ознакою можна виділити наступні зразки: UF0401864, UF0402178 (4,0 шт.), UF0401603, UF0401494, UF0401897 і UF0402143 (3,0 шт.). Висота регенованих пагонів на 35-ту добу досягала значення від 0,78 см (UF0402071) до 2,37 см (UF0401864). Зразки UF0402134 і UF0402142 давали дуже слабкі рослини-регенеранти. Загалом, найбільш інтенсивним ростом пагонів у довжину з калюсної тканини характеризувались колекційні зразки: UF0401864 (2,37 см), UF0402178 (1,50 см), UF0402228 (1,40 см), UF0401819 (1,31 см) та UF0402143 (1,30 см).

За комплексом ознак (частота калюсоутворення, частота органогенезу і кількість пагонів) виділились зразки: UF0401603, UF0401494, UF0402178, UF0401897 і UF0402143.

За середніми даними різновидів (льон-довгунець, межеумок і олійний) показало, що калюс утворюється у 100% експлантів у довгунця і олійного, менш чутливим до культури *in vitro* і дії зазначених екзогенних регуляторів росту є межеумок (частота калюсогенезу 75,0 %), однак він характеризується найвищим розмахом варіації (різницею між максимальним і мінімальним

значенням) ознаки і масою калюсу з одного експланта ( $1,12 \pm 0,10$  г), порівняно з довгунцем ( $0,93 \pm 0,08$  г) і олійним ( $0,86 \pm 0,07$  г) (табл. 8).

Таблиця 8

**Здатність до калюсоутворення й органогенезу в умовах *in vitro* різних зразків льону звичайного**

Номер Націо- нального каталогу	Назва зразка	Країна походження	Інтенсивність калюсогенезу		Інтенсивність органогенезу		
			Частота калюсогенезу, %	Маса калюсу з експланта, г	Частота органогенезу, %	Кількість пагонів, шт.	Висота пагонів, см
льон звичайний, довгунець							
UF0401603	Гліум	Україна	100,0	$0,82 \pm 0,04$	93,8	$3,0 \pm 0,20$	$1,06 \pm 0,05$
UF0401494	Кром	Росія	100,0	$1,45 \pm 0,14$	87,5	$3,0 \pm 0,28$	$0,94 \pm 0,08$
UF0401867	Орион	Росія	100,0	$0,97 \pm 0,09$	78,1	$2,5 \pm 0,15$	$0,94 \pm 0,05$
UF0402071	Есмань	Україна	100,0	$0,70 \pm 0,06$	45,4	$1,4 \pm 0,14$	$0,78 \pm 0,05$
UF0402134	Белита	Білорусь	100,0	$0,70 \pm 0,05$	50,0	$1,6 \pm 0,14$	$0,85 \pm 0,04$
льон звичайний, межеумок							
UF0401792	Nor Man	Канада	100,0	$1,25 \pm 0,13$	62,5	$2,1 \pm 0,32$	$0,98 \pm 0,04$
UF0401819	Marun M.A.	Аргентина	100,0	$0,75 \pm 0,09$	93,8	$1,5 \pm 0,14$	$1,31 \pm 0,08$
UF0401830	Lisa	Франція	15,0	$1,14 \pm 0,14$	10,0	$1,5 \pm 0,16$	$0,77 \pm 0,03$
UF0401864	Taragvi	Румунія	62,5	$1,51 \pm 0,09$	62,5	$4,0 \pm 0,31$	$2,37 \pm 0,33$
UF0402178	Visamo(1-356)/ L. monnseo	Чехія	100,0	$0,94 \pm 0,07$	90,6	$4,0 \pm 0,49$	$1,50 \pm 0,17$
льон звичайний, олійний							
UF0401897	Ручеек	Росія	100,0	$0,83 \pm 0,09$	87,5	$3,0 \pm 0,18$	$1,22 \pm 0,18$
UF0401900	Lirina	Германія	100,0	$0,92 \pm 0,04$	87,5	$1,6 \pm 0,14$	$0,94 \pm 0,06$
UF0402142	Опус	Білорусь	100,0	$0,56 \pm 0,07$	53,1	$2,8 \pm 0,60$	$0,90 \pm 0,05$
UF0402143	СКi-1	США	100,0	$0,80 \pm 0,06$	78,1	$3,0 \pm 0,14$	$1,30 \pm 0,17$
UF0402228	Ruta	Литва	100,0	$1,18 \pm 0,10$	63,3	$1,6 \pm 0,13$	$1,40 \pm 0,25$
HP <sub>0,05</sub>							
			18,3	0,22	18,3	0,7	0,33

Подібно частота органогенезу була найвищою у льону олійного (73,9%), а найменшою в межеумка (63,9%), але з дуже високим розмахом варіації. При цьому найбільша кількість пагонів сформувалась у льону-межеумка ( $2,6 \pm 0,3$  шт.), порівняно з  $2,3 \pm 0,2$  шт. у довгунця й  $2,4 \pm 0,2$  шт. у олійного. Висота пагонів льону-межеумка ( $1,39 \pm 0,13$  см) значно перевищувала показник

довгунця ( $0,91 \pm 0,05$  см) і олійного ( $1,15 \pm 0,14$  см). До того ж останні мали мінімальний розмах варіації.

Підсумуємо: найбільша частота калюсогенезу й органогенезу на гіпокотильних і епікотильних експлантах властива льону-довгунцю і олійному, найбільшу масу калюсу з експланта, кількість регенованих пагонів і їх висоту формує межеумок, який має найбільших розмах варіації досліджуваних ознак.

Вивчення колекції генетичних ресурсів *L. usitatissimum* L. за здатністю і інтенсивністю калюсогенезу і органогенезу дозволило виділяти цінні генотипи, які придатні для створення вихідного селекційного матеріалу і мікроклонального розмноження в умовах *in vitro*, здійснювати пошук співвідношення ауксинів і цитокінінів та зміни складу живильного середовища для більш ефективної індукції калюсогенезу і органогенезу у менш чутливих до *in vitro* генотипів.

Результати спостережень показали, що комбінації регуляторів росту повинні бути розроблені окремо для кожного генотипу.

## ВИСНОВКИ

1. Льон звичайний (*Linum usitatissimum* L. convar. *elongatum*) значною мірою здатний до утворення калюсу на гіпокотильних сегментах за умови культивування на живильному середовищі Мурасіге і Скуга з додаванням 30 г/л сахарози, фотоперіоді 16 год, освітленості 2500 лк, відносній вологості повітря 60–80 %, температурі повітря 22–24°C під впливом лише ауксинів, лише цитокінінів, комбінації ауксинів і цитокінінів. Для досліджуваного виду загалом і генотипу зокрема достатнім для органогенезу є синтез ауксинів ендогенного походження при наявності цитокінінів екзогенного походження. Соматичний ембріогенез можливий навіть на безгормональному середовищі.

2. Найвища частота органогенезу спостерігалась під впливом БАП або КІН, тобто лише цитокінінів, поєднання БАП і ауксинів, зокрема НОК або ІОК. Фітогормон 2,4-Д сприяв порівняно інтенсивному калюсогенезу, але при його наявності у живильному середовищі пагони майже не утворювалися. Включення у живильне середовище 0,5 мг/л ГК<sub>3</sub> є ефективним, оскільки при цьому збільшується кількість регенерантів, їх висота і відповідно кількість міжвузлів, тобто виникають можливості підвищення коефіцієнта подальшого розмноження соматиклонів

3. Для соматичного ембріогенезу льону звичайного в культурі *in vitro* оптимальні концентрації БАП (в мг/л) можна виразити

нерівністю  $1,0 \leq \text{БАП} \leq 1,75$ ; оптимальні концентрації БАП за умови додавання до живильного середовища  $0,05 \text{ мг/л НОК}$  – нерівністю  $0,5 \leq \text{БАП} \leq 2,0$ ; оптимальні концентрації НОК за умови додавання до середовища  $1,0 \text{ мг/л БАП}$  – нерівністю  $0,025 \leq \text{НОК} \leq 0,150$ ; оптимальні концентрації ІОК за умови додавання до середовища  $1,0 \text{ мг/л БАП}$  – нерівністю  $0,05 \leq \text{ІОК} \leq 0,50$ . Найбільша результативність калюсогенезу і органогенезу виявлена у варіантах:  $1,25 \text{ мг/л БАП}$ ;  $1,5 \text{ БАП}$  і  $0,05 \text{ мг/л НОК}$ ;  $1,0 \text{ БАП}$  і  $0,075 \text{ мг/л НОК}$ ;  $1,0 \text{ БАП}$  і  $0,50 \text{ мг/л ІОК}$ . Збільшення концентрації НОК до  $1,0 \text{ мг/л}$ , ІОК до  $3,0 \text{ мг/л}$  і БАП до  $3,0 \text{ мг/л}$  пригнічувало ріст калюсу і регенерацію пагонів.

4. Комбінації регуляторів росту доцільно розробляти окремо для кожного зразка (сорту) льону звичайного окремо, оскільки здатність до калюсоутворення і органогенезу детермінована генетично.

## АНОТАЦІЯ

Обґрунтовано питання оптимізації культури ізольованих клітин і тканин льону звичайного (*Linum usitatissimum* L. convar. *elongatum*) в умовах *in vitro*. Описано біологічні особливості виду, наукові досягнення щодо індукції калюсогенезу й органогенезу в умовах *in vitro*, узагальнено дослідження впливу цитокініну 6-бензиламінопурину й ауксинів 1-нафтилоцтової й індол-3-оцтової кислоти на інтенсивність протікання даних процесів і скринінгу генотипів. Зроблено висновок, що льон звичайний значною мірою здатний до утворення калюсу на гіпокотильних сегментах під впливом лише ауксинів, лише цитокінінів, комбінації ауксинів і цитокінінів. Комбінації регуляторів росту доцільно розробляти окремо для кожного зразка (сорту) окремо, оскільки здатність до калюсоутворення і органогенезу детермінована генетично.

## Література

1. Оптасюк О. М., Шевера М. В. Рід *Linum* L. у флорі України. Київ : Альтерпрес, 2011. 276 с.
2. Зеленцов С. В., Зеленцов В. С., Мошненко Е. В., Рябенко Л. Г. Современные представления о филогенезе и таксономии рода *Linum* L. и льна обыкновенного (*Linum usitatissimum* L.). *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень ВНИИ масличных культур*. 2016. Вып. 1. С. 106–121.

3. Логінов М. І. Етапи розвитку та підсумки селекції льону-довгунця в Україні. *Збірник наукових праць Інституту луб'яних культур УААН*. 2007. Вип. 4. С. 64–69.
4. Кривошеєва Л. М. Вихідний матеріал льону-довгунця в селекції на якість волокна. *Луб'яні та технічні культури*. 2017. Вип. 5. С. 114–119.
5. Чучвага В. І, Кривошеєва Л. М. Імунологічний моніторинг різних груп стиглості сортів льону-довгунця в умовах північно-східного Полісся України. *Луб'яні та технічні культури*. 2019. Вип. 7. С. 42–45. DOI: 10.48096/btc.2019.7(12).42-45
6. Чучвага В. І, Кривошеєва Л. М. Методологічні аспекти вивчення стійкості сортів льону-довгунця до фузаріозу. *Луб'яні та технічні культури*. 2019. Вип. 7. С. 54–57. DOI: 10.48096/btc.2019.7(12).54-57
7. Шувар А. М. Залежність продуктивності льону-довгунця від застосування мікробних препаратів за умов органічного виробництва. *Луб'яні та технічні культури*. 2015. Вип. 4. С. 85–91.
8. Вишнівська Ю. С., Дрозд О. М., Лісовий О. Б. Вплив елементів технології вирощування на щільність посіву, урожайність насіння і волокна льону-довгунця. *Луб'яні та технічні культури*. 2017. Вип. 5. С. 157–162.
9. Поляков А. В. Биотехнология в селекции льна. Тверь, 2000. 180 с.
10. Evtimova M., Vlahova M., Atanassov A. Flax improvement by biotechnology means. *Journal of Natural Fibers*. 2005. Vol. 2, Iss. 2. P. 17–34. DOI: 10.1300/J395v02n02\_02
11. Кубрак С. В., Шаптуренко М. Н. Изменчивость льна-долгунца (*Linum usitatissimum*) в культуре *in vitro* как источник получения новых селекционных форм. *Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя Біялагічных навук*. 2013. № 2. С. 36–40.
12. Міщенко С. В., Кривошеєва Л. М. Калюсогенез і органогенез в умовах *in vitro* різних зразків *Linum usitatissimum* L. *Генетичні ресурси рослин*. 2018. № 23. С. 49–58. DOI: 10.36814/pgr.2018.23.04
13. Міщенко С. В. Вплив 6-бензиламінопурину на інтенсивність калюсогенезу і органогенезу *Linum usitatissimum* L. в умовах *in vitro*. *Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія Біологія*. 2019. Вип. 2 (47). С. 92–100. DOI: 10.35550/vbio2019.02.092
14. Mishchenko S. V., Kryvosheieva L. M. Callus formation, organogenesis and microclonal reproduction in different species of the genus *Linum* L. *in vitro*. *Plant Varieties Studying and Protection*.

2019. Vol. 15, No 2. P. 124–134. DOI: 10.21498/2518-1017.15.2.2019.173558
15. Mishchenko S., Kryvosheeva L. Possibility of reproduction of *Linum usitatissimum* L. from seeds with low germination and viability *in vitro* conditions. *Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Health and Life Quality*. 2019. No 3. P. 304–311. DOI: 10.15414/agrobiodiversity.2019.2585-8246.304-311
  16. Міщенко С. В. Вплив 1-нафтилоцтової та індол-3-оцтової кислоти на інтенсивність калюсогенезу і органогенезу *Linum usitatissimum* L. в умовах *in vitro*. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2021. Т. 28. С. 100–105. DOI: 10.7124/FEEO.v28.1383
  17. Лен-долгунец / Дюев И. Ф. и др.; под. общ. ред. М. М. Труша. Москва : Колос, 1976. 352 с.
  18. Технічні культури (льон-довгунець, коноплі, кенаф, джут, канатник, тюпюн, махорка, хміль) / за ред. М. Г. Городнього. 2-ге вид. Київ : Урожай, 1969. 351 с.
  19. Лихочвор В. В. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур: навчальний посібник. 2-ге вид. Київ : Центр навчальної літератури, 2004. 808 с.
  20. Нечитайло В. А., Кучерява Л. Ф. Ботаніка. Вищі рослини: підручник. 2-ге вид. Київ : Фітосоціоцентр, 2005. 432 с.
  21. Рослинництво з основами технології переробки. Практикум: навчальний посібник / Мельник А. В. та ін.; за ред. А. В. Мельника, В. І. Троценка. Суми : Університетська книга, 2008. 384 с.
  22. Технічні культури: навчальний посібник / Жатов О. Г. та ін.; за ред. О. Г. Жатова, С. М. Каленської. Суми : Університетська книга, 2013. 359 с.
  23. Шиша Е. Н., Емец А. И., Гузенко Е. В. и др. Изучение регенерационной способности и корнеобразования у сортов льна-долгунца украинской и белорусской селекции. *Физиология и биохимия культ. растений*. 2011. Т. 43, № 1. С. 57–64.
  24. Janowicz J., Niemann J., Wojciechowski A. The effect of growth regulators on the regeneration ability of flax (*Linum usitatissimum* L.) hypocotyl explants in *in vitro* culture. *BioTechnologia*. 2012. Vol. 93, Iss. 2. P. 135–138. DOI: 10.5114/bta.2012.46578
  25. Siegień I., Adamczuk A., Wróblewska K. Light affects *in vitro* organogenesis of *Linum usitatissimum* L. and its cyanogenic potential. *Acta Physiol. Plant.* 2013. Vol. 35, Iss. 3. P. 781–789. DOI: 10.1007/s11738-012-1118-4



26. Mundhara R., Rashid A. TDZ-induced triple-response and shoot formation on intact seedlings of *Linum*, putative role of ethylene in regeneration. *Plant Sci.* 2006. Vol. 170, Iss. 2. P. 185–190. DOI: 10.1016/j.plantsci.2005.06.015
27. Seta-Koselska A., Skórzyńska-Polit E. Optimization of *in vitro* culture conditions for obtaining flax (*Linum usitatissimum* L. cv. Modran) cell suspension culture. *BioTechnologia.* 2017. Vol. 98, Iss. 3. P. 183–188. DOI: 10.5114/bta.2017.70796
28. Tsygankova V. A., Bayer O. O., Andrusevich Ya. V. Et al. Screening of five and six-membered nitrogen-containing heterocyclic compounds as new effective stimulants of *Linum usitatissimum* L. organogenesis *in vitro*. *Int. J. Med. Biotechnol. Genetics.* 2016. S2:001. P. 1–9. DOI: 10.19070/2379-1020-SI02001
29. Yildiz M., Özgen M. The effect of a submersion pretreatment on *in vitro* explant growth and shoot regeneration from hypocotyls of flax (*Linum usitatissimum*). *Plant Cell Tiss. Organ. Cult.* 2004. Vol. 77, Iss. 1. P. 111–115. DOI: 10.1023/B:TICU.0000016493.03592.c3
30. Yildiz M., Sağlık C., Telci C., Erkilich E. G. The effect of *in vitro* competition on shoot regeneration from hypocotyl explants of *Linum usitatissimum*. *Turk. J. Bot.* 2011. Vol. 35, Iss. 2. P. 211–218. DOI: 10.3906/bot-1005-26
31. Beyaz R., Yildiz M. The effect of inter-plantal competition on *in vitro* seed germination and seedling growth in flax (*Linum usitatissimum* L.). *Eskişehir Technical Univ. J. of Sci. and Tech. C – Life Sci. and Biotech.* 2019. Vol. 8, Iss. 1. P. 61–68. DOI: 10.18036/aubtdc.427128
32. Rutkowska-Krause I., Mankowska G., Lukaszewicz M., Szopa J. Regeneration of flax (*Linum usitatissimum* L.) plants from anther culture and somatic tissue with increased resistance to *Fusarium oxysporum*. *Plant Cell Rep.* 2003. Vol. 22, Iss. 2. P. 110–116. DOI: 10.1007/s00299-003-0662-1
33. Burbulis N., Blinstrubienė A., Sliesaravičius A., Venskutonienė E. Influence of genotype, growth regulators, sucrose level and preconditioning of donor plants on flax (*Linum usitatissimum* L.) anther culture. *Acta Biol. Hung.* 2005. Vol. 56, Iss. 3–4. P. 323–331. DOI: 10.1556/ABiol.56.2005.3-4.15
34. Burbulis N., Blinstrubienė A. Genotypic and exogenous factors affecting linseed (*Linum usitatissimum* L.) anther culture. *J. Food Agricult. Environ.* 2011. Vol. 9, Iss. 3–4. P. 364–367. DOI: 10.1234/4.2011.2285

35. Burbulis N., Blinstrubienė A., Masiene R., Jonytienė V. Influence of genotype, growth regulators and sucrose concentration on linseed (*Linum usitatissimum* L.) anther culture. *J. Food Agric. Environ.* 2012. Vol. 10, Iss. 3–4. P. 764–767. DOI: 10.1234/4.2012.3509
36. Millam S., Davidson D., Powell W. The use of flax (*Linum usitatissimum*) as a model system for studies on organogenesis *in vitro*: the effect of different carbohydrates. *Plant Cell Tiss. Organ. Cult.* 1992. Vol. 28, Iss. 2. P. 163–166. DOI: 10.1007/BF00055512
37. Chen Y., Dribnenki P. Effect of genotype and medium composition on flax *Linum usitatissimum* L. anther culture. *Plant Cell Rep.* 2002. Vol. 21, Iss. 3. P. 204–207. DOI: 10.1007/s00299-002-0500-x
38. Сорока А. И. Особенности подготовки материала и культивирования *in vitro* пыльников льна при получении гаплоидных растений. *Вісник Запорізького національного університету. Біологічні науки.* 2010. № 2. С. 13–19.
39. Obert B., Bartosova Z., Pretova A. Dihaploid production in flax by anther and ovary cultures. *Journal of Natural Fibers.* 2005. Vol. 1, Iss. 3. P. 1–14. DOI: 10.1300/J395v01n03\_01
40. Sakhare S.P., Mendhulkar V.D. Embryo excised callus induction and rhizogenesis in *Linum usitatissimum* L. *Int. J. Pharm. Bio. Sci.* 2016. Vol. 7, Iss. 3. P. 507–511.
41. Blinstrubienė A., Burbulis N., Masiene R. Genotypic and exogenous factors affecting linseed ovary culture. *Zemdirbyste-Agriculture.* 2017. Vol. 104, No. 3. P. 243–248. DOI: 10.13080/z-a.2017.104.031
42. Anjum S., Abbasi B. H., Hano C. Trends in accumulation of pharmacologically important antioxidant-secondary metabolites in callus cultures of *Linum usitatissimum* L. *Plant Cell Tiss Organ Cult.* 2017. Vol. 129, Iss. 1. P. 73–87. DOI: 10.1007/s11240-016-1158-3
43. Khan I., Khan M. A., Shehzad M. A. et al. Micropropagation and production of health promoting lignans in *Linum usitatissimum*. *Plants.* 2020, Vol. 9, Iss. 6. 728. DOI: 10.3390/plants9060728
44. Zahir A., Nadeem M., Ahmad W. et al. Chemogenic silver nanoparticles enhance lignans and neolignans in cell suspension cultures of *Linum usitatissimum* L. *Plant Cell Tiss Organ Cult.* 2019. Vol. 136, Iss. 3. P. 589–596. DOI: 10.1007/s11240-018-01539-6
45. Bonell M., Lassaga S. L. Genetic analysis of the response of linseed (*Linum usitatissimum* L.) somatic tissue to *in vitro* cultivation. *Euphytica.* 2002. Vol. 125, Iss. 3. P. 367–372. DOI: 10.1023/A:1016013609068

46. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant.* 1962. Vol. 15, Iss. 3. P. 473–497. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x

**Information about the author:**  
**Mishchenko Serhii Volodymyrovych,**  
Doctor of Agricultural Sciences,  
Chief Researcher at the Department of Hemp Breeding  
and Seed Growing  
Institute of Bast Crops of the National Academy  
of Agrarian Sciences of Ukraine  
45, Tereshchenkiv Str., Hlukhiv, Sumy region, 41400, Ukraine

## POPRAWA WYDAJNOŚCI INSTALACJI ODPYLAJĄCYCH W CEMENTOWNIACH

Paraniak N. M., Datsko O. S.

### WSTĘP

Koncepcją rozwoju człowieka w XXI wieku jest zrównoważony rozwój, który zaspokaja potrzeby obecnego pokolenia bez szkody dla przyszłego pokolenia. W 2015 roku 70. sesja Zgromadzenia Ogólnego na szczycie ONZ zatwierdziła 17 Celów Zrównoważonego Rozwoju jako nowe wytyczne dla rozwoju świata do 2030 roku<sup>1</sup>. Zasady zrównoważonego rozwoju zakładają wzrost produkcji przemysłowej przy jednoczesnej minimalizacji emisji do środowiska. Jednak przestarzały sprzęt do obróbki, niedoskonałość technologii środowiskowych prowadzi do degradacji środowiska. Obecny poziom bezpieczeństwa środowiskowego w regionach uprzemysłowionych nie zapewnia osiągnięcia znormalizowanej efektywności środowiskowej. Badania basenu powietrza Ukrainy pokazują, że według wskaźnika zanieczyszczenia powietrza w 47% miast stopień zanieczyszczenia powietrza ocenia się jako wysoki, w 23% miast – wysoki, w 30% miast – niski<sup>2</sup>, co prowadzi do zachorowalności ludności w zakresie bezpieczeństwa środowiskowego.

Antropogeniczne zanieczyszczenie powietrza na Ukrainie jest kilkakrotnie wyższe niż w krajach rozwiniętych. Głównymi zanieczyszczeniami powietrza są przedsiębiorstwa wydobywcze i przetwórcze, przedsiębiorstwa energetyczne i gazowe, których emisje zanieczyszczeń stanowią ponad 90% całkowitej emisji do powietrza na Ukrainie<sup>3</sup>.

Ustawodawstwo Ukrainy<sup>4</sup> stanowi, że podstawą polityki środowiskowej jest zasada minimalizacji emisji do powietrza, dlatego

---

<sup>1</sup> The Global Goals. URL: <https://www.globalgoals.org/>

<sup>2</sup> Стан забруднення природного середовища на території України. URL: [http://cgo-sreznovskyi.kyiv.ua/index.php?fn=u\\_zabrud&f=ukraine](http://cgo-sreznovskyi.kyiv.ua/index.php?fn=u_zabrud&f=ukraine)

<sup>3</sup> Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2020 році. URL: <https://merg.gov.ua/news/38840.html>

<sup>4</sup> Основні засади (стратегія) державної екологічної політики України на період до 2030 року. Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text>

polityka środowiskowa budownictwa, w tym produkcji materiałów budowlanych, powinna być realizowana poprzez wprowadzanie technologii energooszczędnych i zasobooszczędnych, wyposażenie źródeł emisji w wydajne urządzenia do oczyszczania gazów, poprawę stanu technicznego i eksploatacji istniejących urządzeń.

Obecnie istnieje wiele projektów urządzeń do odpylania, ale nie wszystkie z nich są wydajne. Istniejące urządzenia do czyszczenia drobnego pyłu nie są w stanie wystarczająco skutecznie wychwytywać drobnych cząstek pyłu. Kwestia rozwiązania tego problemu pozostaje otwarta.

Zasadniczo kolejność doboru urządzeń odpylających zależy przede wszystkim od charakterystyki emisji przemysłowych (temperatura, wilgotność, rodzaj zanieczyszczeń, stężenie, dyspersja). Przede wszystkim zależy to od dziedziny, w której stosowane są systemy odpylania, odpowiednio dobór sprzętu uzależniony jest od: specyficznych wymagań produkcyjnych (właściwości fizyko-mechaniczne i fizykochemiczne zdyspergowanych cząstek)<sup>5</sup>.

Rozwiązanie problemu podniesienia poziomu bezpieczeństwa ekologicznego dla zrównoważonego rozwoju państwa jest możliwe tylko przy podejmowaniu działań proekologicznych w cementowniach. W tym celu istniejące przedsiębiorstwa, których działalność prowadzi do zanieczyszczenia środowiska, muszą wdrożyć przyjazne dla środowiska technologie redukcji emisji lub przywrócenia ich do produkcji, co poprawi sytuację środowiskową w pobliżu firm budowlanych i na Ukrainie.

Aby osiągnąć ten cel, rozwiązano następujące zadania:

- określenie wpływu pyłu i zbadanie jego właściwości jako czynnika w kształtowaniu się zagrożeń środowiskowych związanych z produkcją cementu;
- zidentyfikować główne źródła zanieczyszczenia środowiska w procesach produkcji cementu;
- eksperymentalne zbadanie fundamentalnie nowych konstrukcji urządzeń do oczyszczania powietrza z pyłów na instalacjach badawczych i przemysłowych,
- sprawdzić optymalność założonych parametrów proponowanych procesów oraz ocenić ich efektywność środowiskową i ekonomiczną.

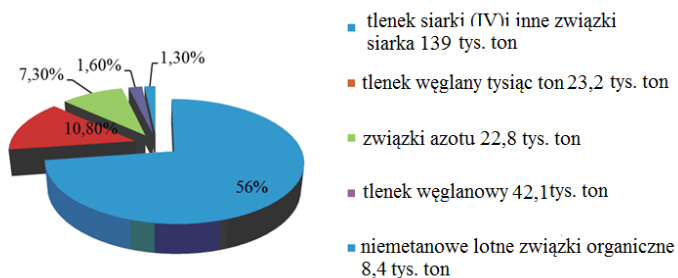
---

<sup>5</sup> Ishii R. Motion of small particles in a gas flow. *Phys. Fluids*. 1984. № 1. P. 33–41.

## 1. Materiały badawcze i proces technologiczny wykorzystane w eksperymencie

PJSC Ivano-Frankivskcement (IFCEM) został wybrany do określenia wpływu pyłu cementowego na środowisko. W związku z tym przeprowadzono audyt środowiskowy oraz monitoring środowiskowy na obszarze oddziaływania przedsiębiorstwa; badana jest charakterystyka pyłu jako czynnika kształtującego bezpieczeństwo środowiska w konkretnym przedsiębiorstwie przemysłu cementowego; oraz zidentyfikowała główne źródła zanieczyszczenia środowiska w procesach produkcji cementu; opracowano mapy rozproszenia pyłu, które umożliwiają ocenę efektywności ekologicznej oraz sprawdzenie optymalności założonych parametrów proponowanych procesów.

Zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego pod względem bezpieczeństwa dla ludzi jest pierwszym, głównie ze względu na fakt, że zanieczyszczenia powietrza mają największy wpływ na zdrowie: ludzie zużywają znacznie więcej dziennie i ogólnie do życia objętości powietrza niż wody i żywności (rys. 1). Ponadto toksyczne zanieczyszczenia powietrza wraz z opadami atmosferycznymi przedostają się do wód powierzchniowych i gleby, osadzają się na liściach i owocach roślin, gdzie trafiają również na człowieka. Cementownie znajdują się na liście przedsiębiorstw – główne zanieczyszczenia powietrza<sup>6</sup>.



Rysunek 1. Dynamika emisji najczęstszych zanieczyszczeń środowiska w obwodzie iwanofrankowskim

Dzisiaj IFCEM stosuje suchą metodę produkcji cementu, która zapewnia odpowiednio niską wilgotność w surowcach, w procesie technologicznym nie występuje etap odparowania wody z osadów, co znacznie zmniejsza

<sup>6</sup> Квашнин И. М. Промышленные выбросы в атмосферу. Инженерные расчеты и инвентаризация. М. : АВОК-ПРЕСС, 2005. 392 с.

energochłonność w porównaniu z metodą mokrą, a tym samym zmniejszenie emisji CO<sub>2</sub> i pyłu ze spalania paliw. W takich warunkach masa emitowanego drobnego pyłu wynosi 50-120 kg na 1 tonę klinkieru. Rozważ bardziej szczegółowo proces produkcji cementu.

Do przemysłowej produkcji cementu wykorzystuje się głównie niskotopliwe ły, argillit i łupki, które wchodzi w skład mieszanki cementowej. Głównymi składnikami chemicznymi potrzebnymi do produkcji cementu są wapień (CaCO<sub>3</sub> – zawartość w próbce 49,3%); krzemionka (SiO<sub>2</sub> – 15,02%); tlenek siarki – SO<sub>2</sub> – 9,4%, tlenki metali (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 9,2%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 1,4%, Na<sub>2</sub>O – 1,5%, K<sub>2</sub>O – 2,1%); metale ciężkie 0,35%; produkty kalcynacji 2,5%, inne niezidentyfikowane pierwiastki 6,9%.

Pierwszy składnik można znaleźć w wapieniu (lub kredzie), a pozostałe w glinie (margiel lub glina zwykła). Dlatego w pierwszej kolejności materiały te trzeba wydobywać ze złóż naturalnych, a następnie rozdrabniać i transportować do miejsca produkcji cementu. W metodzie suchej surowce (wapień i margiel) są kruszone i mieszane w kruszarko-suszarce, po czym są homogenizowane i umieszczane w silosie surowej mąki<sup>7</sup>. Wilgoć w surowcach jest usuwana za pomocą spalin z suchego pieca, co zmniejsza zużycie paliwa.

Aby uzyskać produkt końcowy, cement i klinkier muszą być ostatecznie zmielone na proszek w młynach cementowych, przy czym składniki mineralne, takie jak popiół lotny lub żużel, są dodawane do klinkieru i mielone razem w celu wytworzenia różnych rodzajów cementu. Odmowa wody i wykorzystanie spalin do dekarbonizacji w takich warunkach może zmniejszyć energochłonność suchego pieca o około 3,10 GJ na tonę klinkieru, co doprowadzi do znacznego zmniejszenia emisji CO<sub>2</sub> z samego zużycia paliwa<sup>8</sup>.

## 2. Wyniki badań źródeł drobnego pyłu

W procesie produkcji cementu powstaje tzw. pył przemysłowy, który z kolei jest bardzo niebezpieczny zarówno dla środowiska, jak i osób pracujących bezpośrednio przy tej produkcji.

---

<sup>7</sup> Рунова Р. Ф., Носовський Ю. Л. Технологія модифікованих будівельних розчинів. Київ : КНУБА, 2007. 256 с.

<sup>8</sup> Гринчишин Н. М., Савіцька І. О. Екологічні переваги виробництва цементу "сухим" способом. *Молодь у вирішенні екологічних та соціально-економічних проблем сьогодення: матер. Міжнар. конф., 15–20 жовт. 2012 р.* Кам'янець-Подільський, 2012. С. 10–11.

Głównymi źródłami pyłu dla cementowni są linie transportowe, które transportują surowce i wyroby gotowe, miejsca nasypu, załadunku i rozładunku, kruszarki, piece klinkierowe, młyny kulowe do mielenia klinkieru i inne. Linie przenośnikowe do transportu surowców sypkich (wapień) łączą kamieniołomy z kruszarniami cementowni. Głównymi czynnikami determinującymi zapylenie powietrza na terenach roboczych poszczególnych sekcji są prędkość wiatru oraz odległość surowców od kamieniołomu. Minimalna zawartość pyłu wynosi 7–10 g/tonę, a maksymalna 50–52 g/tonę. W hangarze bunkrowym podczas rozładunku surowców z wywrotki pył powietrzny przekracza 50-krotnie lub więcej najwyższe dopuszczalne stężenie (NDS), podczas podawania surowców sypkich do leja zasypowego z przenośników taśmowych stężenia pyłu sięgają 270–450 mg/m<sup>3</sup> i podczas całkowity rozładunek surowców – 1500 mg/m<sup>3</sup> i więcej, co znacznie przekracza NDS<sup>9</sup>. W metodzie produkcji suchej ilość suchych gazów pylistych usuwanych z pieców klinkierowych jest o 25–40% mniejsza niż w metodzie mokrej. Masa emitowanego drobnego pyłu wynosi 50–120 kg na 1 tonę klinkieru. Bębny suszące surowców i dodatków emitują pył, który charakteryzuje się dużą wilgotnością (temperatura punktu rosy dochodzi do 40–600 °C) oraz szerokim zakresem stężeń aerozoli (15–70 g/m<sup>3</sup>). Chłodnie z rusztem klinkierowym emitują 1,1–1,8 tony suchej mieszanki gazowo-powietrznej na 7 ton klinkieru, która zawiera 7–10 kg pyłu drobin klinkieru, który charakteryzuje się również dużą zawartością drobnych frakcji (80 % cząstek większych niż 5·10<sup>-6</sup> m). Porównując źródła zapylenia cementowni należy zauważyć, że ponad 80% pyłu emitowanego do atmosfery jest uwalniane przez piece obrotowe do wypału klinkieru.

Analiza rozkładu drobnego pyłu przemysłowego w głównych wydziałach cementowni wykazała, że najbardziej zapyłone są obszary, na których następuje rozładunek i załadunek wyrobów gotowych (rys. 2).

W celu określenia wpływu PJSC Ivano-Frankivskcement na środowisko przeprowadzono audyt środowiskowy oraz monitoring środowiskowy w obszarze oddziaływania przedsiębiorstwa. Charakterystykę źródeł emisji przedstawia tab. 1.

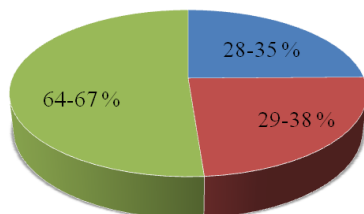
Aby znormalizować sanitarno-higieniczne warunki pracy na wskaźnik pyłu i ograniczyć maksymalne dopuszczalne emisje do środowiska,

---

<sup>9</sup> Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу. Державні санітарні норми та правила. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14#top>



konieczne jest opracowanie technicznych środków odpylania o skuteczności odpylania drobnych frakcji pyłowych na poziomie 97–99%.



- drobny pył uwalniany podczas transportu
- drobny pył, który dostaje się do atmosfery obszarów roboczych z kruszarek i pieców
- drobny pył, który przedostaje się do atmosfery miejsca pracy

**Rysunek 2. Zawartość drobnego pyłu cementowego ( $<10 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ ) w powietrzu cementowni**

Tabela 1

**Charakterystyka źródeł emisji substancji szkodliwych przy produkcji cementu (zakład przemysłowy we wsi Jamnica)<sup>10</sup>**

Źródło emisji	Ilość sztuk	Liczba godzin pracy w roku	Źródło emisji substancji szkodliwych (rura)		Parametry mieszanki gazowo-powietrznej na wylocie źródła		
			wysokość, m	średnica, m	prędkość, m/s	zasięg na godzinę, m <sup>3</sup> /s	Temperatura, °C
1	2	3	4	5	6	7	8
Kruszarka młotkowa CM 170 A	1	1842	20	0,5	7,51	1,502	20
Piec obrotowy nr 1	1	8139,3	82	2,3	22,72	95,95	160
Piec obrotowy nr 2	1	8138,6	82	2,3	22,72	95,95	160
Cementownia nr 1	1	6472,8	19	0,3	11,9	2,833	70
Cementownia nr 2	1	6523,2	19	0,3	11,8	2,812	70
Cementownia nr 3	1	6400	19,7	1,4	5,7	8,75	125
Cementownia nr 4	1	6400	19,7	1,4	5,7	8,75	121
Silisy cementowe 1, 2	2	6523,2	30	0,21	7,82	1,626	32

<sup>10</sup> Мищенко Л. В. Природно-техногенна безпека території західного регіону України. Монографія. За ред. О. М. Адаменка. Івано-Франківськ, 2014. 451 с.

Kontynuacja tabela 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Silisy cementowe 3, 4, 5	3	64129,2	30	0,21	7,8	1,617	32
Silisy cementowe 6, 7, 8	3	6419,7	30	0,21	7,81	1,624	32
Przenośnik klinkieru	2	8139,3	25	0,3	5,08	0,580	100
Zasobnik na cement	2	1820	30	0,21	8,1	1,62	32
Lej pompy cementu	2	5895	14	0,3	7,8	1,553	32
Piec obrotowy nr 3	1	7813	90	3,6	3,3	33,3	160
Przenośnik klinkieru	1	7813	25	0,3	7,2	0,51	115
Zasobnik na cement	1	2027	20	0,5	4	1,11	37
Skład klinkieru	1	8760	10	0,5	–	0,59	30

W celu ograniczenia uwalniania pyłu do atmosfery w cementowniach stosuje się następujące środki: osłonięcie miejsc o możliwym intensywnym zapyleniu, montaż filtrów workowych, elektrofiltrów, cyklonów, systemy wentylacji wyciągowej itp. Wszystkie urządzenia można podzielić na następujące główne typy: suche, mechaniczne; urządzenia z wykorzystaniem wody, urządzenia z wykorzystaniem filtrów oraz sprzęt kombinowany<sup>11</sup>. Zastosowanie urządzeń dowolnej grupy zapewnia wysoki stopień wychwytywania drobnego pyłu. Jednak przy wyborze tego sprzętu należy wziąć pod uwagę ich niedociągnięcia.

### 3. Omówienie wyników badań zespołów odpylających

Do odpylania używamy dziś instalacji dwustopniowej, w której pierwszym stopniem jest cyklon ЦН-11, a drugim – elektrofiltry lub filtry workowe z rękawami wykonanymi z hydrofobowego włókna szklanego. W każdym razie zadaniem jest zmaksymalizowanie wydajności cyklonu pierwszego stopnia oczyszczania tak, aby drugi stopień otrzymywał minimalną możliwą ilość pyłu. Istotną wadą ЦН-11 jest obecność wtórnego usuwania, co prowadzi do usunięcia już wyizolowanego i zgromadzonego w jego leju pyłu i zmieszania go ze strumieniem czystego powietrza. Takie urządzenia znajdują się obecnie w PJSC Ivano-Frankivskcement.

Zaproponowano wykonanie odpylacza do oczyszczania powietrza z pyłu cementowego, dlatego opracowano konstrukcję urządzeń, a mianowicie odpylacza z czyszczeniem wstępnym. W celu oceny możliwości zastosowania proponowanego odpylacza do oczyszczania

<sup>11</sup> Гічов Ю. О. Очищення газів. Ч. 1: Конспект лекцій. Дніпропетровськ : НМетАУ, 2015. 51с.

powietrza w przemyśle cementowym, a także porównania tej konstrukcji urządzeń z istniejącymi urządzeniami, badania eksperymentalne podzielono na pewne etapy.

Badania odpylaczy prowadzono według metody porównawczej, tj. badano urządzenia o różnej konstrukcji w tych samych warunkach, czyli przy tych samych kosztach energii i powietrza, badano ich sprawność i opory hydrauliczne.

Aby ocenić skuteczność stworzonych przez nas odpylaczy, wśród najczęściej spotykanych urządzeń odpylających, przeprowadziliśmy analizę porównawczą ich skuteczności w odpylaniu oraz oporów hydraulicznych.

Badania prowadzono początkowo dla modelu aparatu odśrodkowo-bezładnościowego – aparatu podstawowego, który zbudowano w programie CAD SolidWorks, w oparciu o model matematyczny opisujący ruch pyłu i przepływ powietrza przy niskich liczbach Reynoldsa  $Re < 2300$ <sup>12</sup>. Uważano, że ściany odpylacza są adiabatyczne<sup>13</sup>. Strumień powietrza wchodzi do odpylacza przez rurę wlotową z prędkością 18 m/s. Ciśnienie statyczne – 101 kPa. Temperatura zasilania wynosi 293 K.

Opracowano trzy typy konstrukcji urządzeń odpylających, których wyniki przedstawiono na rys. 3.

Wydajność odpylacza z wymiennikiem ciepła wynosi 93,3%, a opór hydrauliczny 688,5 Pa, przy przepływie powietrza 3000 m<sup>3</sup>/h. Wydajność urządzenia z czyszczeniem wstępnym sięga 98,55%, przy natężeniu przepływu powietrza 3000 m<sup>3</sup>/h i oporach hydraulicznych 668,5 Pa. Porównując otrzymane zależności z wynikami badań aparatu podstawowego (sprawność wychwytywania 86,45%, opór hydrauliczny 811 Pa) stwierdzono, że proponowana konstrukcja odpylacza zwiększyła sprawność pyłu cementowego o 12,1% i zmniejszyła opór hydrauliczny o 142,5 Pa i doprowadzenie emisji drobnych frakcji do maksymalnych limitów stężeń.

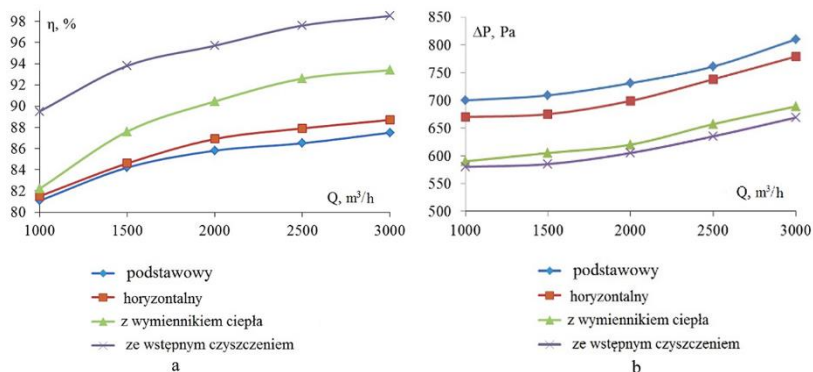
Szczególnie ważnym zadaniem w zakresie bezpieczeństwa środowiska jest prognozowanie zanieczyszczenia powietrza substancjami

---

<sup>12</sup> Батлук В. А., Басов М. В., Параняк Н. М. Математична модель руху зважених частинок у закручених потоках. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокоористування*. Івано-Франківськ. 2012. № 2(6). С. 96–101.

<sup>13</sup> Batluk V., Paranyak N. Building a performance factors model for a new design dust collector. *Econtechmod. An international quarterly journal on economics of technology and modelling processes*. Lublin–Lviv–Cracow. 2012. Vol. 1. № 3. P. 3–8.

szkodliwymi w istniejących gałęziach przemysłu<sup>14</sup>. Rozwiązanie tego problemu umożliwi opracowanie środków ochronnych. Na szczególną uwagę zasługuje pył drobny, który ma bardziej negatywny wpływ na organizmy żywe i ogólnie środowisko, a także rozprzestrzenia się poza SPZ przedsiębiorstw.



**Rysunek 3. Zależności porównawcze badań oferowanych urządzeń odpylających od wydatków na powietrze: a – zależności skuteczności wyłapywania; b – zależność oporu hydraulicznego przepływu pyłu**

Jedną z głównych metod dostarczanych przez normy ukraińskie jest metoda modelowania<sup>15</sup>.

Do wyznaczenia strefy ochrony sanitarnej wykorzystuje się wyniki eksperymentów modelowych. Model służy do obliczania odległości, przy której stężenia substancji szkodliwych będą niższe niż stanowe poziomy regulacyjne, wyznaczając tym samym granicę geograficzną strefy ochrony sanitarnej. W modelu zastosowano uproszczony opis rozproszenia substancji szkodliwych oraz ograniczoną ilość informacji meteorologicznych charakterystycznych dla danego obszaru.

<sup>14</sup> Batluk V., Romanzov E., Paranyak N. The problem of highly effective cleaning of air from dust. *Econtechmod. An international quarterly journal on economics of technology and modelling processes*. Lublin – Lviv – Cracow. 2012. Vol. 1. № 1. P. 9–12.

<sup>15</sup> Порядок визначення величин фонових концентрацій забруднювальних речовин в атмосферному повітрі. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0700-01#Text>

Obliczenia rozproszenia substancji szkodliwych w powietrzu wykonano dla stanowiska w obliczonych prostokątach o wymiarach boku 500 m na 500 m i skoku obliczonej siatki 50 m.

Substancją szkodliwą w tym przypadku jest pył cementowy (maksymalne pojedyncze stężenie graniczne to  $6 \text{ mg/m}^3$ ).

Podczas obliczeń rozproszenia wzięto pod uwagę następujące cechy:

- charakterystyka klimatyczna każdego osiedla, gdzie średnia temperatura najcieplejszego miesiąca w roku, średnia temperatura najzimniejszego miesiąca w roku, prędkość wiatru, którego powtarzalność w ciągu roku przekracza 5%, regionalny współczynnik stratyfikacji atmosfery (stabilność) i prawdopodobieństwo powtórzenia się kierunków wiatrów;

- zanieczyszczenie tła powietrza osady, gdzie zanieczyszczenie tła wynosi 0,4 części maksymalnego dopuszczalnego stężenia (NDS) dla tej substancji.

Tabela 2

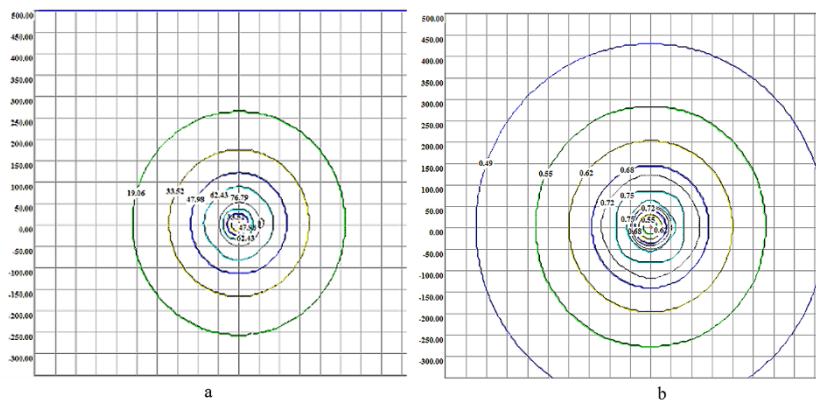
**Obliczenia parametrów danych do budowy map rozproszenia  
pyłu cementowego**

Specyfikacje	System oczyszczania pyłu cementowego	
	Cyklon IQH-11	Instalacja odpylania
Moc emisji, kg/dobę	251,1	27,49
Zdolność emisyjna na rok, t/rok	91,652	10,034
Część najwyższego dopuszczalnego stężenia	2,1493	0,4969
Zużycie mieszanki pyłowo-gazowej, $\text{m}^3/\text{h}$	3000	3000
Wysokość źródła emisji, $10^{-3}\text{m}$	1200	825
Średnica źródła emisji, $10^{-3}\text{m}$	1000	432
Temperatura, $^{\circ}\text{C}$ przed czyszczeniem	950	950
Temperatura, $^{\circ}\text{C}$ po czyszczeniu	700	200
Stężenie pyłu przed czyszczeniem, $\text{mg}/\text{m}^3$	45	45
Stężenie pyłu po czyszczeniu, $\text{mg}/\text{m}^3$	6,07	0,68

Wprowadzenie odpylaczy o proponowanej konstrukcji do oczyszczania emisji z węzłów układu transportu surowców linii technologicznej nr 3 pozwoliło jedynie poprzez wymianę istniejących odpylaczy (cyklonów IQH-11) na zwiększenie skuteczności odpylania z 86,45 % do 98,55%, zmniejszając opór hydrauliczny z 811 Pa do 668,5 Pa. W związku z powyższym można stwierdzić, że zainstalowanie nowych odpylaczy na tych źródłach emisji, w porównaniu

z dotychczasowymi urządzeniami do obróbki, znacząco zmniejszy stężenia powierzchniowe i emisje pyłu cementowego, co poprawi środowisko osadnictwa w obszarze produkcji cementu<sup>16</sup>.

W celu oceny wpływu emisji z cementowni na środowisko wykonano mapy rozproszenia pyłu przed i po realizacji zaproponowanego przez nas projektu odpylacza (rys. 4).



**Rysunek 4. Mapa rozproszenia pyłu cementowego w PJSC Ivano-Frankivskcement, mg/m<sup>3</sup>: a) wyposażony w cyklon ЦН-11; b) po wykonaniu proponowanego projektu odpylacza**

Skonstruowano mapy rozproszenia pyłu, których analiza wykazała, że dla wszystkich źródeł emisji wyposażonych w odpylacze ЦН-11 przekroczono NDS dla pyłu, przy czym stężenia maksymalne wynoszą 2,149 części stężenia granicznego maksymalnego. W przypadku źródeł emisji wyposażonych w rozbudowane odpylacze, przekroczenia NDS nie są obserwowane w żadnym miejscu osiedla.

Badania wdrożonych instalacji wykonano przy użyciu nowoczesnego sprzętu laboratoryjnego, ich wyniki są zgodne z ogólnie przyjętymi wyobrażeniami o charakterze procesów zachodzących w odśrodkowych urządzeniach bezwładnościowych.

<sup>16</sup> Батлук В.А., Параняк Н.М., Сукач Р.Ю. Один із шляхів вирішення екологічних проблем у галузі охорони атмосферного повітря. *Промислова гідраліка і пневматика*. Вінниця. Вип. (3) 37. 2012. С. 3–7.

## **WNIOSKI**

Na podstawie monitoringu wpływu przemysłu cementowego na środowisko uzasadniona jest konieczność ulepszenia urządzeń odpylających w celu ograniczenia negatywnego wpływu na środowisko. Obecnie alternatywą jest ulepszenie istniejących struktur odpylania poprzez połączenie kilku etapów oczyszczania, które mogą bardzo skutecznie wychwytywać drobne frakcje pyłu w celu spełnienia wymagań prawnych dotyczących jakości powietrza.

Zbadano charakterystykę pyłu jako czynnika powstawania zagrożeń środowiskowych związanych z produkcją cementu w warunkach konkretnego obiektu PJSC Iwano-Frankivskcement.

Pokazano ekologiczną celowość reorganizacji tradycyjnych schematów odpylania poprzez zastąpienie istniejących cyklonów ЦН-11 opracowanymi odpylaczami nowej konstrukcji. Perspektywa wprowadzenia takich konstrukcji odpylających w podobnych przedsiębiorstwach pozwoli na ograniczenie emisji drobnych pyłów do środowiska, co wpłynie na poprawę sytuacji środowiskowej na terenach, na których zlokalizowane są te branże.

Przedstawiona analiza map rozproszenia substancji szkodliwych w powierzchniowej warstwie powietrza atmosferycznego dowodzi zastosowania tego sprzętu, ponieważ przy jego użyciu nie obserwuje się przekraczania najwyższe dopuszczalne stężenie na terenie przedsiębiorstwa.

Obecną sytuację ekologiczną w obwodzie iwanofrankowskim można uznać za zadowalającą, biorąc pod uwagę zmniejszenie w ostatnich latach antropogenicznego i spowodowanego działalnością człowieka obciążenia środowiska oraz wdrożenie szeregu środków środowiskowych.

## **ABSTRAKT**

W pracy podjęto problematykę ograniczania zanieczyszczenia powietrza w pobliżu cementowni, zwłaszcza zlokalizowanych w miastach. Przeprowadzono monitoring wpływu działalności przedsiębiorstw przemysłu cementowego na środowisko. Uzasadniona jest konieczność ulepszenia urządzeń odpylających w celu zmniejszenia negatywnego wpływu na środowisko. Rozważono istniejące instalacje odpylające na przykładzie PJSC Ivano-Frankivskcement. Stwierdzono, że największym problemem emisji do powietrza jest drobny pył. Proponowane są zaawansowane typy odpylaczy. Podano mapy zanieczyszczeń przed i po instalacji oczyszczalni pyłów. Obecną sytuację

środowiskową w obwodzie iwanofrankowskim można uznać za zadowalającą.

### Literatura

1. The Global Goals. URL: <https://www.globalgoals.org/>
2. Стан забруднення природного середовища на території України. URL: [http://cgo-sreznevskyi.kyiv.ua/index.php?fn=u\\_zabrud&f=ukraine](http://cgo-sreznevskyi.kyiv.ua/index.php?fn=u_zabrud&f=ukraine)
3. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2020 році. URL: <https://mepr.gov.ua/news/38840.html>
4. Основні засади (стратегія) державної екологічної політики України на період до 2030 року. Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text>
5. Ishii R. Motion of small particles in a gas flow. *Phys. Fluids*. 1984. № 1. P. 33–41.
6. Квашнин И. М. Промышленные выбросы в атмосферу. Инженерные расчеты и инвентаризация. М. : АВОК-ПРЕСС, 2005. 392 с.
7. Рунова Р. Ф., Носовський Ю. Л. Технологія модифікованих будівельних розчинів. К. : КНУБА, 2007. 256 с.
8. Гринчишин Н. М., Савіцька І. О. Екологічні переваги виробництва цементу «сухим» способом. *Молодь у вирішенні екологічних та соціально-економічних проблем сьогодні: матер. Міжнар. конф., 15–20.10.2012*. Кам'янець-Подільський, 2012. С. 10–11.
9. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу. Державні санітарні норми та правила. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14#top>
10. Міщенко Л. В. Природно – техногенна безпека території західного регіону України. Монографія. За ред. О. М. Адаменка. Івано-Франківськ, 2014. 451 с.
11. Гічов Ю. О. Очищення газів. Ч.1: Конспект лекцій. Дніпропетровськ : НМетАУ, 2015. 51с.
12. Батлук В. А., Басов М. В., Параняк Н. М. Математична модель руху зважених частинок у закручених потоках. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. Івано-Франківськ. 2012. № 2(6). С. 96–101.
13. Batluk V., Paranyak N. Building a performance factors model for a new design dust collector. *Econtechmod. An international quarterly*



*journal on economics of technology and modelling processes*. Lublin – Lviv – Cracow. 2012. Vol. 1. № 3. P. 3–8.

14. Batluk V., Romanzov E., Paranyak N. The problem of highly effective cleaning of air from dust. *Econtechmod. An international quarterly journal on economics of technology and modelling processes*. Lublin – Lviv – Cracow. 2012. Vol. 1. № 1. P. 9–12.

15. Порядок визначення величин фонових концентрацій забруднювальних речовин в атмосферному повітрі. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0700-01#Text>

16. Батлук В. А., Параняк Н. М., Сукач Р. Ю. Один із шляхів вирішення екологічних проблем у галузі охорони атмосферного повітря. *Промислова гідраліка і пневматика*. Вінниця. Вип. (3)37. 2012. С. 3–7.

**Information about the authors:**

**Paraniak Nadiia Mykhailivna,**

Candidate of Technical Sciences,

Associate Professor at the Department of Civil Safety

Lviv Polytechnic National University

12, Bandera Str., Lviv, 79013, Ukraine

**Datsko Oleksandra Serhiivna,**

Candidate of Technical Sciences,

Associate Professor at the Department of Civil Safety

Lviv Polytechnic National University

12, Bandera Str., Lviv, 79013, Ukraine

**ХАРАКТЕРИСТИКА ВИПАДКІВ МАСОВОГО  
РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ВІДКЛАДЕНЬ ОЖЕЛЕДІ  
НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ У МІСЯЦІ ХОЛОДНОГО ПЕРІОДУ  
РОКУ ТА ОКРЕМІ МІСЯЦІ ПЕРЕХІДНИХ СЕЗОНІВ  
ПО ДЕСЯТИРІЧЧЯХ ПЕРІОДУ 1991–2020 рр.**

**Пясецька С. І.**

**ВСТУП**

Відкладення ожеледі на території України є одним з видів ожеледо-паморозових явищ на території України протягом місяців холодного періоду року та визнано одним з найбільш небезпечних серед них. Саме такі відкладення здебільшого сприяють створенню несприятливих умов для об'єктів господарювання, а в ряді випадків навіть призводять до виникнення аварійних ситуацій на окремих видах виробництва призводячи до істотних економічних втрат. До виникнення найбільш серйозних ситуацій із розповсюдженням відкладень ожеледі відносять випадки їх масового поширення на значній території. Досить імовірно, що саме під час таких відкладень можуть створюватись передумови для поширення також значних (небезпечних) та стихійних випадків з них. Ця проблема також підлягає окремому дослідженню, особливо зважаючи на використання отриманих результатів для цілей коротко- та середньострокового прогнозування виникнення небезпечних погодних явищ.

Актуальність проведення даного дослідження обумовлена тенденцією до збільшення несприятливих погодних явищ протягом холодного періоду року, які пов'язані зі змінами клімату у зв'язку із триваючим потеплінням та різкими змінами погодних умов у ряді регіонів. Результати проведеного дослідження дають підґрунтя для з'ясування передумов та особливостей розповсюдження масових відкладень ожеледі на території України. Виявлені випадки масового характеру розповсюдження відкладень ожеледі у подальшому можуть дати змогу більш чітко визначити повторюваність ряду синоптичних ситуацій, які сприяли цьому та класифікувати їх для визначення типів процесів, що є найбільш сприятливими для виникнення відкладень ожеледі на сучасному етапі зміни клімату.

Натепер найбільш прогресивним методом прогнозування різних погодних явищ є використання гідростатичних моделей типу WRF-ARW із різним налаштуванням в залежності від завдань, які необхідно вирішити.

Фундаментальні дослідження відкладень ожеледі в Україні розпочато О. М. Раєвським<sup>1</sup> та низкою інших дослідників УкрГМІ (М. М. Волеваха, М. М. Прохоренко) та ОДЕКУ (колишні Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут, м. Київ та Одеський гідрометеорологічний інститут м. Одеса). Цими дослідженнями було встановлено особливості розподілу ожеледо-паморозевих відкладень, зокрема ожеледі на території України згідно типам рельєфу та стали основою для типізації форм рельєфу за окремими видами відкладень льоду. У подальшому напрацьована інформація стосовно різних видів ожеледо-паморозевих відкладень лягла в основу низки докладних монографій<sup>2</sup> відносно кліматичних особливостей території України і зокрема розподілу ряду ожеледо-паморозевих відкладень на її території протягом окремих проміжків часу. Разом з тим було досліджено і найбільш значні прояви окремих погодних явищ в тому числі і холодного періоду року<sup>3</sup>. Моніторинг несприятливих та небезпечних метеорологічних явищ та процесів включає у собі регулярні спостереження за станом метеорологічних

---

<sup>1</sup> Раевский А. Н. К вопросу о повторяемости гололеда. Метеорология и гидрология. 1953. № 1. С. 28–31; Раевский А. Н. Влияние рельефа на распределение гололеда на территории Украины. Труды УкрНИГМИ. 1961. Вып. 29. С. 50–62; Прохоренко М. М., Раевский А. Н. Особенности распределения гололедно-изморозевых отложений на территории Украины в аномальные зимы. Метеорология, климатология и гидрология, 1975. Вып. 11. С. 33–37

<sup>2</sup> Климат Украины [Монографія] / Под ред. Г. Ф. Прихотько, А. В. Ткаченко, В. Н. Бабиченко. Л. : Гидрометеиздат, 1967. 413 с.; Природа Украинской ССР. Климат [Монографія] / Под ред. К. Т. Логвинова, М. И. Щербаня. К. : Наукова думка, 1984. 231 с.; Клімат України [Монографія] / За ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. К. : Вид-во Раєвського, 2003. 343 с.

<sup>3</sup> Опасные явления погоды на Украине [Монографія] / Под ред. К. Т. Логвинова. Труды УкрНИГМИ. 1972. Вып. 110. 235 с.; Стихийные метеорологические явления на Украине и Молдавии [Монографія] / Под ред. В. Н. Бабиченко. Л. : Гидрометеиздат, 1991. 223 с.; Стихийні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986–2005 рр.) [Монографія] / За ред. В. М. Ліпінського, В. І. Осадчого, В. М. Бабіченко. К. : Вид-во Ніка-Центр, 2006. 311 с.

явищ та процесів, їх кількісні та якісні показники із подальшим збереженням та обробки даних про них. Разом із моніторингом у світі досить широко розглядається прогноз стану небезпеки явищ, виникнення яких може очікуватись на певній території у окремому інтервалі часу<sup>4</sup>. За розробленими «Настановами...», Керівними документами...» та «Інструкціями...»<sup>5</sup> відкладення ожеледі утворюються при приземній температурі повітря  $-3... +0,5$  °С (або навіть при  $-8...-10$  °С), при цьому на поверхні 850 гПа температура повітря може становити  $-5,0...+5,0$  °С. Її відкладення виникають за умов випадіння переохолодженого дощу, мряки, щільного та тривалого туману або серпанку, а у окремих випадках за наявності низької шаруватої хмарності та інверсії (здебільшого у прикордонному шарі повітря знаходиться осередок теплого повітря на поверхні 850 гПа). Відкладення ожеледі, випадіння переохолоджених опадів та інші види наземного зледеніння можуть спостерігатись переважно в інтервалі температур  $-5,0...-10$  °С та вологості більше 85 %. На сучасному етапі зміни клімату, який характеризується різкими погодними змінами, що найбільш чітко проявляються у холодному періоді року на території багатьох країн спостерігається збільшення повторюваності окремих погодних явищ, зокрема ожеледо-паморозевих відкладень. Це було доведено дослідженнями ВНИГМИ-МЦД та ГГО<sup>6</sup> на прикладі даних періоду

---

<sup>4</sup> Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование опасных метеорологических явлений и процессов. Государственный стандарт Республики Беларусь. СТБ. 1406-2003 (ГОСТ Р 22.1.07-99). 15 с.

<sup>5</sup> Настава по службі прогнозів та попереджень про небезпечні і стихійні явища погоди. КД 52.4.3.01-03. Державна гідрометеорологічна служба. Київ. 2003. 30 с.; Настава з гідрометеорологічного прогнозування. Нормативний документ. Київ, 2019. 35 с.; Настава гідрометеорологічним станціям і постам. Випуск 3. Частина 1. Метеорологічні спостереження на станціях. Керівний документ Державна гідрометеорологічна служба. Київ, 2011. 279 с.; Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Ч. 1. Л.; Гидрометеоздат. 1986. 702 с.; Инструкция по подготовке к работе в зимний период и организации снегоборьбы на железных дорогах, в других филиалах и структурных подразделениях ОАО «РЖД», а также его дочерних и зависимых обществах. Вагоны и вагонное хозяйство. Изд-во Российские железные дороги. М. : 2014. № 3(39). С. 14–22.

<sup>6</sup> Аржанова Н. М., Булыгина О. Н., Коршунова Н. Н. Специализированный массив данных гололедно-изморозевых явлений для мониторинга климата и климатических исследований. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 182. С. 101–111; Аржанова Н. М., Коршунова Н.Н. Характеристики гололедно-изморозевых явлений на территории России в условиях современных изменений климата. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2019. Вып. 184. С. 33–44; Аржанова Н. М.,

1984–2018 рр., причому протягом 2017–2018 рр. спостерігались найбільші додатні аномалії максимальної кількості днів із ожеледо-паморозевими утвореннями. Зацікавленість у дослідженнях стосовно окремих видів ожеледо-паморозевих відкладень постерігається у ряді країн – сусідів, наприклад у Білорусі.

Треба додати, що ожеледні аварії одні з найтяжчих в енергетичній галузі. Дуже часто вони мають масовий характер, тому що ожеледні відкладення утворюються на території декількох енергосистем, що призводить до масштабних відключень споживачів<sup>7</sup>.

Зважаючи на вищевикладене та спираючись на результати попередніх досліджень можна виділити ряд проблем, які раніше не було досліджено та висвітлено у дослідницьких роботах попередників.

Тому метою даного дослідження було:

1. Встановити динаміку кількості випадків масового відкладення ожеледі на території України у місяці холодного періоду року протягом років окремих десятиріч починаючи з 1991 р. до 2020 р. та по досліджуванім десятиріччям взагалі, враховуючи усі з визначених місяців (листопад – березень);

2. З'ясувати особливості випадків масового розповсюдження таких відкладень по окремих місяцях холодного періоду року за кількістю станцій та областей на території яких вони спостерігались;

3. Визначити повторюваність окремих градацій досліджуваних елементів (кількість станцій та областей) для випадків (дат) масових відкладень ожеледі на території України для з'ясування фактичного стану цього явища.

Проведене дослідження безпосередньо пов'язане із виконанням науково-дослідної теми тематичного плану Українського гідрометеорологічного інституту ДСНС України та НАН України – 2/21 «Розроблення та вдосконалення методів коротко- і середньострокового прогнозування небезпечних та стихійних метеорологічних явищ на основі сучасних чисельних моделей» (номер

---

Коршунова Н. Н. Мониторинг характеристик гололедно-изморозевых отложений на территории России в холодный сезон 2017–2018 годов. Труды ГГО. 2020. Вып. 597. С. 90–103; Гледко Ю. А., Бережкова Е. С. Анализ метеорологической обстановки в условиях обледенения и гололеда. География. Геология. БГУ. 2020. Вып. 2. С. 14–25.

<sup>7</sup> Минуллин Р.Г., Губарев Д.Ф. Обнаружение гололедных образований на линиях электропередачи локационным зондированием. Казань. 2010. 209 с.

державної реєстрації 0121U108954). Початок роботи з дослідження масового характеру розповсюдження відкладень ожеледі на території України було викладено у ряді робіт автора<sup>8</sup>

Висхідним матеріалом для дослідження було обрано дані спостережень за ожеледо-паморозевими відкладеннями на стандартному ожеледному станку який встановлено на метеорологічних станціях України, у місяці холодного періоду року протягом окремих трьох десятиріч 1991–2000, 2001–2010 та 2011–2020 рр., Інформацію спостережень розміщено у відповідних таблицях Метеорологічних щорічників (Вип. 10, Ч. II. Україна), що зберігаються у відділі Державного галузевого архіву Центральної геофізичної обсерваторії (ЦГО) імені Бориса Срезневського у Києві. Основним методом обробки даних був фізико-статистичний, який дозволив узагальнити фактичний матеріал спостережень для його подальшого аналізу та висновків.

За випадок масового розповсюдження відкладень ожеледі приймалась дата коли такі відкладення спостерігались не менш ніж на 10 станціях та за охопленням території не менше ніж у 2-х областях одночасно. Спостереження проводились за відкладеннями ожеледі на стандартному ожеледному станку (інструментальні спостереження). Залучено дані усіх станцій України – 187 протягом періодів 1991–2000 та 2001–2010 рр., за винятком у 2001–2020 рр. (з січня 2015 р.) даних з 5 станцій на Донеччині та Луганщині та 23 станції на території АР Крим.

---

<sup>8</sup> Пясецька С. І. Характер масового розповсюдження відкладень ожеледі на території України в останнє двадцятиріччя протягом 2001–2010 та 2011–2020 рр. Матеріали міжнародної наукової конференції Перспективи дослідження Землі: поточний стан та раціональне використання ресурсів. 28–29 грудня 2021 р. м. Люблін, Республіка Польща [Prospects for Earth exploration: current state and rational use of resources. Lublin, Republic of Poland. December 28–29. 2021]. С. 82–86. DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-183-1-22>. Пясецька С. І. Особливості розповсюдження масових випадків відкладень ожеледі, налипання мокрого снігу та складних відкладень категорії НЯ (небезпечної) та СГЯ (стихійної) на території України протягом останнього десятиріччя 2011–2020 рр. [Коллективна монографія]. Нові імпульси розвитку природничих наук в Україні та країн ЄС. [New impulses for the development of natural sciences in Ukraine and EU countries. Wloclawek, 2021]. С. 135–163. DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-141-1-6>

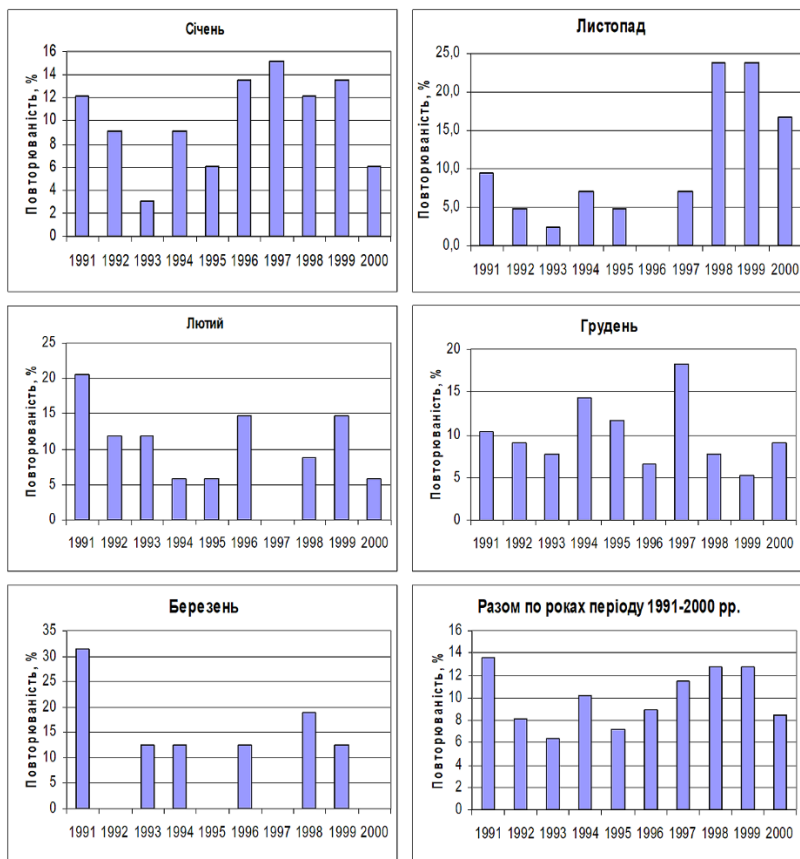
## **1. Відкладення ожеледі масового характеру протягом 1991–2000 рр.**

У першому з досліджуваних десятиріч 1991–2000 рр. встановлено 235 випадків (дат) масового розповсюдження відкладень ожеледі на території України. Досить часто таакі випадки спостерігались у січні, листопаді та грудні цього періоду, що відповідно становило 28,1; 17,9 та 32,8 % від його загалу. У лютому та березні таких випадків було значно менше, їх повторюваність становила 14,5 та 6,8 % відповідно. У квітні та жовтні протягом років цього періоду таких випадків не спостерігалось. Дослідження розподілу випадків масового характеру розповсюдження відкладень ожеледі по території України протягом окремих років показало, що досить часто їх було від 2 до 5–6. Проте, у ряді місяців в досліджуваних роках кількість таких випадків була більшою. Розподіл повтрюваності таких випадків по роках досліджуваного періоду по окремих місяцях відображено на рисунку 1. Так, у січні 1991 та 1998 рр. їх було 8 (12,1 %), 1996 та 1999 рр. – 9 (13,6 %), 1997 р. – 10 (15,2 %). У лютому цього періоду у 1991 р – їх було 7 (20,6 %). У листопаді 1991–2000 рр. років із більшою кількістю таких випадків було 3 – 1998 та 1999 рр. – 10 (по 23,8 % кожний) та у 2000 р. – 7 (16,7 %). У грудні кількість таких випадків збільшилась до 6, а саме у 1991 р. – 8 (10,4 %), 1992 р. – 7 (9,1 %), 1994 р. – 11 (14,3 %), 1995 р. – 9 (11,7 %), 1997 р. – 14 (18,2 %), 2000 р. – 7 (9,1 %). Встановлено, що найбільш визначними за кількістю випадків масового розповсюдження відкладень ожеледі виявилися роки: 1991 р. – 32 випадки (13,6 %) за рахунок січні, лютого та грудня, 1997 р. – 27 випадків (11,5 %), 1998 та 1999 рр. – 30 випадків (по 12,8 % кожний).

Для більш детальної характеристики випадків масового розповсюдження відкладень ожеледі протягом цього десятиріччя було проаналізовано кількість станцій на яких у ці дати спостерігались такі відкладення. Результати дослідження представлено на рисунку 2.

Було встановлено, що здебільшого у дати масового розповсюдження відкладень ожеледі вони спостерігались від 11 до 15 станціях або від 16 до 20. Так, у січні повторюваність становила відповідно 39,4 та 21,2 %, у лютому – 38,2 та 23,5 %, грудні 26,0 та 23,4 %. Дещо інша картина спостерігається у березні та листопаді. Так, у березні найбільша повторюваність спостерігається у градаціях  $\leq 10$  станцій (31,3 %) та 16–20 (43,8 %), а у листопаді у градації 11–15 (28,6 %) та 21–25 (19,0 %). Загалом за усі з досліджуваних

місяців періоду одночасно такі відкладення спостерігаються у градаціях 11–15 та 16–20 станцій, що відповідно становить 31,5 та 22,5 % від загалу.

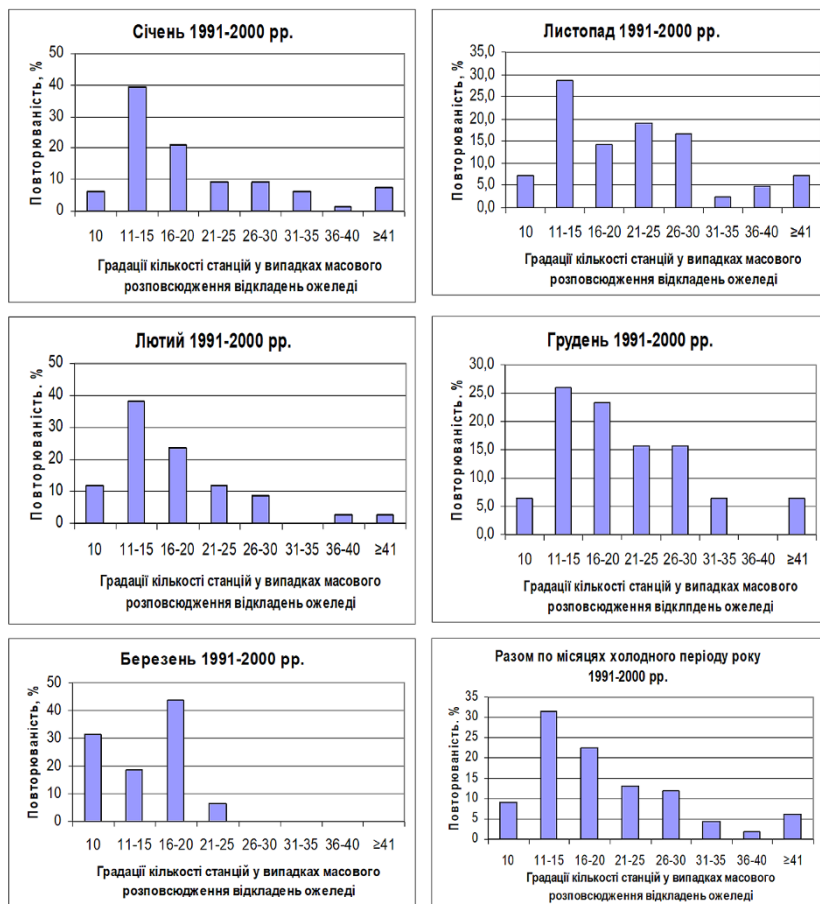


**Рис. 1. Повторюваність випадків масового відкладення ожеледі у місяці холодного періоду року та окремі місяці перехідних сезонів протягом 1991–2000 рр. (У квітні та жовтні зазначеного періоду випадків масового розповсюдження відкладень ожеледі не спостерігалось)**

Стосовно кількості областей на яких одночасно (в одну дату) на станціях спостерігались відкладення ожеледі можна сказати, що переважно такі відкладення спостерігались здебільшого на території 5–6 або 7–8 областей, проте для окремих місяців цей розподіл може



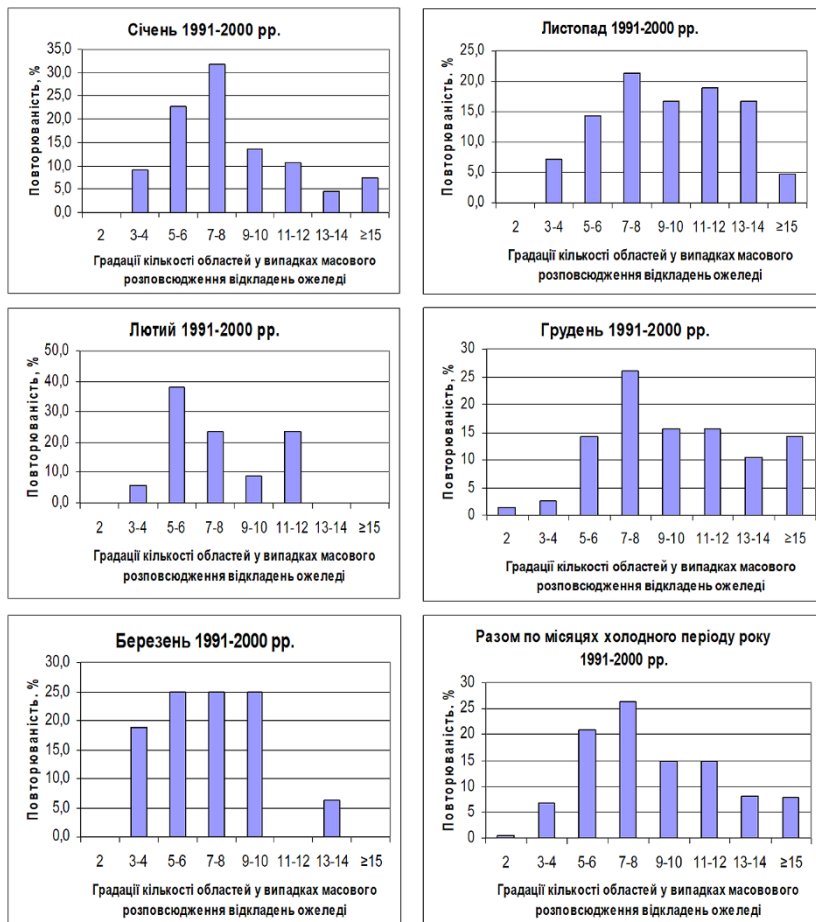
дещо відрізняться. Результати дослідження візуалізовано на рисунку 3.



**Рис. 2. Повторюваність кількості станцій у випадках масового розповсюдження відкладень ожеледі по місяцях холодного періоду року та окремих місяцях перехідних сезонів протягом 1991–2000 рр. (У квітні та жовтні зазначеного періоду випадків масового розповсюдження відкладень ожеледі не спостерігалось)**

Так, у січні цього періоду найбільша повторюваність належить градаціям 5–6 та 7–8 областей, що відповідно становило 22,7 та 31,8%. У лютому ситуація була дещо інша – найбільша

повторюваність належить декільком градаціям, а саме 5–6 станцій (38,2 %), 7–8 та 9–10 станцій по 23,5 %. У березні – переважає повторюваність градацій 5–6; 7–8 та 9–10 станцій – відповідно по 25,0 % кожна.



**Рис. 3. Повторюваність кількості областей у випадках масового розповсюдження відкладень ожеледі по місяцях холодного періоду року та окремих місяцях перехідних сезонів протягом 1991-2000 рр. (У квітні та жовтні зазначеного періоду випадків масового розповсюдження відкладень ожеледі не спостерігалось)**

У листопаді найбільші повторюваності відносяться до градацій від 7–8 до 13–14 областей, що відповідно становить – 21,4; 16,7; 19,0 та 16,7 %. У грудні найбільша повторюваність становила 26,0 % у градації 7-8 областей, але крім того досить істотні повторюваності спостерігались у градаціях 5–6; 9–10; 11–12 та  $\geq 15$  областей, які становили від 14,3 до 15,6 %. Загалом, враховуючи усі з досліджуваних місяців періоду 1991–2000 рр. найчастіше відкладення ожеледі при їх масовому розповсюдженні одночасно сапостерігались на території 5–6, або 7–8 областей, що відповідно становило 20,9 та 26,4 % відповідно. Крім того можна відмітити, що повторюваність градацій кількості станцій 9–10 та 11–12 також виділяється серед інших градацій і становить 14,9 % на кожну з них.

Враховуючи, що протягом 1991–2000 рр. було встановлено що існують випадки, коли кількість станцій, яка в одну дату спостерігала відкладення ожеледі могла суттєво перевищити 40, додатково було проаналізовано повторюваність кількості станцій по градаціям, які включають у собі по 10 станцій кожна, від градації 10–19 станцій до  $\geq 70$ . Це додатково дає інформацію про особливості стану випадків масового розповсюдження відкладень ожеледі на території України. Треба зазначити, що здебільшого у випадках масового розповсюдження таких відкладень на території України такі відкладення можуть спостерігатись на 10–19 станціях або 20–29 одночасно. Їх повторюваність по цих градаціях у досліджувані місяці становить відповідно у січні 66,7 та 18,2 %; лютому 73,5 та 20,6 %, березні 75,0 та 25,0 %; листопаді 50,0 та 35,7 %; грудні 54,5 та 28,6 %. Загалом, враховуючи усі досліджувані місяці на згадані вище градації припадає 61,3 та 25,5 %, що разом становить 86,8 %. На решту градацій припадає значно менше випадків. Їх повторюваність дещо різниться для кожного з досліджуваних місяців. Так, наприклад повторюваність градації 30–39 станцій, які одночасно спостерігають відкладення ожеледі повторюваність становила у січні 6,1 %; лютому – 2,9 %; листопаді – 7,1 %; грудні – 10,4 %. Повторюваність інших, більш значних градацій, значно менша і становить від 1,3 % у грудні до 4,8 % у листопаді для градації 40–49 станцій. Для градації 50–59 станцій повторюваність становила від – 3,0 % до 3,9 % у грудні. Крім того протягом цього десятиріччя спостерігалось 2 випадки (1 у січні, інший у грудні) коли кількість станцій, які спостерігали такі відкладення були ще більшими – 24.01.1991 р. – 69 станцій та 5.12.1998 р. – 72.

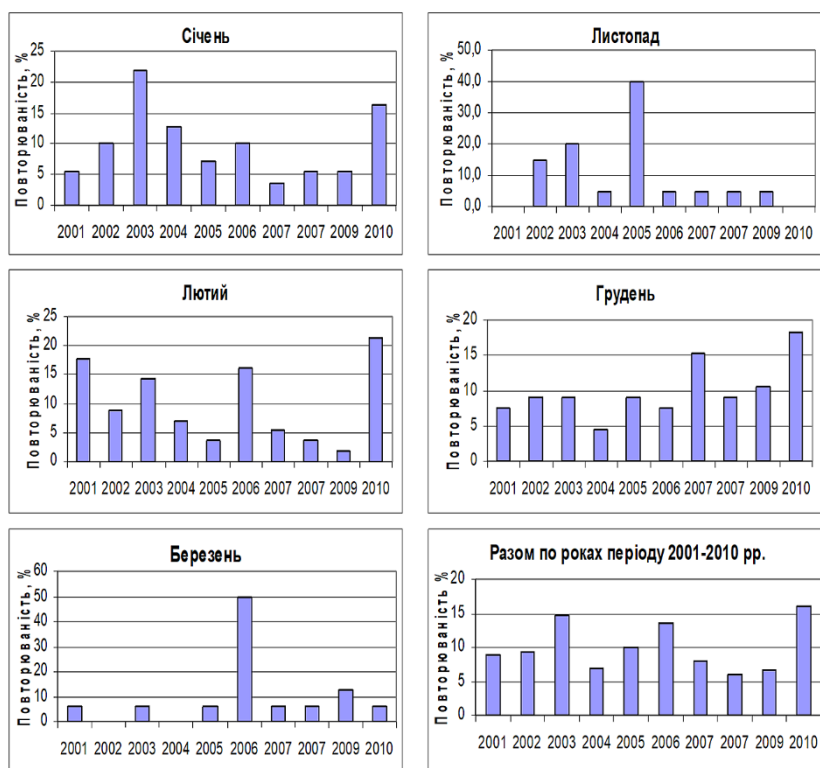
## 2. Випадки відкладень ожеледі масового характеру протягом 2001–2010 рр.

Було встановлено, що у десятиріччя 2001–2010 рр. загальна кількість таких випадків становила 213. По окремих місяцях досліджуваного періоду було встановлено, що найбільша кількість таких випадків спостерігалась у січні, лютому та грудні, що відповідно становило 25,8; 26,3 та 31,0 % від загальної кількості. На початку весни (березень) та наприкінці осені (листопад) таких випадків було небагато, їх повторюваність становила відповідно 7,5 та 9,4 % від загалу. Дослідження кількості таких випадків та їх повторюваності протягом окремих років періоду 2001–2010 рр. показало, що найбільша кількість таких випадків спостерігалась у січні 2003 р. – 12 випадків (21,8 %), 2004 р. – 7 (12,7%), 2010 – 9 (16,4 %); лютому 2001 р. – 10, 2003 р. – 14, 2006 р. – та 2010 р. – 12, відповідно 17,8; 14,3; 16,1 та 21,4 %, березні -2008 р. – 8 випадків (50,0 %), листопаді 2005 р – 8 (40,0 %), грудні 2007 р. – 10, 2009 р. – 7 та 2010 р – 12, відповідно 15,2; 10,6 та 18,2 % (рис. 4). Протягом квітня та жовтня цього періоду випадків масового розповсюдження ожеледі не спостерігалось. Загалом по роках періоду найбільша кількість випадків масового розповсюдження відкладень ожеледі спостерігалась у 2003 р. – 31 випадок (14,3 %), 2006 – 29 (13,6 %), 2010 – 34 (16,0 %). На решту років припало від 6,1 до 9,9 % випадків, щонайменше на 2008 р. (6,1 %) та 2009 р. (6,6 %).

Окремо було досліджено кількість станцій та областей, а також їх повторюваність у випадках масового відкладення ожеледі протягом досліджуваного періоду. Для дослідження кількості станцій, на яких у випадках масового розповсюдження відкладень ожеледі спостерігались такі відкладення було обрано 9 градацій їх кількості від 10 до  $\geq 41$ .

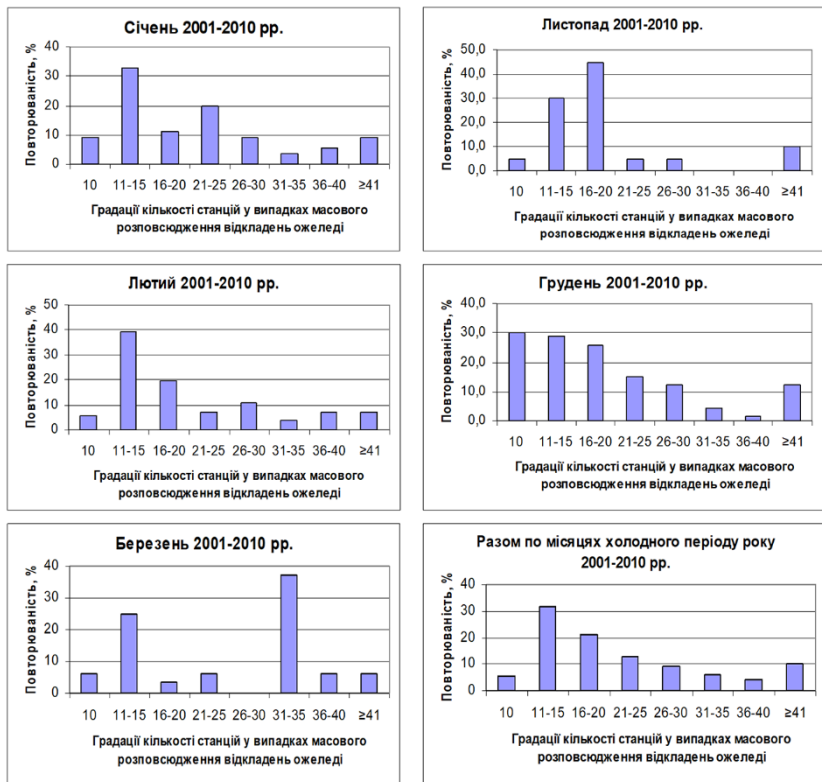
На рисунку 4 візуалізовано результати дослідження стосовно кількості станцій, які спостерігали відкладення ожеледі на дротах стандартного ожеледного станка протягом місяців холодного періоду року у періоді 2001–2010 рр. Встановлено, що у більшості досліджуваних місяців найбільша кількість станцій у випадках масового розповсюдження ожеледі припадала на 3 градації – 11–15; 16–20 та 21–25 станцій. Причому більш переважали градації 11–15 станцій у січні, лютому та березні (25,0 –39,3%), у листопаді градація 16–20 станцій (45,0 %), а грудні градації 11–15 та 16–20 станцій (по 25,8 % відповідно). Виявлено, що у березні на градацію 31–35 станцій припало 37,5 % випадків (рис. 4). Звертає на

себе увагу те, що особливо у січні, лютому та грудні спостерігаються випадки, коли кількість станцій під час масового розповсюдження відкладень ожедеді є значною і становить від 36–40 станцій і  $\geq 41$ , що становить відповідно 4,2 та 9,9 %, хоча за повторюваністю ці градації значно поступаються меншим градаціям кількості станцій від 11–15 до 21–25. Крім того з’ясовано, що на градацію кількості 10 станцій по окремих місяцям повторюваність становила від 3,0 до щонайбільше 9,1 %, а за усі з досліджуваних місяців вона склала 5,6 %. У цілому за досліджувані місяці на градації кількості станцій 11–15; 16–20 та 21–25 припало 65,4% або відповідно 11–15 – 67 (31,5%); 16–20 – 45 (21,2%); 21–25 – 27 (12,7 %).



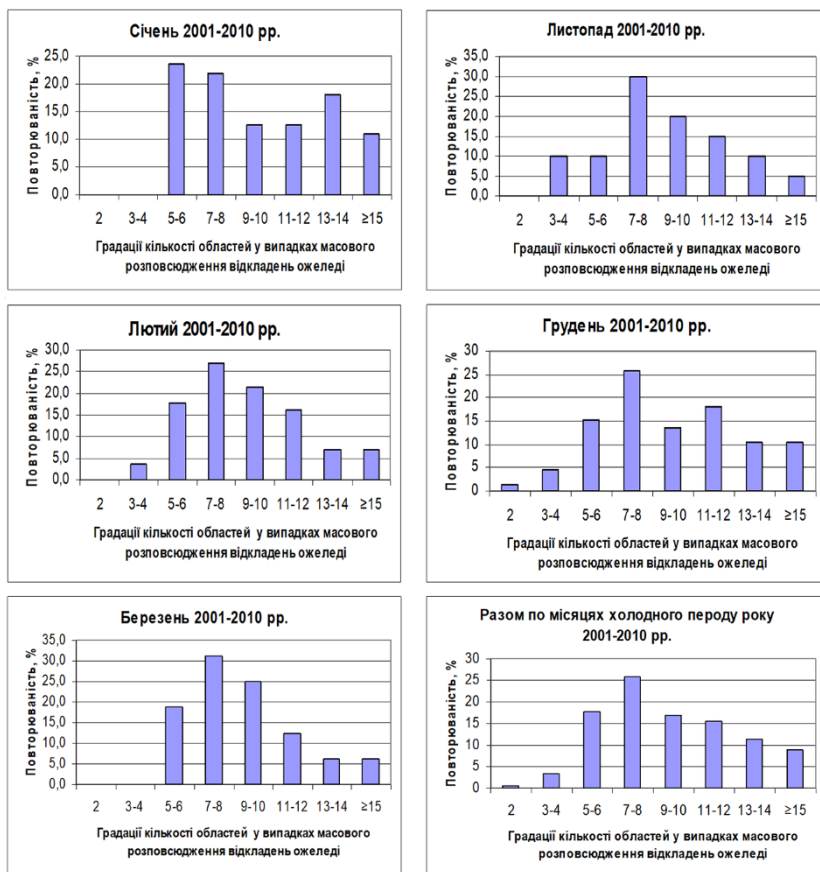
**Рис. 4. Повторюваність випадків масового розповсюдження відкладень ожедеді у місяці холодного періоду року та окремі місяці перехідних сезонів протягом 2001–2010 рр.**

Для дослідження кількості областей на території яких спостерігались відкладення ожедеді у випадках її масового розповсюдження було застосовано 8 градацій їх кількості від 2 до  $\geq 15$ . На рисунку 6 візуалізовано їх повторюваність. Встановлено, що здебільшого протягом досліджуваних місяців такі відкладення одночасно спостерігались на території від 5–6 до 9–10 областей, дещо рідше 11–12. Особливо це стосується січня, лютого та грудня. Їх повторюваність, в залежності від місяця становила щонайменше від 10,0 % у листопаді (градація 5–6 областей) до 31,3 % у березні (градація 7–8 станцій). У решті місяців на ці градації припадало 15,2 – 30,0 %.



**Рис. 5. Повторюваність кількості станцій у випадках масового розповсюдження відкладень ожедеді по місяцях холодного періоду року та окремих місяцях перехідних сезонів протягом 2001–2010 рр.**

На градації від 11–12 до  $\geq 15$  припало менше випадків, особливо на градації 13–14 та  $\geq 15$  областей. На градацію 11–12 областей припало щонайменше 12,5 % у березні, а щонайбільше 18,2 % у грудні.



**Рис. 6. Повторюваність кількості областей у випадках масового розповсюдження відкладень ожеледі по місяцях холодного періоду року та окремих місяцях перехідних сезонів протягом 2001–2010 рр.**

Повторюваність останніх 2-х становила щонайменше 6,3% для градації 13–14 областей (березень), а щонайбільше 18,2 % (січень). Для градації  $\geq 15$  областей найменша повторюваність становила

5,0 % у листопаді до 10,9 % у січні. Повторюваність градацій 2 та 3–4 станції була найменшою і становила 1,5 % у грудні та 10,0 % у листопаді. Загалом протягом досліджуваних місяців періоду 2001–2010 рр. найбільша кількість випадків масового розповсюдження ожеледі припала на градацію 7–8 областей, повторюваність якої становила 25,8 %.

На градації 4–6 та 9–10 областей припало по 38 та 36 випадків відповідно, або 17,8 та 16,9 %. Загалом на градації від 5–6 до 9–10 областей припало 60,5 % випадків. Найменша повторюваність становила 0,5 % у градації 2 області та 8,9 % у градації  $\geq 15$  областей.

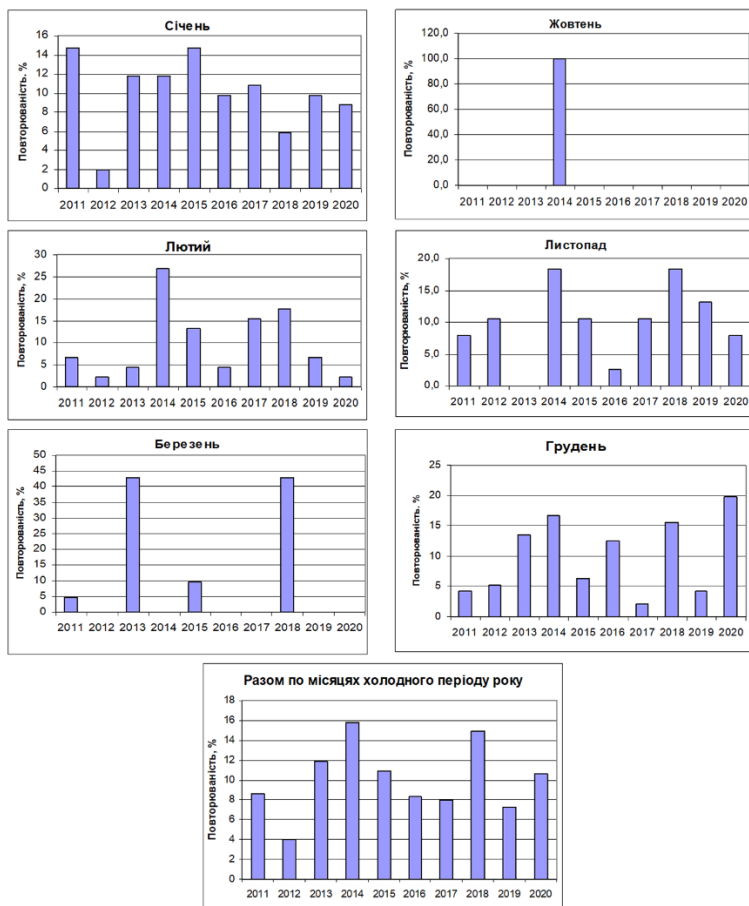
Також у доповнення дослідження зважаючи на те, що кількість станцій у випадках масового розповсюдження відкладень ожеледі може сягати досить істотних значень, градації кількості станцій було розділено на окремі десятки для з'ясування до якого максимуму може сягнути їх кількість. Встановлено, що здебільшого кількість станцій у випадках масового розповсюдження відкладень ожеледі припадала на градації 10–19 та 20–29 станцій. Їх повторюваність становила в залежності від місяця для градації 10–19 станцій становила щонайменше 48,5 % у грудні до 60,7 % у лютому, а для градації 20–29 станцій щонайменше 18,8 % у березні та щонайбільше 31,8 % у грудні. Треба зазначити, що у березні найбільша повторюваність кількості станцій, які в одну дату спостерігали відкладення ожеледі припадає на градацію 30–39 станцій і складає 43,8 %. Крім того у січні та грудні спостерігались випадки, коли кількість станцій сягала градації 60–69. У січні таких випадків було 1 (1,8 %), а у грудні 2 (3,0 %). Треба зауважити, що кількості станцій  $\geq 70$ , які б одночасно спостерігали відкладення ожеледі протягом місяців холодного періоду року 2001–2010 рр. не спостерігалось. Загалом за досліджуваний період переважали випадки масового розповсюдження відкладень ожеледі, коли кількість станцій які спостерігали такі відкладення становила 10–19 станцій, або 20–29 на які припало загалом 79,3 %.

### **3. Випадки відкладень ожеледі масового характеру протягом 2011–2020 рр.**

У десятиріччі 2011–2020 рр. збільшилась кількість випадків масового розповсюдження відкладень ожеледі на території України. Загальна кількість таких випадків становила 303, що на 90 випадків більше ніж у попередньому десятиріччі. Рисунок 7 наочно відображає їх повторюваність по окремих місяцях та роках. Найбільший внесок у загальну кількість мали січень, листопад та грудень відповідно 33,7;



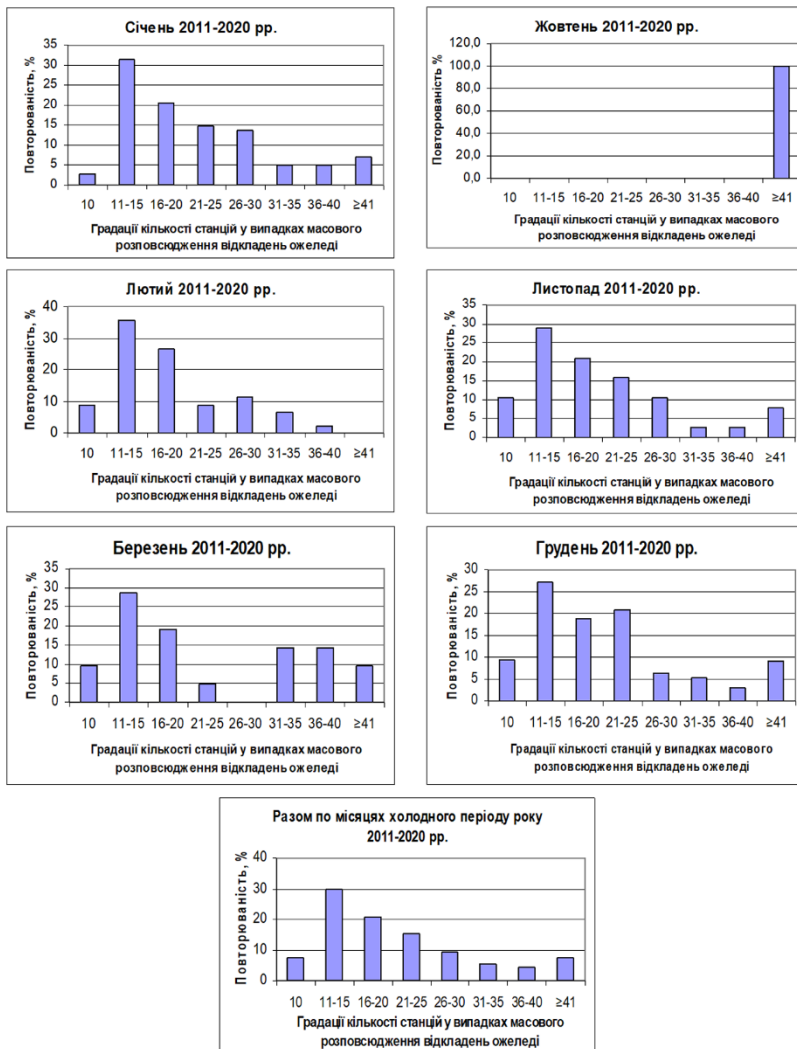
12,5 та 31,7%. При цьому треба зазначити, що у цілому порівняно із попереднім десятиріччям збільшилась кількість таких випадків у січні, березні, листопаді та грудні. Так, у січні зростання склало майже половину від минулого десятиріччя, а у грудні на третину. Збільшення кількості таких випадків у березні та листопаді також відбулось, проте менш суттєве, відповідно на 8 та 18 випадків. У лютому кількість випадків масового відкладення ожеледі навпаки зменшилась з 56 випадків у 2001–2010 рр. до 45 у 2011–2020 рр.



**Рис. 7. Повторюваність випадків масового розповсюдження відкладень ожеледі у місяці холодного періоду року та окремі місяці перехідних сезонів протягом 2011–2020 рр.**

Крім того у жовтні зазначеного періоду спостерігався 1 випадок масового розповсюдження відкладень ожеледі, чого не спостерігалось у минулому десятиріччі. У квітні так само як і у 2001–2010 рр. випадків масового розповсюдження відкладень ожеледі не спостерігалось. По окремих роках досліджуваного періоду встановлено, що найбільша кількість таких випадків спостерігалась у січні у 2011, 2015 рр. 15 випадків (по 14,7 % у кожному) а також у 2013, 2014 рр. – 12 випадків (по 11,8 %) та 2017 р. – 11 випадків (10,8 %). У лютому найбільша кількість таких випадків спостерігалась у 2014 р. – 12 випадків (26,7%) та у 2018 р. – 8 (17,8 %). Протягом березня 2011–2020 рр. найбільша кількість випадків масового розповсюдження випадків відкладень ожеледі спостерігалась у 2013 та 2018 рр. – по 9 випадків у кожному з цих років (42,9 %). У жовтні періоду 2011–2020 рр. спостерігався лише 1 випадок таких відкладень у 2014 р. У листопаді найбільша кількість випадків масового розповсюдження відкладень ожеледі спостерігалась у 2014 та 2018 рр. і становила 7 випадків (18,4 %), а у грудні найбільша кількість таких випадків спостерігалась у 2020 р. – 19 випадків (19,8 %), а також у 2014 р. – 16 (16,7 %), 2018 р. – 15 (15,6 %). У цілому протягом досліджуваного періоду найбільший внесок у загальну кількість випадків відкладень ожеледі мали 2014 р. – 48 випадків (15,8 %), 2018 р. – 45 випадків (14,9 %), а також 2013 р. – 36 випадків(11,9 %). У решті років внесок складав від 7,3 до 10,6 %. Найменший внесок мав 2012 р. коли спостерігалось лише 12 випадків масового розповсюдження відкладень ожеледі.

Результати дослідження кількості станцій та областей у випадках масового розповсюдження відкладень ожеледі протягом 2011–2020 рр. відповідно подано на рисунках 8 та 9, де показано повторюваність отриманих даних по відповідних градаціях. Встановлено, що так само як і у передньому десятиріччі кількість станцій у випадках масового розповсюдження відкладень ожеледі здебільшого припадає на 3 градації 11–15; 16–20 та 21–25. Особливо це помітно у січні, лютому, листопаді та грудні. Повторюваність градації 11–15 станцій знаходиться у межах 27,1 – 31,4 % в залежності від місяця. В градації 16–20 станцій повторюваність становить 18,8 – 26,7 %, а у градації 21–25 станцій відповідно 4,8 – 20,8 %. Також збільшилась кількість випадків, коли кількість станцій, які в одну дату спостерігали відкладення ожеледі, в градаціях 26–30 та 31–35 особливо у січні та грудні. Також помічено зростання повторюваності градацій 31–35; 36–40 та  $\geq 41$  станцій у березні.



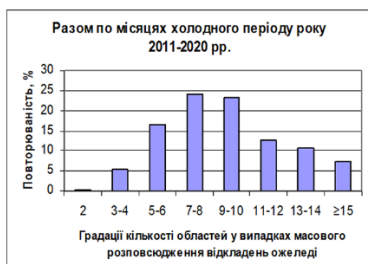
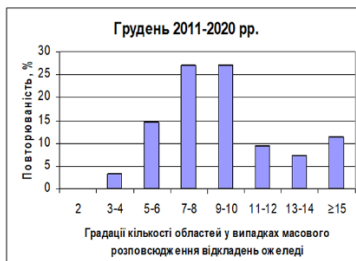
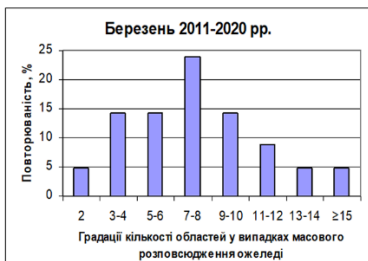
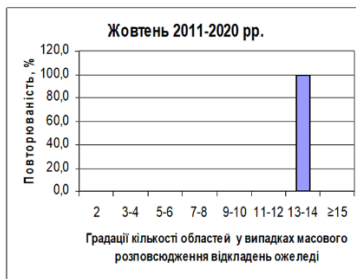
**Рис. 8. Повторюваність кількості станцій у випадках масового розповсюдження відкладень ожеледі по місяцях холодного періоду року та окремих місяцях перехідних сезонів протягом 2011–2020 рр.**

Звертає на себе увагу те, що на відміну від попереднього десятиріччя збільшилась кількість випадків із масовим розповсюдженням випадків відкладень ожеледі із кількістю станцій

в градаціях 36–40 та  $\geq 41$  станції. У першу чергу це стосується січня та грудня, проте відбулось зменшення у лютому. Встановлено що у цілому на градації кількості станцій від 11–15 до 21–25 припало 60,0 % випадків масового розповсюдження відкладень ожеледі.

Дослідження кількості областей у випадках масового розповсюдження відкладень ожеледі протягом 2011–2020 рр. показало, що так само як і у минулому десятиріччі основна маса таких випадків постерігається на території від 5–6 областей до 9–10. При чому у різних з досліджуваних місяців пік повторюваності може дещо відрізнятись. Так ,наприклад у січні, березні, листопаді та грудні найбільша повторюваність припала на градацію 7–8 областей (відповідно 24,5; 23,8; 26,3; 27,1 %), а у лютому на градацію 9–10 (33,3 %). У січні помічено досить значна повторюваність в градаціях 11–12 та 13–14 станцій (відповідно 14,7 та 12,7 %). У лютому також спостерігається збільшення кількості таких випадків у градації 13–14 областей. У листопаді збільшується повторюваність в градації 11–12 областей (21,1 %). Найбільша повторюваність у градації  $\geq 15$  областей спостерігається у листопаді та грудні, відповідно 10,5 та 11,5 %. У цілому у поточному десятиріччі дещо збільшилась кількість випадків масового розповсюдження відкладень ожеледі та території 15 та більше областей. Також треба зауважити, що на відміну від попереднього десятиріччя збільшилась повторюваність випадків масового розповсюдження відкладень ожеледі на території 3–4 станції, особливо у лютому та березні. Загалом на градації від 5–6 областей до 9–11 припало 64,0 % усіх випадків масового розповсюдження відкладень ожеледі.

Додатково для оцінки на яку градацію кількості станцій, розділених на десятки у випадках масового розповсюдження відкладень ожеледі спостерігається у цих випадках частіше та до якого максимуму може сягнути їх кількість. Встановлено, що аналогічно до періоду 2001–2010 рр. здебільшого кількість станцій у випадках масового розповсюдження відкладень ожеледі припадала на градації 10–19 та 20–29 станцій. У градації 10–19 станцій повторюваність становила 47,6–62,2 %, причому найбільша (55,3 та 62,2 %) відносилась відповідно до листопада та лютого. У градації 20–29 станцій повторюваність становила 14,3–31,5 %. Найбільша повторюваність тут належала листопаду (31,5 %), лютому (28,9 %), грудню (27,1 %) та січню (26,4 %). Треба зауважити, що у десятиріччі



**Рис. 9. Повторюваність кількості областей у випадках масового розповсюдження відкладень ожеледі по місяцях холодного періоду року та окремих місяцях перехідних сезонів протягом 2011-2020 рр. (У квітні визначеного періоду випадків масового розповсюдження відкладень ожеледі не спостерігалось)**

2011–2020 рр. збільшилась кількість випадків масового розповсюдження відкладень ожеледі, які припали на градації 30–39; 40–49 та 50–59 станцій. На відміну від попереднього десятиріччя, коли надзвичайних випадків масового розповсюдження відкладень ожеледі не спостерігалось, мали місце випадки масового розповсюдження відкладень ожеледі із кількістю станцій, яка відноситься до градації  $\geq 70$  станцій. Такі випадки спостерігались у березні (1 випадок) та у грудні (2 випадки), що говорить про розширення масштабів охоплення території відкладеннями ожеледі масового характеру прояву.

## **ВИСНОВКИ**

Зважаючи на вищевикладене стосовно особливостей випадків масового відкладення ожеледі на території України у місяці холодного періоду протягом трьох десятиріч – 1991–2000, 2001–2010 та 2011–2020 рр. можна зробити ряд висновків:

1. У десятиріччі 1991–2000 рр. випадки масового розповсюдження відкладень ожеледі найчастіше спостерігались у січні, листопаді та грудні. Найчастіше такі випадки спостерігались у 1991, 1994, 1997 – 1999 рр., причому найбільше виділяються 1991, 1998 та 1999 рр.

2. Здебільшого у дати масового розповсюдження відкладень ожеледі протягом 1991–2000 рр. такі відкладення спостерігались на 11–15 або на 16–20 станціях одночасно. У березні вони частіше спостерігались або на 10 станціях одночасно, або на 16–20 станціях. Також у січні, лютому, листопаді та грудні спостерігались випадки масового розповсюдження відкладень ожеледі на значній кількості станцій ( $\geq 41$ ).

3. У десятиріччі 1991–2000 рр. виявлено 2 дати найбільш масштабного розповсюдження відкладень ожеледі в 1 дату, які становили 69 станцій 24.01.1991 р. та 72 у 5.12.1998 р.

4. Територіально відкладення ожеледі масового характеру розповсюдження спостерігались здебільшого на території 5–6 або 7–8 областей. Проте в окремих місяцях (лютий, березень, листопад) збільшення повторюваності може спостерігатись в градації кількості областей від 9–10 до 13–14.

5. Протягом останніх двох десятиріч 2001–2010 рр. та 2011–2020 рр. на Україні випадки масових відкладень ожеледі найчастіше спостерігаються у січні, лютому та грудні. Протягом 2011–2020 рр. загальна кількість випадків масового розповсюдження відкладень ожеледі істотно збільшилась. По місяцях холодного періоду року та

окремих місяцях перехідних сезонів найбільш помітно збільшилась кількість випадків масового розповсюдження відкладень ожеледі у січні та грудні. Дещо збільшилась кількість таких випадків у березні та листопаді, проте зменшилась у лютому. Крім того на відміну від 2001–2010 рр. у періоду 2011–2020 рр. з'явився випадок масового відкладення ожеледі у жовтні.

6. По окремих місяцях останніх десятиріч найбільша кількість випадків масового розповсюдження відкладень ожеледі спостерігалась у різні роки, проте загалом найбільше таких випадків спостерігалось у 2003, 2006 та 2010 рр., а також у 2013, 2014, 2015, 2018 та 2020 рр. Враховуючи окремі місяці найбільша повторюваність кількості випадків масового розповсюдження відкладень ожеледі у 2001–200 рр. спостерігалась у січні 2003, 2010; лютому 2001, 2006, 2010; березні 2006; листопаді 2005; грудні 2007, 2010 рр. У 2011–2020 рр. найбільша повторюваність випадків масового розповсюдження відкладень ожеледі спостерігалась у січні 2011–2015 та 2017 рр.; лютому 2014 р.; березні 2014, 2018 рр.; листопаді 2014, 2018, 2019 рр.; грудні 2013, 2014, 2018, 2020 рр.

7. У випадках масового розповсюдження відкладень ожеледі вона здебільшого спостерігається на станціях одночасно від 11–15 до 21–25, особливо у зимові місяці протягом обох періодів. Ця тенденція найбільш чітко виражена у періоді 2011–2020 рр.

8. За кількістю областей на території яких спостерігаються відкладення ожеледі при їх масовому розповсюдженні у періоді 2001–2010 та 2011–2020 рр. здебільшого переважають градації від 5–6 до 9–10 областей, проте частіше 7–8 областей. Також у ці періоди помічено збільшення частки повторюваності, яка припадає на градацію 9–10 областей порівняно із першим десятиріччям 1991–2000 рр.

**Перспектива подальших досліджень.** У подальшому дослідження з приводу масових розповсюджень відкладень ожеледі буде продовжено для встановлення найбільш значних випадків просторово-часових локалізацій таких відкладень на території України протягом окремих десятиріч періоду 1991–2020 рр., а також окремих періодів із ними. Отримана кліматологічна інформація сприятиме оперативній діяльності підрозділів Українського гідрометеорологічного центру для прогнозування ожеледо-паморозевих явищ на території України та своєчасного попередження суб'єктів господарювання про виникнення несприятливих погодних умов, особливо таких які можуть охоплювати значні площі.

## АНОТАЦІЯ

Робота присвячена виявленню особливостей масового розповсюдження відкладень ожеледі на території України по окремих десятиріччях періоду 1991–2020 рр. Дослідження проведено для місяців холодного періоду року та окремих місяців перехідних сезонів. Встановлено, що загальна кількість таких випадків по окремих десятиріччях зазнавала змін. У першому десятиріччі 1991–2000 рр. та особливо у останньому спостерігалось найбільша кількість випадків масового розповсюдження відкладень ожеледі на території України. По окремих роках досліджуваних періодів найбільша кількість випадків масового характеру відкладення ожеледі спостерігалась у 1991, 1994, 1997–1999, 2003, 2006, 2010, 2013, 2014, 2018, 2020. У цілому для усіх досліджуваних періодів кількість станцій, яка в одну дату спостерігала відкладення ожеледі здебільшого припадала на градації 11–15 та 16–20 станцій. Кількість областей на території яких в 1 дату спостерігались такого характеру відкладення здебільшого становила 5–6 або 7–8 областей. Проте, у десятиріччях 2001–2010 та 2011–2020 рр. серед градацій з найбільшою повторюваністю треба відмітити градацію 9–10 областей. Це свідчить про розширення ареалу розповсюдження масових відкладень ожеледі по території України протягом останніх двох десятиріч.

## Література

1. Аржанова Н. М., Булыгина О. Н., Коршунова Н. Н. Специализированный массив данных гололедно-изморозевых явлений для мониторинга климата и климатических исследований. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 182. С. 101–110.
2. Аржанова Н. М., Коршунова Н. Н. Характеристики гололедно-изморозевых явлений на территории России в условиях современных изменений климата. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2019. Вып. 184. С. 33–44.
3. Аржанова Н. М., Коршунова Н. Н. Мониторинг характеристик гололедно-изморозевых отложений на территории России в холодный сезон 2017–2018 годов. Труды ГГО. 2020. Вып. 597. С. 90–103.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование опасных метеорологических явлений и процессов. Государственный стандарт Республики Беларусь. СТБ. 1406-2003 (ГОСТ Р 22.1.07-99). 15 с.



5. Гледко Ю.А., Бережкова Е.С. Анализ метеорологической обстановки в условиях обледенения и гололеда. География. Геология. БГУ. 2020. Вып. 2. С. 14–25.

6. Инструкция по подготовке к работе в зимний период и организации снегоборьбы на железных дорогах, в других филиалах и структурных подразделениях ОАО «РЖД», а также его дочерних и зависимых обществах. Вагоны и вагонное хозяйство. Изд-во Российские железные дороги. М. : 2014. № 3(39). С. 14–22.

7. Климат Украины [Монография] / Под ред. Г. Ф. Прихотько, А. В. Ткаченко, В. Н. Бабиченко. Л. : Гидрометеиздат, 1967. 413 с.

8. Клімат України [Монографія] / За ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. К. : Вид-во. Раєвського, 2003. 343 с.

9. Минуллин Р. Г., Губарев Д. Ф. Обнаружение гололедных образований на линиях электропередачи локационным зондированием. Казань. 2010. 209 с.

10. Настанова по службі прогнозів та попереджень про небезпечні і стихійні явища погоди. КД 52.4.3.01-03. Державна гідрометеорологічна служба. Київ. 2003. 30 с.

11. Настанова з гідрометеорологічного прогнозування. Нормативний документ. Київ, 2019. 35 с.

12. Настанова гідрометеорологічним станціям і постам. Випуск 3. Частина 1. Метеорологічні спостереження на станціях. Керівний документ Державна гідрометеорологічна служба. Київ, 2011. 279 с.

13. Опасные явления погоды на Украине [Монография] / Под ред. К. Т. Логвинова. Труды УкрНИГМИ. 1972. Вып. 110. 235 с.

14. Природа Украинской ССР. Климат [Монография] / Под ред. К. Т. Логвинова, М. И. Щербаня. К. : Наукова думка, 1984. 231 с.

15. Прохоренко М. М., Раевский А. Н. Особенности распределения гололедно-изморозевых отложений на территории Украины в аномальные зимы. Метеорология, климатология и гидрология, 1975. Вып. 11. С. 33–37.

16. Пясецька С. І. Характер масового розповсюдження відкладень ожеледі на території України в останнє двадцятиріччя протягом 2001–2010 та 2011–2020 рр. Матеріали міжнародної наукової конференції Перспективи дослідження Землі: поточний стан та раціональне використання ресурсів. 28–29 грудня 2021 р. Люблін, Республіка Польща [Prospects for Earth exploration: current state and rational use of resources. Lublin, Republic of Poland. December 28–29, 2021]. С. 82–86. DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-183-1-22>

17. Пясецька С. І. Особливості розповсюдження масових випадків відкладень ожеледі, налипання мокрого снігу та складних відкладень категорії НЯ (небезпечної) та СГЯ (стихійної) на території України протягом останнього десятиріччя 2011–2020 рр. [Коллективна монографія]. Нові імпульси розвитку природничих наук в Україні та країн ЄС. [New impulses for the development of natural sciences in Ukraine and EU countries. Wloclawek, 2021]. С. 135–163. DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-141-1-6>

18. Раевский А. Н. К вопросу о повторяемости гололеда. Метеорология и гидрология. 1953. № 1. С. 28–31.

19. Раевский А. Н. Влияние рельефа на распределение гололеда на территории Украины. Труды УкрНИГМИ. 1961. Вып. 29. С. 50–62.

20. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Ч. I. Л.; Гидрометеиздат. 1986. 702 с.

21. Стихийные метеорологические явления на Украине и Молдавии [Монография] / Под ред. В.Н. Бабиченко. Л. : Гидрометеиздат, 1991. 223 с.

22. Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986–2005 рр.) [Монографія] / За ред. В. М. Ліпінського, В. І. Осадчого, В. М. Бабіченко. К. : Вид-во Ніка-Центр, 2006. 311 с.

**Information about the author:**

**Pyasetska Svitlana Ivanivna,**

Candidate of Geographic Sciences,

Senior Research Fellow at the Department of Climate Research and

Long-Term Weather Forecasting

Ukrainian hydrometeorological institute of State Emergency Service of

Ukraine and National Academy of Sciences of Ukraine

37, Nauky ave., Kyiv, 03028, Ukraine

## ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ АПОМІКСИСУ У СЕЛЕКЦІЇ ТЮТЮНУ НА ЗАКРІПЛЕННЯ ГЕТЕРОЗИСУ

Савіна О. І., Глюдзик-Шемота М. Ю., Шейдик К. А.

### ВСТУП

Теоретичне і практичне вирішення оптимізації селекції на основі системного підходу відносяться до базової технології гетерозисної селекції, тобто створення і вивчення селекційної цінності вихідного матеріалу, отримання гібридів та їх постійного відновлення. Для розробки теорії селекції гібридного тютюну найбільш актуальними є методологічні проблеми, пов'язані з вивченням цілісності макросистем. Серед питань методологічного характеру є можливість закріплення ефекту гетерозису через апоміксіс<sup>1</sup>.

У багатьох рослин спостерігається розмноження (утворення насінини) без запліднення – апоміксіс. Розмноження в апоміксіс відбувається вегетативним способом або справжнім насінням, яке утворюється без запліднення<sup>2</sup>. При утворенні насіння без запліднення всі клітини зародкового мішка диплоїдні. Це досягається порушенням мейозу, внаслідок якого хромосоми не розщеплюються<sup>3</sup>. Але бувають випадки нормального проходження мейозу, з'являється гаплоїдний зародковий мішок. Він швидко дегенерує і заміщується одним або декількома новоутвореними зародковими мішками, які виникають внаслідок мітозу із соматичних диплоїдних клітин насінного зачатка<sup>4</sup>. Диплоїдна яйцеклітина не редукованого жіночого гаметофіта може дати початок зародку. Це явище називається партеногенезом. Розвиток зародка з інших диплоїдних

---

<sup>1</sup> Е. И. Савина, М. Ю. Глюдзык, К. А. Шейдик Анализ проявления эффекта апомиксиса у А1. Актуальные вопросы современной науки. Сборник научных трудов. Выпуск 37. Новосибирск, 2014. С. 6–15. ISBN 978-5-00068-170-1.

<sup>2</sup> Тоцький, В. М. Генетика [Текст]. Одеса : Агропринт, 2002. 712 с.

<sup>3</sup> Asker, S. E. Apomixis in Plants [Text] / S. E. Asker, L. Jerling. Boca Raton : CRC Press, 1992. 298 p.

<sup>4</sup> Наумова, Т. Н. Апоспория. Диплоспория. Ультраструктурные аспекты апомиксиса. Эмбриология цветковых растений. Терминология и концепции [Текст]. Том 3 / под ред. Т. Б. Батыгиной. Санкт-Петербург : Мир и семья, 2000. С. 146–192.

клітин жіночого гаметофіта (синергід, антипод) називається апогамією, а розвиток зародка з інших диплоїдних клітин насінного зачатка (інтегументів, нуцеллуса, тобто спорофіта) – апоспорією. При дослідженні видів родів *Potentilla*, *Cotoneaster*, *Crataegus* і *Alchemilla* Мандрик В. Ю. встановлено гаметофітний апоміксис. Походження нередукованих зародкових мішків диплоспоричне і апоспоричне. Зародки розвиваються із яйцеклітин. Визначення апоміксису – диплоспорія – партеногенез, апоспорія – партеногенез. В нуцелусах, на перших етапах розвитку, розвиваються еуспоричні зародкові мішки, в яких, внаслідок статевого процесу, після запліднення, здатні утворюватись зародки. На пізніших стадіях розвитку мітотично, із спорогенних або соматичних клітин, утворюються апоміктичні зародкові мішки і розвиток зародка здійснюється без запліднення яйцеклітини – партеногенетично<sup>5</sup>.

За даними досліджень іноземних вчених встановлено, що у видів роду *Potentilla* гаметофітний апоміксис пов'язаний із псевдогамією<sup>6</sup>. Зародкові мішки розвиваються мітотично із клітин спорогенного комплексу<sup>7</sup>. В основі репродукції виду лежить нередукований партеногенез при наявності псевдогамії. Розвиток ендосперму здійснюється шляхом потрійного злиття (злиття спермія з ядром центральної клітини). Ендосперм, без злиття спермія і полярних ядер, не розвивається<sup>8</sup>.

Насінна репродукція видів залежить від ступеня фертильності пилкових зерен. Таку псевдогамну форму апоміксису можна розглядати як перехідну від статевого відтворення до апоміксису, коли і зародок і ендосперм розвиваються без впливу пилкової трубки і сперміїв.

У деяких рослинних форм родини *Rubus*, *Potentilla* і *Poa*, зміщене статеве розмноження з апоміксом. Вони відтворюють високу життєздатність, з'єднуючи вигодо апоміксиса і статевого

---

<sup>5</sup> Мандрик В. Ю. Гаметофітний апоміксис у деяких видів *Rosacea* їх флори Українських Карпат. Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Біологія, вип. 27, 2009. С. 117–122.

<sup>6</sup> Мандрик В. Ю. Апоміксис у *Potentilla argentea* L. (*Rosaceae*). Наук. вісник УжДУ. Серія Біологія, № 6. 1999. С. 41–45.

<sup>7</sup> Мандрик В. Ю. Результати ембріологічних досліджень видів родини *Rosaceae*. Наук. вісник УжДУ. Серія Біологія, № 7. 2000. С. 129–131.

<sup>8</sup> Czupic R. Controversy Around Apomixis. *Acta biol. Crac. ser. bot.* 2000. 42 № 2. P. 55–59.

розмноження. Але і тут апоміксис накладає на вид власні пристосування до життя рослин в умовах росту.

Генетичний аналіз показав, що присутність апомікса складається шляхом відбору потрібних генів. Спільність ряду мутацій веде до появи повного апомікса, існують і проміжні стадії. Таким чином, апоміксис, як і інші еволюційні пристосування, розвивається у популяціях на основі мутацій, рекомбінацій і відбору<sup>9</sup>.

У результаті ретроспективи досліджень з різними культурами щодо виявлення апоміксису досягнуто значні успіхи, але з жодною культурою вчені не просунулись до практичного використання цього унікального явища. Лише у селекційній практиці з поліпшення вихідного матеріалу і закріплення гетерозису через апоміксис досягнуто бажаних результатів та удосконалено методику з переведення кращих гібридних форм на апоміктичне розмноження через індукування *N. alata*, збір насіння для подальшого вивчення  $A_1$  через кастрацію квіток та вирощування насіння під ізолятором, добору рослини  $A_1$  за материнським типом, що потребує розміщення поряд рослини  $F_1$  та формування запасу насіння для повторного пересіву<sup>10</sup>.

Актуальним також є вивчення генетичної плазми батьківських форм різного географічного походження і створення на їх основі кращих форм адаптивно-орієнтованих до агрокліматичних умов України біологічних систем, які відповідають вимогам сільсько-господарського виробництва та переробної промисловості. Дослідження з цих питань відносяться до найбільш актуальних серед теоретичних основ селекції та в практичному застосуванні новітніх підходів щодо закріплення гетерозису, так як доповнюють знання в галузі популяційної генетики та гетерозису і дозволяють підвищити ефективність створення нових макросистем з широкими адаптивними можливостями цієї культури.

На основі всебічного вивчення генетичних ресурсів тютюну, удосконалення методів селекції на підвищення ефекту гетерозису та способів його закріплення створити вихідний матеріал та нові сорти з високим потенціалом продуктивності для створення гібридів

---

<sup>9</sup> Гарт О. Ю., Куракса Н. П., Кондратенко С. І. Біометричні та біохімічні показники плодів селекційно-цінних зразків перцю солодкого за умов статевого та змішаного апоміктично-статевого розмноження. Овочівництво і баштанництво. 2014. Вип. 60. С. 44–51.

<sup>10</sup> Савіна О. І. Глюдзик М. Ю. Особливості розщеплення апоміктів тютюну  $A_1$ . Агробіологія. Збірник наукових праць. Біла Церква, № 2(113). 2014. С. 126–130.

з високою гетерозисною здатністю та подальшого його закріплення через апоміксис.

Вихідним матеріалом для досліджень були колекційні зразки, виведені селекціонерами станції та інтродуковані з країн Європи, зареєстровані в Національному генетичному фонді України.

Проведено гібридизацію за діалельною схемою та отримано насіння  $F_1$  від 36 гібридних комбінацій. Кращі гібриди з високим ефектом гетерозису переведені на апоміктичну основу з метою закріплення гетерозису. Висіяно одержані апомікти та виділено 7 з кращими показниками за комплексом ознак і перевірено на наявність апоміктичної властивості для висіву у подальшому і для одержання гібридів-апоміктів з високими показниками продуктивності.

Основний методичний посібник у селекційній роботі є «Методика селекционной работы по табаку и махорке» (Краснодар, 1974 р.). Класифікація селекційного матеріалу проведена згідно методики О. М. Псаревої (1964 р.). Оцінка за морфологічними та біологічними ознаками проводилась згідно класифікатора Л. В. Семенова (1982 р.) та удосконаленої нами і апробованої в західній частині України. Переведення на апоміктичну основу з метою закріплення гетерозису застосовували методику розроблену Савіною О. І. Коефіцієнт повторюваності ознак визначали за методикою Савченко В. К. (1980).

## **1. Методологічне удосконалення використання апоміксису у селекції тютюну на гетерозис**

Застосування апоміксису у селекції тютюну сприяє скороченню селекційного процесу, закріпленню гетерозису, виявлення нових і рідкісних мікроознак у тютюну, а також для безпосереднього використання мутантів з комплексом цінних ознак у вигляді господарсько-цінного вихідного матеріалу. При створенні нових сортів без суттєвого доопрацювання цього матеріалу скорочує селекційний процес на 3–4 роки та дає можливість закріпити ознаку високої стійкості проти хвороб. Серед цінних доробок можна вказати на польовий метод ідентифікації явища апоміксису, який заслуговує на подальше удосконалення та практичне застосування. Антморфологічний метод аномалій квіток у нашій роботі не має подальшого застосування у зв'язку з тим, що у більшості апоміктів не виявлено аномалії квіток, хоча явище апоміксису підтверджено при кастрації квіток та подальшому зав'язуванню насіння без запліднення. Тому цей метод нами був відкинутий як метод

додаткової ідентифікації. У таблиці 1 наведена удосконалена нами схема селекційного процесу з використанням сортів-індикаторів та провокаційного фону<sup>11</sup>.

Таблиця 1

**Удосконалена схема прискорення селекційного процесу та закріплення гетерозису гібридів тютюну**

№	Етапи селекційного процесу
1	2
1	Колекційний розсадник – вивчення за комплексом ознак зразків, які пересіваються кожні 5 років для підтримання життєздатності. У робочій колекції оцінка на стійкість всіх рослин та 10 шт. за господарсько-цінними ознаками, виділення цінних зразків та сортів-джерел чи донорів у ознакову колекцію за даними 3 років оцінки. Добір батьківських форм для схрещування за комплексом ознак, обов'язково материнська форма має характеризуватись високими господарсько-цінними ознаками та високою стійкістю до хвороб.
2	Проведення схрещування у 2 повтореннях за різними схемами з метою висіву насіння у трьох часових повтореннях (мінімум 3 роки оцінок на закріплення ознак за методикою переведення на апоміктичну основу) та пошук комбінацій з високим ефектом гетерозису.
3	Добір кращих комбінацій для переведення на апоміктичну основу для закріплення гетерозису. Схрещування кращих комбінацій з <i>N. alata</i> 3–5 рослин з метою одержання насіння для подальшого добору апоміктичних форм. Паралельний збір насіння рослин F <sub>1</sub> для порівняльного посіву при вивченні A <sub>1</sub> – A <sub>2</sub> .
4	Вивчення гібридних популяцій A <sub>1</sub> (150-200 рослин) у порівнянні з F <sub>1</sub> (10–15 рослин) на ділянках. Індивідуальний добір за фенотипом материнських рослин через каstrування квіток, відведення під ізолятор з метою створення умов для безстатевого розмноження насіння.
5	Переведення стерильних форм на фертильну основу за допомогою апоміксису шляхом одноразового індукування <i>N. alata</i> .
6	Виділення рослин з аномальним розвитком для подальшого селекційного процесу з використанням апоміктичного розмноження.
7	Висів насіння одержаного через каstrування пиляків для аналізу A <sub>2</sub> у порівнянні з F <sub>1</sub> (10–15 рослин). Оцінка і добір за стійкістю проти хвороб, фенотипом, показниками якості кращих номерів. Облік 25 рослин на ділянці. Аналіз повторюваності та варіювання ознак у порівнянні з F <sub>1</sub> .

<sup>11</sup> Глюдзик М. Ю., Матієга О. О., Савіна О. І. Методологічне удосконалення застосування апоміксису у селекції тютюну. Науковий журнал «Генетичні ресурси рослин». Харків, 2014.

1	2
8	Попереднє сортовипробування три повторення. Оцінка й добір за стійкістю проти збудників хвороб, за фенотипом, повним технологічним аналізом якості сировини, облік 25 рослин на ділянці. Добір 40–60 кращих ліній для розмноження. Контроль за здатністю до апоміктичного способу розмноження.
9	Конкурсне сортовипробування упродовж 2–3 років з вивченням схеми висадки, строків та способів ламання листа, чотири повторення, з розміщенням сортів – індикаторів та стандарту через кожні 10 ділянок. Добір за стійкістю проти хвороб та комплексом господарсько-цінних ознак. Контроль за здатністю до апоміктичного способу розмноження польовим методом.

У результаті детальних досліджень вдосконалено методику прискорення селекційного процесу тютюну на основі закріплення явища гетерозису за допомогою апоміксису (табл. 2).

Таблиця 2

**Елементи удосконалення методики закріплення гетерозису у гібридів тютюну**

Удосконалені елементи методики	Розроблена методика
Схрещування кращих комбінацій з <i>N. alata</i> 3–5 рослин з метою одержання насіння для подальшого добору апоміктичних форм. Паралельний збір насіння рослин $F_1$ для порівняльного посіву при вивченні $A_1 - A_2$ . Доведено важливість порівняння апомікта з материнською формою та добір лише за властивими материнській формі ознаками з метою спрощення проведення добору на апоміктичність	Порівняльний посів $F_1$ при вивченні $A_1 - A_2$ . З метою ідентифікації апоміктичних рослин не запроваджений.
Відпадає потреба каstrування квіток для ідентифікації апоміктичних рослин у перші роки випробування, надалі при пересіві потребується лише каstrація квіток для встановлення апоміктичного типу розмноження	Індивідуальний добір за фенотипом материнських рослин через каstrування квіток, відведення під ізолятор з метою створення умов для безстатевого розмноження насіння.
Переведення стерильних форм на фертильну основу за допомогою апоміксису шляхом одноразового індукування <i>N. alata</i> .	Автором такий спосіб не розглядався
Аномалія квіток не може бути маркерною ознакою, бо упродовж всіх досліджень з гібридами аномалія квіток не була типовою	Відпрацьовувалась гіпотеза аномалії квіток як маркерної ознаки властивої для апоміктів.



На основі власних спостережень та доробок О. І. Савіної відпрацьовано схему застосування явища апоміксису з метою прискорення селекційного процесу та закріплення явища гетерозису. Поряд з апоміктичною селекцією ведеться класичний метод гібридизації, що складає в кращому випадку 13–14 років, але на практиці сягає 20–25 років. Застосовуючи апоміктичний метод селекції можливо значно прискорити цей процес і за 9–10 років одержати сорт з високими показниками продуктивності, стійкістю до хвороб та обмеженим розщепленням. Крім того, при переведенні на апоміктичну основу широко використовуються химери з високими показниками продуктивності, часто з різними новими мікроознаками, які можна втратити, якщо не закріпити ці властивості апоміктично.

Таким чином метод апоміксису є цінним надбанням науки і практики, що дає можливість вирішити ряд практичних питань, які виникають у процесі селекції тютюну. В першу чергу це скорочення селекційного процесу на 4–6 років, закріплення ефекту гетерозису та переведення стерильних форм на фертильну основу при потребі.

## **2. Мінливість будови квіток у тютюну при апоміксісі**

Однією із найбільш актуальних проблем сучасної генетики і селекції тютюну є вивчення генетичної структури окремих ознак і функцій, які відповідають за потенціал продуктивності і забезпечення високої адаптивності організму. Структура квітки надзвичайно важлива у генетичному аспекті при селекції апоміктичного напрямку. Адже аномалія квітки у апоміктів першого покоління може використовуватись для подальшої селекційної роботи на стерильній основі, вдосконалення і здешевлення ведення насінництва та підвищення дієвого рівня селекційних можливостей.

Гетеростилія присутня у найбільш нових передових таксонів. Щоб багатоалельна система еволюціонувала до діалельної, за думкою Л. Кру<sup>12</sup> необхідною умовою є проходження спорофітної детермінації пилку. Більшість гетероморфних видів має двохядерний пилкок. Тільки за великих виключень Б.Вюллеймайер<sup>13</sup> вважав, що багатоалельна система несумісності могла дати діалельну систему

---

<sup>12</sup> Crowe L. K. The evolution of outbreeding in plants. The angiosperms. Heredity. 1964. Vol. 19. P. 345–457.

<sup>13</sup> Vuilleumier B. S. The origin and evolutionary development of heterostyly in the Angiosperms. Ibid. 1967. Vol. 21. 2. P. 210–220.

п шляхом втрати алелей. Ще Дарвін ввів термін “pin” для квіток з довгим стовпчиком маточки і короткими тичинками, і термін “thrum” для квіток з коротким стовпчиком маточки і довгими тичинками, та довів, що кращі результати можна одержати при перезапиленні рослин з різними формами квіток. Такий тип запилення Дарвін назвав легітимним. При запиленні однакових типів квіток насіння зав’язується гірше, вважає автор, і називається ілегітимним. Крім ди- аморфізму за довжиною стовпчика та тичинок, автор відмітив розмір пилкових зерен<sup>14</sup>.

У працях Бетсона і Грегорі<sup>15</sup> відмічено наслідування гетеростилії одним геном з двома алелями, один з яких домінантний. Довгостовпчаті типи рослин мають два рецесивні алелі, їх генотип позначається SS, а короткостовпчаті – Ss. Пізніше А.Ернст<sup>16</sup> довів, що локус s складний і містить декілька лінійно розміщених і тісно зчеплених генів, які контролюють розвиток диморфних ознак квітки. Нами вивчено локус s у тютюну апоміктичного розвитку. Одержані результати свідчать про наявність 4 тісно зчеплених генів у тютюну з гомостильним розвитком квітки: довгий стовпчик (G), велика маточка (S), великі пилкові зерна (P), довгі тичинки (A), що формулюється: SS = GSPA.

Філогенетичні відношення виду тютюну складаються на основі генетико-еволюційних перебудов і їх системи розмноження, життєвої форми і циклу, що необхідно врахувати при вирішенні експериментальних задач, пов’язаних із перебудовою системи розмноження у апоміктичних рослин. Гетеростилія – існування в одному виді двох або більше типів квіток, які розпізнаються за рівнем розміщення пильників і маточки у середині квітки. Такий гетероморфізм пов’язаний із самонесумісністю або мутаціями, які спричинює апоміктичне розмноження. Такі припущення необхідно обґрунтувати у подальших дослідженнях і більш глибоко їх вивчити.

Ернст встановив склад гетеростилії трьох абсолютно зчеплених генів:

– G ( Gynaecium) – довжина тичинок – GG; короткий – Gg, довгий – gg;

---

<sup>14</sup> Дарвин Ч. Различные формы цветков у растений одного и того же вида. Соч. N. 9. М. 1948. N. 7. С. 31–251.

<sup>15</sup> Bateson W. Gregory R. P. On the inheritance of Heterostyly in Primula. Proc. Roy. Soc. London. 1905. Vol. 76. P. 581–586.

<sup>16</sup> Ernst A. Heterostylie-Forschung Versuch zur genetischen Anase einen Organisations – and Anpassung – Merkmals. Abstr. Vererd. 1936. 71. S. 156–230.

– A (*Antherenstellung*) – довжина тичинкових ниток: AA і Aa – довгі, короткі – aa;

– P (*Pollen*) – визначає розмір пилку : PP і Pp. – велика, pp. – дрібна.

Короткостовпчата форма несе в собі три доміантні гени у гомозиготному або гетерозиготному стані і утворює два типи гамет G AP, g ap. Довгостовпчаті форми гомозиготні по всіх трьох рецесивних факторах з утворенням гамет g ap.

Аберантні форми містять доміантні і рецесивні гени, тому домінують над довгостовпчатими і рецесивні по відношенню до короткостовчатих. А.Ернст виявив сім із восьми субгенів, які містяться в одному гені: G AP, G ap, G aP, g ap, g Ap, g ap, G Ap. Такі форми появляються за рахунок мутацій окремих субгенів, або за рахунок кросинговера в середині супергена.

Д.Льюїс<sup>17</sup> взяв за основу кроссоверну гіпотезу, яка заключається у можливості розміщення субгенів G AP у супергені. Він також замітив, що до вище вказаних субгенів повинен входити ген S, який контролює розмір клітин приймочки, субген I<sub>1</sub> та I<sub>2</sub> за несумісність приймочки і пилку. Доміантний алель супергена гетеростилії має будову G S I<sub>1</sub> I<sub>2</sub> PA та рецесивний gs i<sub>1</sub> i<sub>2</sub>ра. Сюди можливо додати ще характерні зміни у тютюну при переході на апоміксис (розсіченість віночка, диморфізм пиляку, один з яких може проростати або приростати до стінок квіток, наддовгі приймочки, які сягають більше за пиляки у 1,5 рази). Поява стерильних квіток може бути визвана вищепленням скритих рецесивних генів та порушенням хромосомного балансу, що свідчить про високий рівень апоміктизації та деяких перепон до одержання бажаних форм для подальшого селекційного процесу. Гетеростилію у рослин, яким притаманна ця ознака (гречка) визначає складна генетична система, яка включає один головний суперген і ряд генів-модифікаторів. Суперген виконує обов'язки диморфізму, модифікатори служать стабілізатором гетеростилії, забезпечує нормальний прояв супергена. Зміни алельного складу в середині супергена і серед генів-модифікаторів може призвести до розрушення гетеростилії і появи гомо стильних форм. Гомо стильні форми, тип квітки яких виділяється перебудовою в супергені наслідуються однотипно: всі вони домінують над довгостовпчатими формами і рецесивні по відношенню до короткостовпчатих. Гомостильні форми, тип квітки

---

<sup>17</sup> Lewis D. Comparative incompatibility in Angiosperme and Fungi. Adv. Genet.1954. Vol. 6. P. 235–285.

яких визначають модифікатори, при схрещуванні з гетеростильними рослинами в першому поколінні дають тільки гетеростильне потомство.

У амфіміктичних рослин тютюну гетеростилії квіток не відмічено. Таке явище спостерігається лише у рослин – апоміктів. Кореляція між способом розмноження і явищем редукції квітки є основою для створення антморфологічного методу виявлення апоміктичних форм різних культур. Цей метод застосовується для швидкого визначення апоміктичних форм першого року вивчення. Надалі ця ознака аномалії квітки може втрачатись і не буде цінною при доборі без закріплення через апоміксис.

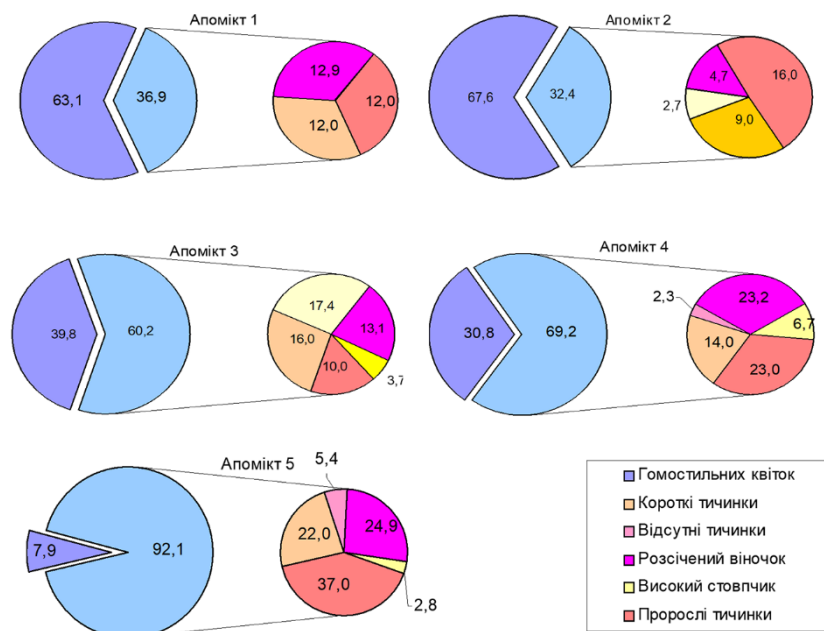
Багатьма авторами описана послідовність редукції частини квітки при апоміксисі: андроцей (починаючи із пилоквих зерен), віночок (до апеталізації або поліпеталізації), зміна функції пильників. У гінецеї відмічено підвищену варіабельність стовбчика і рильця та збільшення зав'язі. При детальному вивченні квіток у апоміктичних рослин виявлено високу частоту аномалії квіток як у розрізі суцвіття так і рослин. В умовах природного польового вирощування нами досліджено 8 номерів апоміктичних форм першого року випробування, де відмічено значну аномалію квіток. Термін «аномалія» (уродливість, тератоморфа), а не гетеростилія, як нормальне явище у гречки є найбільш придатним для даного випадку. Саме така будова квітки є не нормальною для тютюну. Тому аномалія квітки у тютюну розглядається як варіант будови квітки, що виходить за межі адаптивної норми.

Поява стерильних квіток може бути викликана вищепленням скритих рецесивних генів та порушенням хромосомного балансу, що свідчить про високий рівень апоміктизації та деяких перепон до одержання бажаних форм для подальшого селекційного процесу. Одержані дані підтверджують думку С. С. Хохлова про глибокі зв'язки системи розмноження і структури квітки у апоміктів першого року випробування<sup>18</sup>. У форм факультативно апоміктичного розмноження редукція частини квітки проявляється у вигляді високої маточки, що розміщена високо над віночком, великої зав'язі, проростання однієї і рідше двох тичинок рожевим листочком, або приростання їх до віночка, повній відсутності тичинок, деякій

---

<sup>18</sup> Хохлов С. С., Зайцева М. И., Куприянов П. Г. Выявление апомиктичных растений во флоре цветковых растений СССР. Саратов : Изд-во Саратов. Ун-та, 1978. 224 с.

частковій стерильності пилкових зерен або коротких тичинкових ниток. Загальний вигляд найбільш поширених аномалій наведено на рисунку 1.



**Рис. 1.** Апоміктичні аномалії квіток

Аномальні квітки із пророслою тичинкою характеризуються високою фертильністю пиляків, їх життєздатністю та хорошою виповненістю. Коробочки апоміктичних форм на 30–40 % більш виповнені за звичайних фертильних форм високопродуктивним насінням, що є бажаним у послідуєчих доборах для закріплення цієї ознаки у сорту-апомікта. Інші апоміктичні аномалії спричинюють зниження зав'язування насіння за відсутністю статевого розмноження, що призводить лише до безстатевого розмноження (рис. 2).

Для вивчення характеру зав'язування коробочок при редукції квіток у рослин-апоміктів нами проводились дослідження примусового зав'язування коробочок під ізолятором та вільне запилення (рис. 2). Встановлено зниження запліднення квіток навіть у гомостильних квіток при ізоляції суцвіття (19,1 %), що пов'язано із

обмеженням доступу повітря, підвищеній температурі та вільного розгалуження суцвіття.



**Рис. 2. Зав'язування коробочок при аномаліях квіток**

У аномальних квіток із високим стовпчиком при вільному запиленні зав'язалось лише 11,4 % коробочок, а при ізоляції менше на 49 %. Суцвіття із короткими тичинками характеризувалось більш високим показником зав'язування коробочок (18,2 %) при вільному запиленні, та на половину менше при ізоляції. Відсутність тичинок також не спричинила повної безплідності рослини. При обліку коробочок на таких суцвіттях виявлено до 9,5 % зав'язуваності при вільному запиленні та 4,4 % при ізоляції. Інші аномалії квіток (проросла тичинка, коротка одна тичинка та розсіченість віночка) значно не вплинуло на характер запліднення квіток і складали в межах нормального запилення.

Кількісна мінливість квіток та пилкових зерен наведена в таблиці 3. Матеріали свідчать про низький коефіцієнт варіації розміру квіток в межах досліджуваних зразків, за виключення апомікту № 3, в якого коефіцієнт варіації складав 12 % із коефіцієнтом вирівняності 88 %.

При обстеженні фертильності пилкових зерен під мікроскопом виявлено значну мінливість показників стерильності пилкових зерен серед вивчених зразків. Так, стандарт характеризувався також досить високим рівнем стерильності пилкових зерен. Така ознака не є звичайною, а пояснюється високою температурою повітря при досяганні пилкових зерен. У апоміктів № 4 і 5 відповідно стерильних пилкових зерен виявилось 52 і 85 %, що свідчить про аномалію

пилкових зерен та збільшення мінливості структур, які обслуговують безстатеве запліднення.

Таблиця 3

**Характеристика квіток у апоміктів першого року вивчення**

№ рослин-апоміктів	Довжина квітки, см (x+s <sub>x</sub> )	Коефіцієнт варіації V, %	Коефіцієнт вирівняності B, %	К-ть стерильних пилкових зерен, % *	К-ть фертильних пилкових зерен, % *
1 (стандарт)	6,3 ± 0,015	0,25	99,75	42	58
2 (N. alata)	8,5 ± 0,02	0,3	99,7	37	63
3 (A1)	5,4 ± 0,3	12	88	34	66
4 (A1)	5,3 ± 0,01	0,2	99,8	52	48
5 (A1)	5,9 ± 0,1	8,3	91,7	85	15

*Примітка.* \* – облік фертильності пилкових зерен під мікроскопом в полі зору біокуляр-мікрометра на 9–10 поділі.

Діапазон розміру тичинок найбільш широкий і складає від 2,0 до 9,8 см. Довжина стовпчика маточки також варіює від 3,5 до 9,8 см, що складає від 23 до 74 % . У розрізі зразків мінливість довжини стовпчика не висока і складає від 6,4 до 12,2 %, що свідчить про високий коефіцієнт вирівняності в межах ділянки (табл. 4).

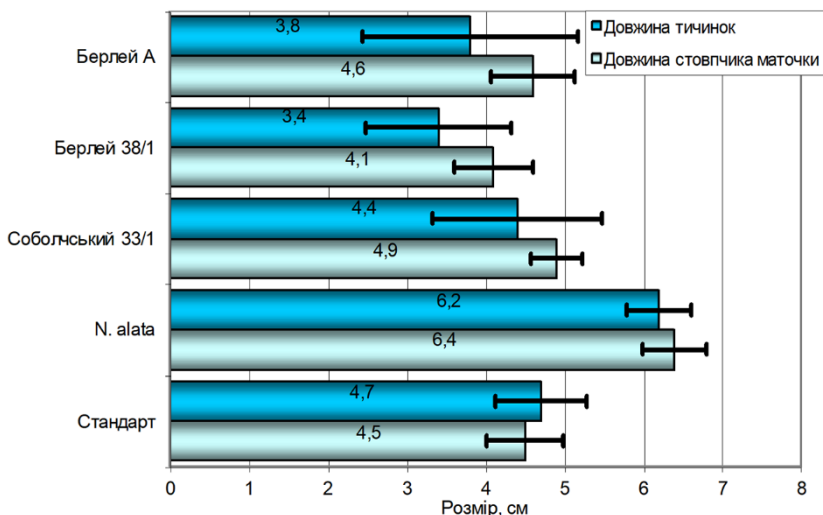
Загальний обсяг вивченого матеріалу складає 250 суцвіть та 1250 квіток. В кожному суцвітті відмічено аномалію квіток за декілька ознаками.

Таблиця 4

**Мінливість кількісних ознак квіток у апоміктів**

Діапазон довжини, см			Частота, f			Коефіцієнт варіації V, %		
квітки	стовпчика маточки	тичинки	1	2	3	1	2	3
–	–	2,0–3,4	–	–	21	–	–	53,8
4,5–4,9	3,5–4,0	3,5–4,0	7	21	9	31,9	40,5	20,5
5,0–5,5	4,1–4,5	4,1–4,5	58	33	17	28,8	34,8	25,8
5,6–6,0	4,6–5,0	4,6–5,0	22	19	25	25,8	31,2	45,6
6,1–6,5	5,1–5,5	5,1–5,5	13	14	11	23,8	34,6	28,3
6,6–9,6	5,6–9,8	5,6–9,8	9	7	22	74,0	71,4	66,6

Характерною особливістю для апоміктів є значна мінливість в межах зразка довжини тичинок. Так, у вивченого матеріалу коефіцієнт варіації складає від 6,6 до 36,1 % із мінливим коефіцієнтом вирівняності (рис. 3).



**Рис. 3. Мінливість довжини тичинок та стовпчиків маточки**

При багатомірному визначенні відмічена частота зустрічаємості аномалій квіток: квітки малих розмірів (4,4–4,9 см) – 3 %, стовпчики маточки нижні за звичайні (3,5–4,5 см) – 26 %, вищі за довжину квітки – 5 %, тичинки нижчі за стовпчик маточки – 9 %, суцвіття із стерильними квітками – 12 %, стерильними пилковими зернами – 18 %. У апоміктичних рослин зустрічається коротша одна тичинка, або проросла листочком чи приросла до стінок віночка із частотою 18%. Частим є сильна повздовжня розсіченість віночка, що призводить до швидкого висихання маточки та стерильності пилових зерен під дією температури та вітру.

У результаті проведених досліджень виявлено значну аномалію квіток у тютюну апоміктичного розвитку. Одержані нами дані підтверджують думку багатьох вчених про глибокий взаємозв'язок системи розмноження і структури квітки. У факультативно розмноженого тютюну при регулярному апоміксісі відмічено ряд аномалій квітки, які знижують адаптивну роль запилення у процесі розмноження виду. В результаті аномалій тичинок і маточки, що заважає запиленню, збільшується мінливість структур, які обслуговують безстатеве розмноження і породжують нові типи мутацій при направлених доборах, що цінно для селекційної практики.



Для тютюну апоміктичного типу розмноження аномалія квіток не є обов'язковою особливістю. Ряд форм не виявили аномалію квіток, хоча їх апоміктична природа підтверджена цитологічно. Для апоміктичних форм в цілому характерний широкий набір аномальних відхилень у будові квітки і не змінний в залежності від географічно віддалених пунктів випробування.

Порядок збільшення мінливості частини квітки розміщується у такій послідовності: квітки малих розмірів, стовпчик маточки вищий у 1,3 рази від віночка, тичинки нижчі за стовпчик маточки, відсутність тичинок, проросла тичинка листочком або приросла до віночка, стерильні пилкові зерна, нижчий стовпчик маточки за звичайний, повздожна розсіченість віночка. Відмічено зменшення функції пилку у процесі розмноження за рахунок найбільш виявлених аномалій стерильності пилових зерен та різнобію у висоті тичинок і маточки. На основі результатів досліджень нами розроблений класифікатор оцінки характерних морфологічних ознак будови суцвіття та квіток із урахуванням аномалій при апоміксії.

### 3. Аналіз прояву ефекту апоміксії у А1

Апоміксіс став дієвим методом вирішення ряду питань у селекційному процесі тютюну. Так, після проведення діалельного схрещування нами проведено детальний аналіз комбінацій, оцінка за кількісними ознаками та виділення тих, які характеризувались високим ефектом гетерозису. З 36 комбінацій виділено 7 та закріплено ефект гетерозису через індукування апоміксісу шляхом схрещування формою тютюну *Nicotiana alata*. Матеріали оцінки першого покоління гібрида та апомікта наведено на табл. 5.

Аналізуючи одержані матеріали за висотою рослин встановлено високі показники висоти рослин (оптимальна висота рослин 165 см) та закріплення даних у апоміктів. Високим коефіцієнтом вирівняності характеризувались гібриди F<sub>1</sub> Берлей 7 / Берлей 9/10 (99,03), Берлей 7 / Пологі шарго (98,63) та Берлей 9/10 / Спектр (98,43), де і коефіцієнт варіації ознаки був досить низьким.

Апомікти першого року випробування (візуально рослини з ідентичними ознаками материнських форм, бо серед них виділялись химери біля 3–4 відсотків, низькопродуктивні та хворі рослини, або рослини з новими мікроознаками) характеризувались високим коефіцієнтом вирівняності та низьким коефіцієнтом варіації ознаки.

Наглядні матеріали закріплення ознаки висоти рослин у дослідних комбінацій наведено на рис. 4. З даних видно, що

Таблиця 5

**Закріплення ефекту гетерозису у апоміктів першого покоління А1 за висотою рослин**

Гібриди	Гібрид першого покоління F1				Апомікт першого покоління А1					
	Висота, см ( $\bar{x} \pm s_x$ )			Коеф. варіації V, %	Коеф. вирівнян. В, %	Висота, см ( $\bar{x} \pm s_x$ )			Коеф. варіації V, %	Коеф. вирівн. В, %
Берлей 9/10 / Берлей 7	187,1	±	2,6	4,37	95,63	181	±	0,5	0,81	99,1
Берлей 7 / Берлей 9/10	178,9	±	0,5	0,97	99,03	179	±	0,5	0,80	99,2
Пологі шарго / Спектр	172,9	±	1,6	2,95	97,05	179	±	0,5	0,88	99,1
Жовтолистний 36 / Берлей 9/10	174,9	±	1,7	3,14	96,86	179	±	0,9	1,56	98,4
Берлей 7 / Пологі шарго	176,4	±	0,8	1,37	98,63	175	±	0,6	1,08	98,9
Спектр / Берлей 9/10	170,6	±	1,2	2,14	97,86	170	±	1,0	1,94	98,0
Берлей 9/10 / Спектр	183,3	±	0,9	1,57	98,43	182	±	1,0	1,80	98,2

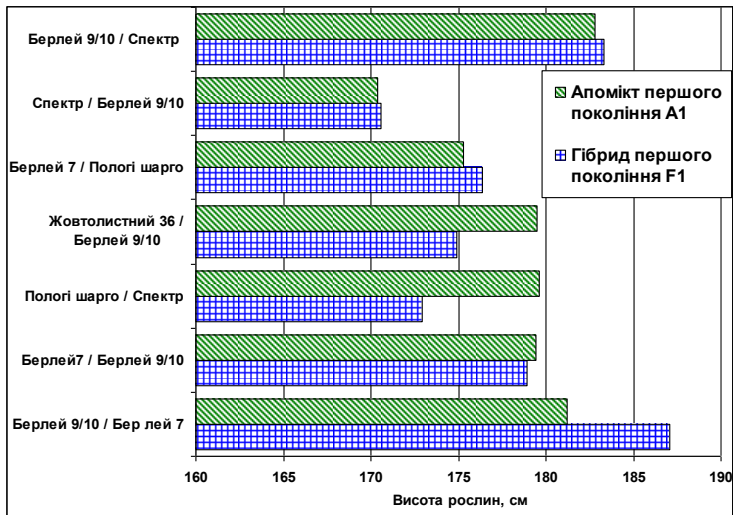
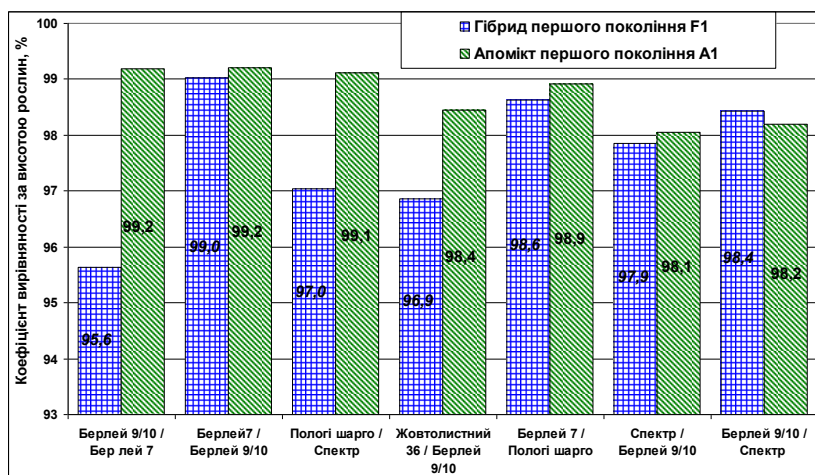


Рис. 4. Закріплення ефекту гетерозису у апоміктів А1 за висотою рослин

більшість гібридів не мають розбіжності за висотою, лише гібрид Берлей 9/10 / Берлей 7 значно відрізнявся за висотою 181,2 см у апомікта проти 187,1 см у гібрида першого року випробування. Жовтолистний 36 / Берлей 9/10 та Пологі шарго / Спектр покращили показники у апоміктичному поколінні. Такі розбіжності можна пояснити екологічною пластичністю форм, адже погодні умови значно впливають на розкриття висоти рослин.

При вивченні матеріалу за коефіцієнтом вирівняності також відмічено високу вирівняність за висотою рослин у Берлей 9/10 / Берлей 7 апомікта та досить низьку у гібрида F1 (99,2 проти 95,6), Жовтолистний 36 / Берлей 9/10 (98,4 проти 96,9). Матеріали наведено на рис. 5. Слід відмітити високі властивості вирівняності за висотою рослин у Берлей 7 / Пологі шарго, Спектр / Берлей 9/10 та Берлей 9/10 / Спектр.



**Рис. 5. Коефіцієнт вирівняності за висотою рослин експериментального матеріалу апоміктів A1**

Таким чином встановлено, що на рівень прояву ознак впливає генотипова особливість та умови вирощування. При детальному аналізі рівня закріплення гетерозису встановлено високі показники вирівняності, що методично обґрунтовано і даний спосіб закріплення

гетерозису можливо рекомендувати для практичного використання у гетерозисній селекції.

#### 4. Аналіз розщеплення апоміктів А<sub>1</sub>

Створення апоміктів при міжвидовій гібридизації – явище унікальне, тим більше, що багатонасінність тютюну в одній коробочці дозволяє використовувати навіть дуже малу можливість маніпулювати ними у практичній селекції. У даному випадку вірогідність складає біля 1:500 по відношенню до загальної кількості бруньок, адже у одній коробочці біля 2–4 тис. насінин. Фоке був першим, хто розкрив формування материнського типу рослин при гібридизації без запилення, а лише стимулюючи яйцеклітину до розвитку, він і назвав це явище псевдогамією. У послідовних дослідженнях ним було встановлено, що в результаті псевдогамії в першому гібридному поколінні замість проміжного типу рослин відмічалась поява організмів, які не відрізняються за морфологічними ознаками від рослин материнської форми. Найбільш цінною особливістю псевдогамних рослин – значна перевага диплоїдних рослин материнського типу<sup>19</sup>.

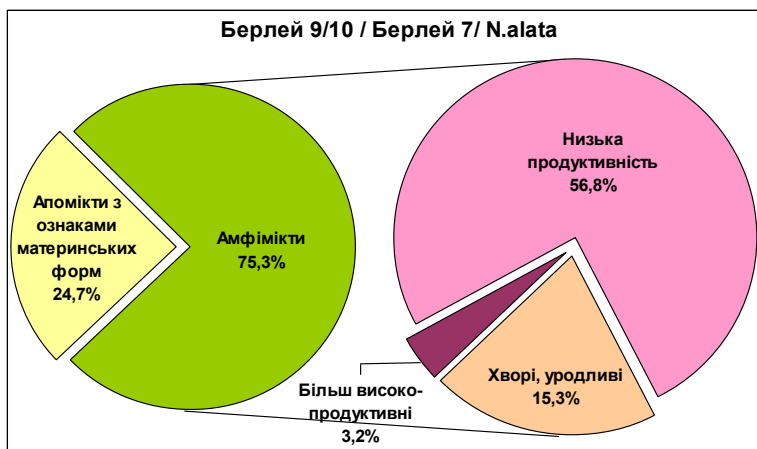
Апоміксис – благополучний фактор у руках селекціонера для еволюції рослин, які володіють даною характеристикою. У процесі добору апоміксис сприяє виділенню і закріпленню кращих рослин, відкривається шлях комбінативної мінливості на основі часткового амфіміксису з послідовним закріпленням гетерозиготних форм апоміксису. Аномальний процес проявлений у видозміні забарвлення, опушеності листка, жилкування гігантських розмірів рослини та їх карликовості є звичайним явищем у апоміктів. У тютюну апоміктичного способу розмноження відмічена дегенерація квіток, яка виражається у різній формі гетеростилії та стерильності. Разом з тим, суцвіття значно більші за амфіміктичні з коротшим періодом цвітіння.

Явище апоміксису унікальне ще і тим, що у першому поколінні саме спостерігається розщеплення. Тому нами приділено значну увагу саме апоміктам А<sub>1</sub>. Кращі гібридні комбінації F<sub>1</sub> шляхом схрещування 4-5 рослин *N.alata* переведено на апоміктичну основу і насіння було висіяно для подальшого аналізу А<sub>1</sub> у порівнянні з материнськими формами F<sub>1</sub>. На рис. 6 наведено розщеплення

---

<sup>19</sup> Петров Д. Ф. Потомство без отцов (апомиксис и его значение для селекции). Наука. Сибирское отделение. 1976. 124 с.

апомікта А<sub>1</sub> Берлей 9/10 / Берлей 7/ *N.alata*. Аналізуючи одержані матеріали, слід відмітити, що у експериментального гібрида-апомікта одержано 24,7% рослин схожих за морфологічними ознаками та за рівнем їх прояву на материнську форму, 10 рослин якої було висаджено поряд. Таким чином інші рослини з різним проявом аномалій перевищення або зниження продуктивності є амфіміктами. Серед цих рослин відмічено 3,2 % мутанти з високою продуктивністю особливо за висотою рослин, яка перевищувала материнські та аномальність кольору (темно-зелений або світло-жовтий не притаманний материнській формі, сильна сітчастість листка, густе розміщення жилкування). Серед амфіміктів виявлено 15,3 % хворих, потворних рослин, які зразу видалялись з ділянки. На долю менш продуктивних низькорослих рослин припадало 56,8 % рослин. Таким чином рослини апоміктичного способу розмноження виділяли для кастрації квіток і відведення під ізолятор для одержання насіння для випробовування покоління А<sub>2</sub>, де буде спостерігатись константність кількісних ознак.



**Рис. 6. Розщеплення апомікта А<sub>1</sub> Берлей 9/10 / Берлей 7/ *N. alata***

У результаті детального аналізу специфічного розщеплення форм у А<sub>1</sub> слід відмітити, що кожна гібридна комбінація має свою особливість розщеплення і відсутня якась закономірність прояву, як це відмічається у другому гібридному поколінні. Таким чином виділено кращі гібридні комбінації Берлей 9/10 / Спектр / *N. alata*,

Спектр / Берлей 9/10/ *N. alata* та Жовтолистний 36 / Берлей 9/10/ *N. alata*, які характеризувались високим відсотком апоміктів та аномальних мутаційних проявів морфологічних ознак, що послужило розширення вихідного матеріалу для селекції тютюну через закріплення цих відхилень апоміксом.

### 5. Аналіз апоміктів A<sub>2</sub> та тривалість константності ознак

Дуже важливо простежити ймовірність закріплення ефекту гетерозису у апоміктів A<sub>2</sub> та виділити форми із константними ознаками для виробничого впровадження. Аналізували кращі гібриди-апомікти, які забезпечують високу продуктивність і стійкість до хвороб. Наведено матеріали порівняльної характеристики прояву кількісних ознак апоміктів A<sub>1</sub> та A<sub>2</sub>, результати яких фіксувались упродовж трьох років і доля впливу погодних умов року присутня, у деяких форм значна та закріплення висоти рослин на рис. 7.

Аналізуючи одержані матеріали встановлено, що ознака висоти рослин не сильно міняється при пересіві насіння рослин, відведених під ізолятор у гібридів-апоміктів Берлей 9/10 / Берлей 7 (181,2 проти 180 см), Спектр / Берлей 9/10 (170,4 проти 171 см), інші форми мали дещо більшу розбіжність із-за зміни погодних умов та агротехнології.

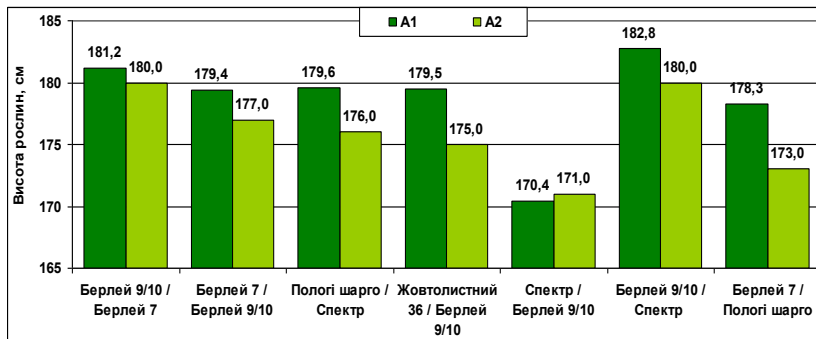


Рис. 7. Закріплення висоти рослин у апоміктів A<sub>1</sub> та A<sub>2</sub>

На основі тривалих досліджень встановлено, що метод кастрації квіток та відведення під ізолятор дає з високою точністю констатувати, що досліджувана форма володіє апоміктичним

методом розмноження і лише після такої перевірки висівається чи відкладається насіння на зберігання.

## **6. Застосування апоміксису в процесі селекції**

Виробництво тютюну споконвічно було одним із головних напрямків розвитку сільського господарства та розв'язанням соціальних проблем села. За останні роки урожайність, валові збори та економічна ефективність залишається дуже не стабільною, що позначається на подальшому розвитку всієї галузі, а останнім часом загрозою зникнення існування цього напрямку сільсько-господарського виробництва. Потенціал культури досить високий і при розумному використанні всіх важелів управління ефективністю цією галуззю може приносити доходи до 2,5–3 тис. гривень з гектара.

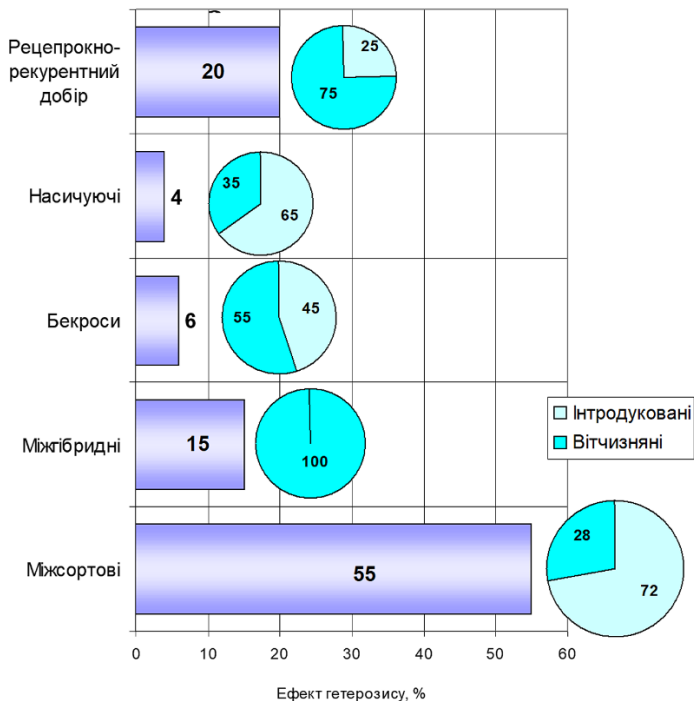
За останні роки стрімко змінюється ставлення до цієї дуже трудомісткої культури, що пов'язано в першу чергу із зміною форм власності та можливостей затрат на виробництво. З поширенням виробництва тютюну у приватному секторі (75 %) зріс попит на насіння сортів із низькою матеріалоемністю при виробництві одиниці продукції та скоростиглістю з метою скорочення вегетаційного періоду для швидкого і результативного одержання прибутку. Важливість створення гетерозисних гібридів пов'язано із вирішенням ряду проблем не тільки виробників, але і авторів сортів і гібридів: гібриди в першу чергу дають ідеальну можливість контролювати розмноження і реалізацію насіння, виконувати основний принцип маркетингу, коли покупець максимально залежить від продавця насіння; наявність широкого діапазону вихідних форм дає можливість у короткі строки реагувати на мінливу кон'юнктуру ринку; можливість поєднувати в одному гібриді такі ознаки, які у сорті поєднати не можливо.

Створення гетерозисних гібридів триває дещо менше часу, ніж сорти і включає такі етапи: проведення маркетингових досліджень ринку і формування його під можливості власного генбанку; створення моделей гібридів і добір батьківських форм; гібридизація і вивчення комбінаційної здатності; конкурсне випробування гібридів; розмноження вихідних форм і гібридів.

Щоб одержати високий гетерозисний ефект за продуктивністю, батьківські форми повинні взаємодоповнювати одна одну за її елементами. За даними спостережень гетерозис у більшості гібридних форм тютюну спостерігається за висотою, розміром листка та їх кількістю. Ця ознака дуже мінлива як за роками так і за

якісним і кількісним складом вихідних форм. Ознака висоти досить мінлива по роках випробування (17–45 %). Менш мінливими є кількість технічних листків та ширина листків.

Прояв гетерозису у значній мірі залежить від вибраної схеми схрещування та залучених компонентів. Проведений аналіз наведений на рис. 8.



**Рис. 8. Вплив схеми схрещування та компонентів на прояв ефекту гетерозису**

Високоєфективними схемами схрещування є парні міжсортіві схрещування, з якими отримано 55 % селекційного матеріалу із показниками гетерозису. Про важливість реципрокного методу селекції для одержання ефекту гетерозису також не слід нехтувати. Для виведення гетерозиготних форм тютюну новим напрямком селекційного процесу є використання регулярного апоміксису, яким можливо закріпити цінні властивості та очікувати появу нових мутацій при індукції апоміксису. Даним методом можливо закріпити



властиві ознаки гібриду, але і одержати нові апоміктичні сорти, які досі у природі не існували при селекційному процесі традиційним методом.

## **ВИСНОВКИ**

Застосування апоміксису у селекції тютюну сприяє скороченню селекційного процесу, закріпленню гетерозису, виявленню нових і рідкісних мікроознак у тютюну, а також для безпосереднього використання химер з комплексом цінних ознак у вигляді господарсько-цінного вихідного матеріалу. При створенні нових сортів без суттєвого доопрацювання цього матеріалу прискорюється селекційний процес на 4-6 роки та дає можливість закріпити ознаку високої стійкості проти хвороб, закріплення ефекту гетерозису та переведення стерильних форм на фертильну основу при потребі. У результаті детального аналізу специфічного розщеплення форм у  $A_1$  слід відмітити, що кожна гібридна комбінація має свою специфіку розщеплення і відсутня якась закономірність прояву, як це відмічається у другому гібридному поколінні. Таким чином виділено кращі гібридні комбінації Берлей 9/10 / Спектр / *N. alata*, Спектр / Берлей 9/10/ *N. alata* та Жовтолистний 36 / Берлей 9/10/ *N. alata*, які характеризувались високим відсотком апоміктів та аномальних химерних проявів морфологічних ознак, що послужило розширенню вихідного матеріалу для селекції тютюну через закріплення цих відхилень апоміксисом.

## **АНОТАЦІЯ**

На основі всебічного вивчення генетичних ресурсів тютюну, удосконалення методів селекції на підвищення ефекту гетерозису та способів його закріплення створити вихідний матеріал та нові сорти з високим потенціалом продуктивності для створення гібридів з високою гетерозисною здатністю та подальшого його закріплення через апоміксис.

Вихідним матеріалом для досліджень були колекційні зразки, виведені селекціонерами станції та інтродуковані з країн Європи, зареєстровані в Національному генетичному фонді України. Проведено гібридизацію за діалельною схемою та отримано насіння  $F_1$  від 36 гібридних комбінацій. Кращі гібриди з високим ефектом гетерозису переведені на апоміктичну основу з метою закріплення гетерозису. Висіяно одержані апомікти та виділено 7 з кращими показниками за комплексом ознак і перевірено на наявність

апоміктичної властивості для висіву у подальшому для одержання гібридів-апоміктів з високими показниками продуктивності.

У результаті детального аналізу специфічного розщеплення форм у А1 слід відмітити, що кожна гібридна комбінація має свою специфіку розщеплення і відсутня якась закономірність прояву, як це відмічається у другому гібридному поколінні. Встановлено критерії добору можливих апоміктів за здатністю формувати рослини у А1 з материнськими ознаками біля 25% рослин та відбір насіння для подальшого висіву лише після кастрації квіток та відведення під ізолятор. У другому поколінні А2 спостерігається високий рівень константності, що дозволяє відбір рослин без кастрування, але підбір під ізолятором. Основною маркерною ознакою для ідентифікації генотипів з елементами апоміксису є морфологічні особливості за материнським типом, що потребує висаджування поряд гібридне насіння першого покоління.

### Література

1. Е. И. Савина, М. Ю. Глюдзык, К. А. Шейдик Анализ проявления эффекта апомиксиса у А<sub>1</sub>. Актуальные вопросы современной науки. Сборник научных трудов. Выпуск 37. Новосибирск, 2014. С. 6–15. ISBN 978-5-00068-170-1.

2. Тоцький, В. М. Генетика [Текст]. Одеса : Агропринт, 2002. 712 с.

3. Asker, S. E. Apomixis in Plants [Text] / S. E. Asker, L. Jerling. Boca Raton: CRC Press, 1992. 298 p.

4. Наумова, Т. Н. Апоспория. Диплоспория. Ультраструктурные аспекты апомиксиса. Эмбриология цветковых растений. Терминология и концепции [Текст]. Том 3 / под ред. Т. Б. Батыгиной. Санкт-Петербург : Мир и семья, 2000. С. 146–192.

5. Мандрик В. Ю. Гаметофітний апоміксис у деяких видів Rosacea іх флори Українських Карпат. Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Біологія, вип. 27, 2009. С. 117–122.

6. Мандрик В.Ю. Апоміксис у *Potentilla argentea* L. (Rosaceae). Наук. вісник УжДУ. Серія Біологія, № 6. 1999. С. 41–45.

7. Мандрик В. Ю. Результати ембріологічних досліджень видів родини Rosaceae. Наук. вісник УжДУ. Серія Біологія, № 7. 2000. С. 129–131.

8. Czupic R. Controversy Around Apomixis. Acta biol. Crac. ser. bot. 2000. 42. № 2. P. 55–59.

9. Гарт О. Ю., Куракса Н. П., Кондратенко С. І. Біометричні та біохімічні показники плодів селекційно-цінних зразків перцю солодкого за умов статевого та змішаного апоміктично-статевого розмноження. Овочівництво і баштанництво. 2014. Вип. 60. С. 44–51.

10. Савіна О. І. Глюдзик М. Ю. Особливості розщеплення апоміктів тютюну *A<sub>1</sub>*. Агробіологія. Збірник наукових праць. Біла Церква, № 2(113). 2014. С. 126–130.

11. Глюдзик М. Ю., Матієга О. О., Савіна О. І. Методологічне удосконалення застосування апоміксису у селекції тютюну. Науковий журнал «Генетичні ресурси рослин». Харків, 2014.

12. Crowe L. K. The evolution of outbreeding in plants. The angiosperms. *Heredity*. 1964. Vol. 19. P. 345–457.

13. Vuilleumier B. S. The origin and evolutionary development of heterostyly in the Angiosperms. *Ibid.* 1967. Vol. 21. 2. P. 210–220.

14. Дарвін Ч. Различные формы цветков у растений одного и того же вида. *Соч.* Т. 9. М. 1948. Т. 7. С. 31–251.

15. Bateson W. Gregory R. P. On the inheritance of Heterostyly in *Primula*. *Proc. Roy. Soc. London*. 1905. Vol. 76. P. 581–586.

16. Ernst A. Heterostylie-Forschung Versuch zur genetischen Anase einen Organisations and Anpassung – Merkmals. *Abstr. Vererd.* 1936. 71. S. 156–230.

17. Lewis D. Comparative incompatibility in Angiosperme and Fungi. *Adv. Genet.* 1954. Vol. 6. P. 235–285.

18. Хохлов С. С., Зайцева М. И., Куприянов П. Г. Выявление апомиктичных растений во флоре цветковых растений СССР. Саратов : Изд-во Саратов. Ун-та, 1978. 224 с.

19. Петров Д. Ф. Потомство без отцов (апомиксис и его значение для селекции). Наука. Сибирское отделение. 1976. 124 с.

#### **Information about the authors:**

**Savina Olena Ivanivna,**

Doctor of Agricultural science,

Professor at the Department of Horticulture and Viticulture  
State University "Uzhhorod National University"

18, Universytetska str., Uzhhorod, 88000, Ukraine

**Hliudzyk-Shemota Marharyta Yuriivna,**

Candidate of Agricultural science,  
Associate Professor at the Department of Genetics,  
Plant Physiology and Microbiology,  
State University "Uzhhorod National University"  
18, Universytetska str., Uzhhorod, 88000, Ukraine

**Sheidyk Karolina Arturivna,**

Candidate of Agricultural science,  
Associate professor at the Department of Horticulture and Viticulture,  
State University "Uzhhorod National University"  
18, Universytetska str., Uzhhorod, 88000, Ukraine

## **МІЖМОЛЕКУЛЯРНІ ТА ВНУТРІШНЬОМОЛЕКУЛЯРНІ ВЗАЄМОДІЇ У КОМПЛЕКСНИХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВІ ФЕНІЛОНУ: КВАНТОВО-ХІМІЧНА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ**

**Токар А. В., Чигвінцева О. П.**

### **ВСТУП**

Комп'ютерне моделювання хімічних систем надає широкі можливості для вивчення особливостей будови та реакційної здатності хімічних сполук, а також деталізації природи міжмолекулярних взаємодій та дослідження спектральних властивостей речовин за допомогою надійних методів квантової хімії. При цьому на початкових етапах дослідження принципового значення набуває питання вибору модельних сполук, які б забезпечували можливість адекватного відтворення особливостей будови та міжмолекулярних взаємодій, що виникають у досліджуваних системах, й одночасно характеризувалися такими важливими рисами як простота та зручність з точки зору проведення квантово-хімічних розрахунків. У цьому випадку першочерговим завданням постає створення таких теоретичних моделей, які б урахували наявність базових структурних фрагментів макромолекул та характеристичних взаємодій між ними без значної деталізації внутрішньої будови окремих складових цих систем.

Наведені у роботі результати квантово-хімічних досліджень свідчать про принципову можливість застосування методів і прийомів квантової хімії для вивчення особливостей внутрішньо- та міжмолекулярних взаємодій на рівні окремих ділянок – структурних фрагментів макромолекул. Завдяки глибокому теоретичному обґрунтуванню природи міжмолекулярних взаємодій результати розрахунків, як правило, добре узгоджуються зі спектральними даними щодо будови досліджуваних полімерних матеріалів та можуть мати принципове значення з точки зору попередньої оцінки спорідненості окремих компонентів при створенні нових композитів на їх основі.

В якості полімерної матриці використовували ароматичний поліамід марки фенілон С-1 (ТУ 6-05-221-101-71). Цей полімер

отримують за реакцією поліконденсації при взаємодії діамінів (75 % *meta*-фенілендіаміну та 25 % *para*-фенілендіаміну) з дихлорангідридом ізофталевої кислоти. Структурну формулу фенілону С-1 представлено на рис. 1.

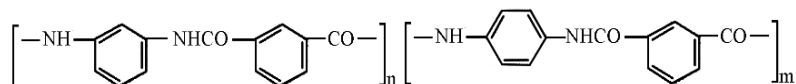


Рис. 1. Структурна формула фенілону С-1

У вихідному стані він являє собою дрібнодисперсний прес-порошок рожево-білого кольору з насипною щільністю 0,2–0,4 г/см<sup>3</sup> та основним розміром частинок 40–60 мкм. В якості наповнювача використовували, наприклад, аморфний діоксид кремнію – силікагель, який отримували з висушеного, промитого та подрібненого гелю, що утворюється при підкисленні водно-лужного розчину натрій метасилікату. У вихідному стані він являє собою дрібнодисперсний прес-порошок білого кольору з насипною щільністю 0,3–0,6 г/см<sup>3</sup> та основним розміром частинок 5–10 мкм.

ІЧ спектри фенілону було записано на приладі SPECTRUM ONE (PerkinElmer). Зразки для запису запресовано із порошку вихідного полімеру, а також композиційного матеріалу на його основі за стандартною методикою із КВг<sup>1</sup>. Ефективний діаметр таблеток становив близько 12 мм із їх товщиною приблизно 1 мм. У цьому випадку був доцільним вміст полімерного порошку у кількості не більше 3 мас.%. Квантово-хімічні розрахунки на рівні *ab initio* теорії виконано із застосуванням пакету програм Gaussian 03, Revision E.01 із подальшою візуалізацією результатів у GaussView 3.0<sup>2</sup>. Статистичну обробку даних здійснювали за допомогою ORIGIN Professional 6.0.

Енергію взаємодій після корекції похибки суперпозиції базисного набору методом протиставлення обчислювали із повним базисним набором комплексів, встановлюючи відповідний заряд на нульове значення у міжмолекулярній конфігурації, яка є подібною до конфігурації комплексу. Топологічний аналіз здійснювали шляхом розрахунку електронної густини ( $\rho$ ) та її другої похідної – Лапласіану

<sup>1</sup> Thompson J. M. Infrared Spectroscopy. Pan Stanford, 2018. P. 110.

<sup>2</sup> Бутырская Е. В. Компьютерная химия: основы теории и работа с программами Gaussian и GaussView. М., 2011. С. 100.

електронної густини ( $\nabla^2\rho$ ) для зв'язків у модельних сполуках із застосуванням програмного пакету AIM2000. Ефекти кон'югації та гіперкон'югативні взаємодії аналізували із залученням теорії натуральних зв'язуючих орбіталей (NBO). Для кожного донора NBO ( $i$ ) та акцептора NBO ( $j$ ) енергію стабілізації  $E(2)$ , пов'язану із делокалізацією ( $i \rightarrow j$ ), оцінювали як:

$$E(2) = \Delta E_{ij} = q_i \frac{F(i,j)^2}{\varepsilon_j - \varepsilon_i}, \quad (1)$$

де  $q_i$  – зайнятість орбітали донора,  $\varepsilon_j$  та  $\varepsilon_i$  – діагональні елементи (орбітальні енергії), а  $F(i,j)$  – позадіагональний елемент NBO матриці Фока.

## 1. Особливості ефективних *стекинг*-взаємодій у полімерних матеріалах арамідного типу

Як відомо, до *стекинг*-взаємодій відносять переважно невалентні міжмолекулярні взаємодії, що виникають між  $\pi$ -системами ароматичних фрагментів та мають природу ван-дер-ваальсових зв'язків<sup>3</sup>. Такі взаємодії, поряд із «класичним» водневим зв'язуванням<sup>4</sup>, відіграють важливу роль у формуванні структури полімерних матеріалів арамідного типу, зокрема фенілонів. Дослідження особливостей розподілу електронної густини у модельних супермолекулах димерів бензену (рис. 2) із  $T$ -подібною, паралельно-змщеною та сандвічевою структурою, що перебувають у газовій фазі, свідчить про те, що перші два типи димерів відповідають мінімумам на поверхні потенційної енергії, причому структура із паралельно-змщеними молекулами є більш стійкою, а сандвіч – перехідному стану між ними<sup>5</sup>. У випадку димеризованої форми модельної сполуки  $N$ -фенілбензаміду, що відтворює особливості ефектів водневого зв'язування у полімерній матриці фенілону, розділення одержаної рівноважної геометрії димеру на

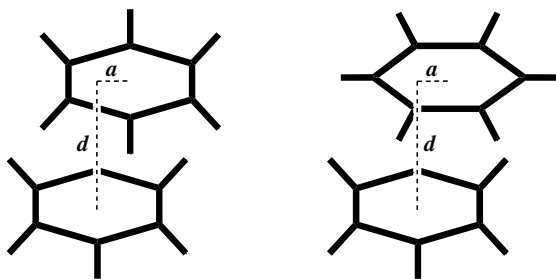
---

<sup>3</sup> Munshi P., Guru Row T. N. Charge density based classification of intermolecular interactions in molecular crystals. *CrystEngComm*. 2005. № 100. P. 610.

<sup>4</sup> Zhikol O., Shishkin O. V., Lyssenko K. A., Leszczynski J. Electron density distribution in stacked benzene dimers: A new approach towards the estimation of stacking interaction energies. *J. Chem. Phys.* 2005. № 122. 144104-2.

<sup>5</sup> Hill J., Platts J. A., Werner H.-J. Calculation of intermolecular interactions in the benzene dimer using coupled-cluster and local electron correlation methods. *Chem. Phys. Phys. Chem.* 2006. № 35. P. 4075.

мономерні складові з їх подальшою оптимізацією у наближенні V3LYP/6-311++G(d,p) призводило до утворення двох ідентичних структур. Розрахунок коливальних частот для всіх локалізованих стаціонарних точок свідчив про відсутність уявних коливань, що дозволило охарактеризувати їх як мінімуми на поверхні потенційної енергії.



**Рис. 2.** Приклади деяких конформацій бензенового димеру із параметрами  $\pi$ -стекинґ-взаємодій

Аналіз орбітальних взаємодій, що виникають в умовах утворення комплексу із водневим зв'язком, у межах теорії натуральних зв'язуючих орбіталей (NBO) показав, що головний внесок у загальну енергію стабілізації системи становлять перекривання типу  $n_{1,2}(O) \rightarrow \sigma^*(NH)$  із відповідними параметрами  $E(2)$ , що складають 15,4 та 9,5 кДж/моль, у той час як інші внутрішньо- та міжмолекулярні взаємодії мало відрізняються за енергією й носять переважно електростатичний характер. При цьому типові  $T$ -подібні *стекинґ*-взаємодії, що виникають між бензеновими ядрами на відстанях  $\sim 2,997$  Å, відповідають перекриванням  $\pi(C=C) \rightarrow \sigma^*(CH-ortho)$  із параметрами  $E(2)$  не більше 1,6 кДж/моль.

## **2. Квантово-хімічні та спектральні критерії ефективності водневого зв'язування у структурному аналізі арамідів**

До перспективних конструкційних матеріалів спеціального призначення на основі ароматичного поліаміду зазвичай відносять фенілон марок С-1, С-2 чи С-П, що за своєю будовою є лінійним гетероланцюговим кополімером та містить у головному ланцюзі



макромолекул амідні групи, відокремлені одна від одної арильними фрагментами<sup>6</sup>:



Арамідні одержують емульсійною поліконденсацією *мета*-фенілен-діаміну із сумішшю *ізо*- та *тере*-фталойлхлоридів, взятих у різних молярних співвідношеннях реагентів – від (3:1) для С-1 до (3:2) для С-2, відповідно. У випадку фенолону С-П зазвичай мають справу із чистим *мета*-фенілен-*ізо*-фталамідом. Деякі особливості цих структур із високим рівнем фізико-механічних та термофізичних властивостей наведено у табл. 1. Їх широко застосовують у виробництві надміцних конструкційних та електроізоляційних пластмас для автомобільної індустрії<sup>7</sup>, у тому числі й наповнених термостійкими волокнами<sup>8</sup>.

Таблиця 1

**Термофізичні та фізико-механічні властивості фенолонів**

Параметр	С-1	С-2	С-П
Густина, кг/м <sup>3</sup>	1330	1330	1330
Міцність при розтягуванні, МПа	110–120	120–140	100–120
Міцність при вигині, МПа	150–170	220–240	130–150
Напруги при стисненні при межі плинності, МПа	220–230	210–230	210–230
Ударна в'язкість, кДж/м <sup>2</sup>	30–40	40–50	20–30
Твердість, МПа	280	290	300
Теплостійкість за Віка, °С	275	290	270

У зв'язку із цим головною метою роботи є здійснення детального структурного аналізу полімерного в'язучого на прикладі модельної системи фенолону та композиційного матеріалу на його основі із волокном терлон за допомогою *ab initio* методів квантової хімії, а також теоретичне обґрунтування ефектів водневого зв'язування з точки зору положення та природи сигналів у коливальних спектрах.

<sup>6</sup> Токар А. В. Довідниковий словник з полімерної хімії. Дніпропетровськ, 2016. С. 113.

<sup>7</sup> Буря А. И., Чигвинцева О. П. Применение полимерных материалов и композитов на их основе в автомобилестроении : монография. Днепропетровск, 2010. С. 109.

<sup>8</sup> Буря А. И., Набережная О. А., Теренин В. И., Томина А.-М. В. Трибологические характеристики органопластиков на основе фенолона. *Проблеми тертя та зношування*. 2015. Т. 3. Вип. 68. С. 53.

На початкових етапах дослідження за допомогою методу функціоналу густини у наближенні B3LYP/6-311++G(d,p) нами було вивчено особливості рівноважного стану незаміщеного *N*-фенілбензаміду (**1**), здатного до утворення альтернативних імідних форм (**2a**, **б**), що відображають особливості будови базових структурних фрагментів мономерних ланок фенілону<sup>9</sup>. Такий вибір модельних сполук є виправданим, перш за все, з точки зору простоти та зручності їх подальшого застосування для вивчення внутрішньо- та міжмолекулярних взаємодій, що мають місце у цих системах. При оцінюванні значень відносних енергій структур до уваги приймалися спеціальні поправки на енергію нульових коливань, розраховані у межах того ж теоретичного наближення. Окрім розгляду геометричних та енергетичних параметрів молекул, значну зацікавленість становить також порівняльний аналіз особливостей розподілу NBO зарядів на атомах та індексів зв'язування Вайберга, які дозволяють здійснити додаткове оцінювання кон'югативних та особливо гіперкон'югативних ефектів. Одержані розрахункові дані наведено нижче (рис. 3).

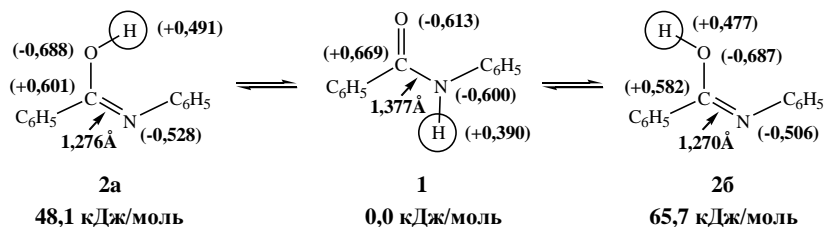


Рис. 3. Структури модельних сполук із деякими значеннями NBO зарядів на атомах, довжинами зв'язків та відносними енергіями

При цьому найбільш стійкою виявилася структура (**1**), переважно за рахунок ефективного спряження місткової амідної групи із арильними фрагментами, що знаходяться у безпосередній близькості. Індеси Вайберга для зв'язків (C=N) сполук (**2a**, **б**) становлять 1,714 та 1,717 відповідно, а для зв'язку (C-N) сполуки (**1**) – лише 1,137. Мірою ефективності внутрішньо-молекулярного спряження можуть слугувати також значення

<sup>9</sup> Tokar A., Synchuk E., Chigvintseva O. The Quantum-Chemical Modelling of Structure and Spectral Characteristics for Molecular Complexes in Pentaplast-Terlon System. *Chem. Chem. Technol.* 2017. Vol. 11. № 4. P. 406.

параметрів енергії стабілізації  $E(2)$ , що дозволяють деталізувати внески окремих орбітальних взаємодій<sup>10</sup>. Як свідчать дані табл. 2, найбільш суттєвими з цієї точки зору є взаємодії власних неподілених електронних пар атомів Нітрогену та Оксигену амідної групи із найближчими за розташуванням зв'язками головного ланцюгу молекули, а також  $\pi$ -орбіталами бензенових кілець. У випадку гіперкон'югативних ефектів внесок у загальну енергію стабілізації є найменшим, що цілком узгоджується із загальноприйнятими уявленнями про будову систем такого типу, вказуючи на адекватність їх відтворення у межах обраного розрахункового наближення.

Таблиця 2

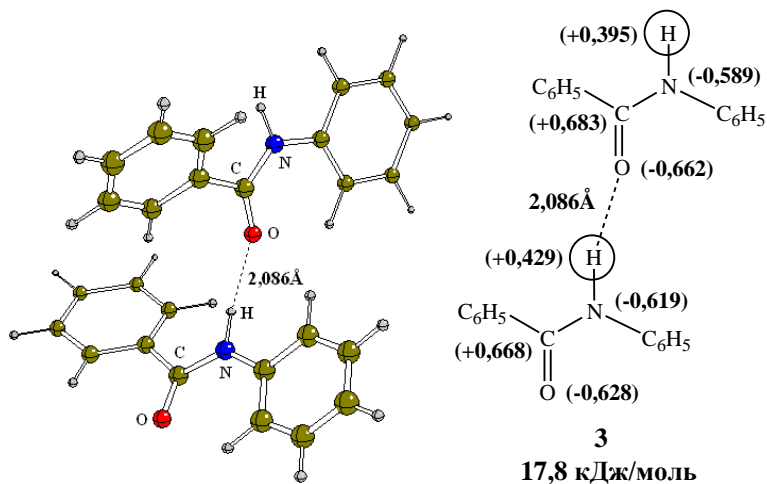
**Енергії стабілізації  $E(2)$  орбітальних взаємодій у молекулі (1), а також її деякі геометричні параметри**

Характер орбітальної взаємодії	$E(2)$ , кДж/моль	Кути, град		Структурний фрагмент
		Валентні	Торсійні	
$n(N) \rightarrow \pi^*(C=O)$	218,6	123,8	–	–NHCO–
$n(O) \rightarrow \sigma^*(C-N)$	107,1			
$n(N) \rightarrow \pi^*(C=C)$	138,9	123,5	–	–NHC <sub>6</sub> H <sub>5</sub>
$n(O) \rightarrow \sigma^*(C-C)$	77,4	121,4	–	–COC <sub>6</sub> H <sub>5</sub>
$\pi(C=C) \rightarrow \pi^*(C=O)$	66,4	–	152,3	–COC <sub>6</sub> H <sub>5</sub>
$\pi(C=O) \rightarrow \pi^*(C=C)$	14,6			
$\sigma(NH) \rightarrow \sigma^*(C-O)$	17,7	–	172,2	–NHCO–
$\sigma(C-O) \rightarrow \sigma^*(NH)$	4,5			
$\sigma(NH) \rightarrow \sigma^*(C-C)$	16,2	–	180,0	–NHC <sub>6</sub> H <sub>5</sub>
$\sigma(C-C) \rightarrow \sigma^*(NH)$	8,3			

Одержані дані викликають значну зацікавленість як з точки зору будови окремих ділянок – структурних фрагментів полімерної матриці фенілону, так й їх взаємодії із волокнистим наповнювачем полі(*para*-фенілен-терефталамідом) з утворенням типових водневих зв'язків  $>C=O \cdots HN<$ . Спираючись на це припущення, нами було запропоновано теоретичну модель, що відтворює безпосередню взаємодію молекул *N*-фенілбензаміду (1), з утворенням димеризованої форми (3). Розділення одержаної рівноважної геометрії димеру на мономерні складові з їх подальшою оптимізацією у наближенні

<sup>10</sup> Weinhold F., Landis C. R. Discovering Chemistry With Natural Bond Orbitals. New Jersey, 2012. P. 132–133.

V3LYP/6-311++G(d,p) призводило до утворення двох ідентичних структур. Розрахунок коливальних частот для всіх локалізованих стаціонарних точок свідчив про відсутність уявних коливань, що дозволило охарактеризувати їх як мінімуми на поверхні потенційної енергії. При оцінюванні енергетичних параметрів комплексу (**3**) до уваги приймалися також спеціальні поправки на похибку суперпозиції базисних наборів, одержані за розрахунковою процедурою Бойза-Бернарді<sup>11</sup>. Результати розрахунків представлено на рис. 4.



**Рис. 4.** Теоретична модель комплексу із водневим зв'язком, а також деякі геометричні, енергетичні та зарядові характеристики системи

Аналіз орбітальних взаємодій, що виникають в умовах утворення комплексу з водневим зв'язком, у межах використаної раніше NBO<sup>12</sup> теорії показав, що головний внесок у загальну енергію стабілізації системи становлять власні неподілені електронні пари атома Оксигену групи (C=O), які слугують донорами електронної густини для зв'язку (NH) молекули партнера. Відповідні значення параметрів  $E(2)$  для перекривань типу  $n_{1,2}(O) \rightarrow \sigma^*(NH)$  складають 15,4 та

<sup>11</sup> Sordo J. A. On the use of the Boys-Bernardi function counterpoise procedure to correct barrier heights for basis set superposition error. *J. Mol. Struct.* 2001. Vol. 537. № 1–3. P. 246–247.

<sup>12</sup> Weinhold F. Natural bond orbital analysis: A critical overview of relationships to alternative bonding perspectives. *J. Comput. Chem.* 2012. Vol. 33. № 30. P. 2368.

9,5 кДж/моль (табл. 3), у той час як інші внутрішньо- та міжмолекулярні взаємодії мало відрізняються за енергією й носять переважно електростатичний характер. Для ідентифікації природи цих зв'язків у межах АІМ-теорії Бейдера<sup>13</sup> нами було розраховано значення електронної густини, а також лапласіана електронної густини у (3,-1) критичних точках найменш енергомістких взаємодій з метою їх додаткової оцінки з точки зору ефективності зв'язування. Як свідчать дані табл. 4, одержані топологічні параметри добре корелюють із довжинами відповідних зв'язків у всьому діапазоні наведених значень. На рис. 5 показано хід залежностей  $\rho(r)$  та  $-\nabla^2\rho(r)$ , що при спробі лінеаризації вказують на наявність чіткого перегину із розмежуванням проміжних за силою водневих зв'язків та слабких ван-дер-ваальсових взаємодій на відстанях близько 2,500 Å.

Таблиця 3

**Енергії стабілізації  $E(2)$  орбітальних взаємодій у димері (3)**

Характер орбітальної взаємодії	$E(2)$ , кДж/моль	Характер орбітальної взаємодії	$E(2)$ , кДж/моль
$n_1(O) \rightarrow \sigma^*(NH)$	15,4	$n_3(O) \rightarrow \sigma^*(CH-ortho)$	2,7
$n_2(O) \rightarrow \sigma^*(NH)$	9,5	$n_4(O) \rightarrow \sigma^*(CH-ortho)$	1,0
$n_1(O) \rightarrow \sigma^*(CH-ortho)$	4,9	$\pi(C=O) \rightarrow \sigma^*(CH-ortho)$	1,6
$n_2(O) \rightarrow \sigma^*(CH-ortho)$	3,4	$\pi(C=C) \rightarrow \sigma^*(CH-ortho)$	1,6

Таблиця 4

**Деякі значення топологічних параметрів у (3,-1) критичних точках зв'язків в залежності від їх довжини**

Параметр	$DFT-B3LYP/6-311++G(d,p)$				
$\rho$ , e/Å <sup>3</sup>	0,0187	0,0170	0,0083	0,0076	0,0042
$-\nabla^2\rho$ , e/Å <sup>5</sup>	0,0174	0,0156	0,0068	0,0067	0,0028
$r$ , Å	2,193	2,246	2,523	2,600	2,997

Одержані результати цілком узгоджуються із літературними даними, що стосуються особливостей розподілу електронної густини у молекулярних кристалах ароматичних структур, у тому числі й з урахуванням ефективних *стекинг*-взаємодій, й таким чином можуть бути використані для ідентифікації характеру окремих зв'язків, принаймні у межах одного їх типу. При цьому слід

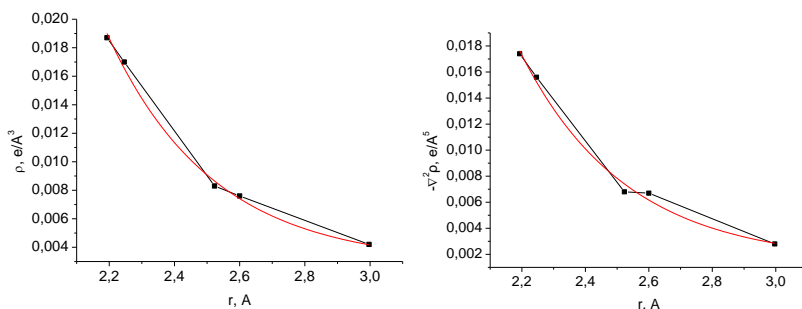
<sup>13</sup> Kolandaivel P., Nirmala V. Study of proper and improper hydrogen bonding using Bader's atoms in molecules (AIM) theory and NBO analysis. *J. Mol. Struct.* 2004. Vol. 694. № 1-3. P. 36.

зауважити, що лапласіан електронної густини у ролі критерію ефективності такого зв'язування є найменш придатним до застосування<sup>14</sup>:

$$\rho(r) = (0,0028 \pm 0,0009) + (0,0162 \pm 0,0009) \cdot \exp[(2,193 - r)/(0,325 \pm 0,047)], \quad (3)$$

$$-\nabla^2 \rho(r) = (0,0163 \pm 0,0013) \cdot \exp[(2,193 - r)/(0,335 \pm 0,067)]. \quad (4)$$

Кореляційні рівняння, засновані на цих властивостях, дозволяють передбачити енергію взаємодії бензенових кілець із мінімальним значенням відносною похибки у межах даної ділянки поверхні потенційної енергії.



**Рис. 5.** Характеристичні криві електронної густини (ліворуч) та лапласіана електронної густини (праворуч) як функції міжатомних відстаней

Для підтвердження вирішальної ролі ефектів водневого зв'язування у структурі фенілону нами було здійснено детальний аналіз коливальних спектрів описаних раніше ізольованої (1) та димеризованої (3) форм з метою їх подальшого зіставлення між собою, а також із експериментальними даними. Остання теоретична модель цілком адекватно відображає структурну ситуацію, за якої взаємодіючі молекули поряд зі зв'язаними водневим зв'язком групами (>C=O) та (>NH) містять також їх незв'язані аналоги.

Як відомо, розраховані методами квантової хімії гармонічні коливальні частоти зазвичай є більшими за аналогічні параметри, одержані експериментальним шляхом. При цьому головним джерелом помилок, на думку авторів<sup>15</sup>, є нехтування ефектами

<sup>14</sup> Цирельсон В. Г. Квантовая химия. Молекулы, молекулярные системы и твердые тела. М., 2017. С. 380.

<sup>15</sup> Merrick J. P., Moran D., Radom L. An Evaluation of Harmonic Vibrational Frequency Scale Factors. *J. Phys. Chem. A*. 2007. Vol. 111. № 45. P. 11683.

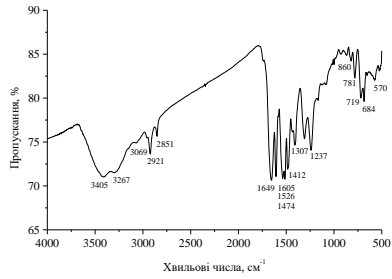
ангармонічності, а також відсутність повноти описання електронних кореляцій у зв'язку із застосуванням обмежених наборів базисних функцій. Для підвищення точності розрахункових даних у їх відтворенні головних спектральних характеристик досліджуваних систем ми скористались допоміжними значеннями масштабуючих множників, які у випадку трипараметричного гібридного функціоналу B3LYP становили 0,9580 та 0,9688 для базисних наборів 6-311+G(d) та 6-311+G(d,p), відповідно. Одержані результати представлено у табл. 5, а також на рис. 6.

Таблиця 5

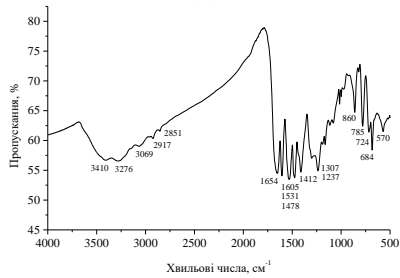
**Коливальні частоти ( $\text{cm}^{-1}$ ), одержані експериментальним шляхом, а також розраховані у наближенні *DFT-B3LYP/6-311++G(d,p)***

Інтенсивність, форма смуг	Експериментальні дані				Розрахункові результати		Інтерпретація
	C-1	C-2	C-II	C-1+T15	Модель (1)	Модель (3)	
дуж. сл., ш.	3405	3410	3400	3414	–	–	можливо, волога
	3267	3276	3290	3284	3510	3504	$\nu_{\text{(NH)}}$ амідних груп
	3069	3069	3060	3069			
дуж. сл.	2921	2917	2912	2912	3092	3094	$\nu_{\text{(CH)}}$ бензеневих кілець
	2851	2851	2843	2851	3051	3070	
с.	1649	1654	1647	1658	1677	1658	$\nu_{\text{(CO)}}$ амідних груп
дуж. с.	1605	1605	1598	1605	1591	1589	$\nu_{\text{(CC)}}$ бензеневих кілець за участю $\delta_{\text{(NH)}}$ амідних груп
	1526	1531	1529	1535	1582	1530	
	1474	1478	1471	1482	1568	1511	
с.	1412	1412	1402	1412	1478	1480	$\delta_{\text{(CH)}}$ бензеневих кілець
	1307	1307	1294	1307	1419	1420	
	1237	1237	1225	1237	1298	1301	$\nu_{\text{(CN)}}$ за участю $\delta_{\text{(CH)}}$ бензеневих кілець
сер.	860	860	814	860	–	–	–
	781	785	765	789			
сл.	719	724	716	728	745	745	можливо, $\delta_{\text{(CH)}}$ бензеневих кілець
	684	684	667	684	696	692	
дуж. сл.	570	570	569	570	546	574	$\delta_{\text{(NH)}}$ амідних груп

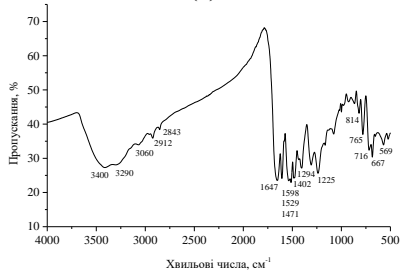
Умовні позначення: с. – сильна, сер. – середньої інтенсивності, сл. – слабка, ш. – широка, дуж. – дуже;  $\nu$  – валентні коливання,  $\delta$  – деформаційні коливання; C-1, C-2 та C-II – порошок чистого фенілону, C-1+T15 – полімерний композит, одержаний на основі фенілону C-1, що містить 15 мас. % волокна терлон.



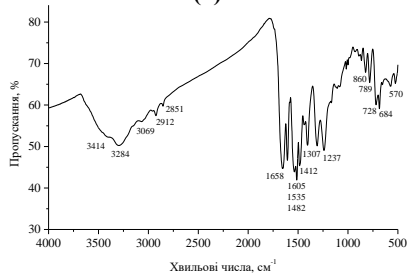
(а)



(б)



(в)



(г)

Рис. 6. ІЧ спектри поглинання чистого фенолу С-1 (а), С-2 (б) та С-ІІ (в), а також композиту С-1+Т15 (г)



За літературними даними<sup>16</sup>, структурна ідентифікація аліфатичних поліамідів включає розгляд характеристичних смуг поглинання із надійним віднесенням сигналів<sup>17</sup> у областях 3280, 2900, 1640, 1550 та 1545  $\text{cm}^{-1}$ . Аналіз одержаних нами результатів (див. табл. 5) свідчить про присутність широких смуг при 3284 та 3267  $\text{cm}^{-1}$ , які відповідають валентним коливанням зв'язків (NH) амідних груп. В області  $\sim 1650 \text{ cm}^{-1}$  знаходиться інтенсивна смуга «Амід I», що є характерною для карбонілу зі значним внеском водневого зв'язування.

За літературними даними<sup>18</sup>, структурна ідентифікація аліфатичних поліамідів включає розгляд характеристичних смуг поглинання із надійним віднесенням сигналів<sup>19</sup> у областях 3280, 2900, 1640, 1550 та 1545  $\text{cm}^{-1}$ . Аналіз одержаних нами результатів (див. табл. 5) свідчить про присутність широких смуг при 3284 та 3267  $\text{cm}^{-1}$ , які відповідають валентним коливанням зв'язків (NH) амідних груп. В області  $\sim 1650 \text{ cm}^{-1}$  знаходиться інтенсивна смуга «Амід I», що є характерною для карбонілу зі значним внеском водневого зв'язування.

Дійсно, у випадку розрахованих структур (1) та (3) спостерігається помітне зміщення смуги поглинання з 1677  $\text{cm}^{-1}$  для «ізолюваної» групи ( $>\text{C}=\text{O}$ ) до 1649  $\text{cm}^{-1}$  у комплексі із водневим зв'язком. Аналогічне зміщення сигналу  $\nu_{(\text{NH})}$  відбувається з 3510 до 3400  $\text{cm}^{-1}$ . Зрештою, в області  $\sim 1530 \text{ cm}^{-1}$  спостерігається смуга «Амід II», що відповідає валентним коливанням (C–C)-зв'язків арильних фрагментів за участю  $\delta_{(\text{NH})}$ . Смуга «Амід III» спостерігається поблизу 1237  $\text{cm}^{-1}$ . Її зміщення у випадку терлону до 1265  $\text{cm}^{-1}$  цілком узгоджується із впливом міжмолекулярних взаємодій, які мають місце у цій системі. При цьому збільшення ступеня кристалічності зразку сприяє зміщенню смуги «Амід III» у бік більших хвильових чисел. Слід зауважити, що серед усіх ізомерних поліфенілен-

---

<sup>16</sup> Vorsina I. A., Grigoreva T. F., Vosmerikov S. V., Lyakhov N. Z. Mechanocomposites on the basis of polyamide. *Nauka i Studia*. 2015. Vol. 5. № 136. P. 22–23.

<sup>17</sup> Лирова Б. И., Русинова Е. В. Анализ полимерных композиционных материалов. Екатеринбург, 2008. С. 59–60.

<sup>18</sup> Vorsina I. A., Grigoreva T. F., Vosmerikov S. V., Lyakhov N. Z. Mechanocomposites on the basis of polyamide. *Nauka i Studia*. 2015. Vol. 5. № 136. P. 22–23.

<sup>19</sup> Лирова Б. И., Русинова Е. В. Анализ полимерных композиционных материалов. Екатеринбург, 2008. С. 59–60.

фталамідів у волокна терлон прагнення до впорядкованості виражене у найбільшій мірі. Для більш детального аналізу природи смуг поглинання, що лежать у діапазоні 1200–500 см<sup>-1</sup>, при їх віднесенні, окрім загальних закономірностей, виходили також із теоретичних уявлень про те, що заміна, наприклад, *пара*-заміщеного бензенowego кільця на *мета*-заміщене повинна призводити до значних змін у положенні сигналів, їх формі та інтенсивності. Тому пряме зіставлення спектрів ізомерних поліамідів дає можливість, на думку авторів<sup>20</sup>, уточнити віднесення окремих смуг поглинання.

Що стосується смуг «Амід IV», «Амід V» та «Амід VI», то лише зв'язок поглинання у області 716–728 см<sup>-1</sup> із коливанням «Амід V» є чітко встановленим, у той час як віднесення двох інших сигналів, особливо смуги «Амід VI», потребує додаткової перевірки. Дійсно, в цій області спостерігаються численні деформаційні коливання бензенових кілець, які з цієї точки зору також слід вважати характеристичними. Наведені нижче усереднені набори хвильових чисел, одержані для усього ряду досліджуваних полімерних систем, добре корелюють між собою, що вказує на адекватне відтворення спектральних характеристик матеріалів у межах обраного розрахункового наближення<sup>21</sup>:

$$v, \delta(\text{експ.}) = (75,96 \pm 28,34) + (0,90 \pm 0,01) \cdot v, \delta(1); r=0,995; S_0=47,71; n=13, \quad (5)$$

$$v, \delta(\text{експ.}) = (79,27 \pm 30,46) + (0,91 \pm 0,01) \cdot v, \delta(3); r=0,997; S_0=53,67; n=14. \quad (6)$$

### 3. Квантово-хімічне дослідження міжмолекулярних взаємодій у комплексних системах «поліамід – силікагель»

Полімери та полімерні композиційні матеріали на їх основі за останні 30 років отримали широке розповсюдження у всіх галузях життєдіяльності людини<sup>22</sup>. З них виготовляють як одноразовий посуд, так і деталі для вузлів машин та механізмів. Завдяки унікальному поєднанню властивостей полімери та композити активно витісняють традиційні матеріали конструкційного призначення, такі

---

<sup>20</sup> Редчук А. С., Буря А. И. Сравнительный анализ ИК-спектров некоторых полифениленфталамидов. *Полимерный журнал*. 2011. Т. 33. Вып. 2. С. 130.

<sup>21</sup> Tokar A., Chigvintseva O. The quantum-chemical and spectral criteria for hydrogen bonding efficiency in structural analysis of aramides. *Chem. Chem. Technol.* 2021. Vol. 15. № 1. P. 13.

<sup>22</sup> Zhao W., Liu L., Zhang F., Leng J., Liu Y. Shape memory polymers and their composites in biomedical applications. *Mater. Sci. Eng. C*. 2019. Vol. 97. P. 870.

як метали та їх сплави, деревина тощо. Особливу зацікавленість являють полімери спеціального призначення, які за рівнем властивостей наближаються до металів та їх сплавів, однак є у 3–5 разів легшими, мають більш високий рівень зносостійкості та хімічної стійкості, здатні витримувати знакозмінні навантаження та ін. Одними з таких полімерів є ароматичні поліаміди, міцність яких досягає 230 МПа, а тепло- та термостійкість 290 і 350 °С відповідно. До основних недоліків даних полімерів слід віднести їх достатньо високу собівартість. Для її зменшення ароматичні поліаміди наповнюють дешевими наповнювачами, які здатні покращувати їх рівень фізико-механічних, теплофізичних та трибологічних властивостей у порівнянні із вихідним полімером<sup>23</sup>.

Одним із таких наповнювачів є діоксид кремнію марки силікагель, який здатний до фізичної та хімічної взаємодії з макромолекулами ароматичного поліаміду при отриманні полімерних композиційних матеріалів та їх переробці у виробі<sup>24</sup>. При цьому фізична взаємодія можлива за рахунок того, що наповнювач має добре розвинену поверхню (до 300 м<sup>2</sup>/г) із великою кількістю пор, які сприяють фізичній адсорбції матричного полімеру поверхнею наповнювача. Хімічна взаємодія силікагелю з ароматичним поліамідом можлива за рахунок утворення хімічних зв'язків між реакційно-здатними гідроксильними групами на поверхні наповнювача та молекулами матричного полімеру. У ряді робіт, наприклад<sup>25</sup> описано композити на основі поліолефінів, фторполімерів, фенопластів та силікагелю, та підтверджено їх фізичну чи хімічну взаємодію.

Характер взаємодії між ароматичним поліамідом та силікагелем раніше не було вивчено. Наявність взаємодії цих компонентів визначали опосередковано, відштовхуючись від зростання рівня фізико-механічних та тепло-фізичних властивостей полімерних композиційних матеріалів на основі ароматичних поліамідів та

---

<sup>23</sup> Burya A. I., Safonova A. M., Rula I. V. Influence of metal-containing carbon fibers on the properties of carbon-filled plastics based on aromatic polyamide. *J. Eng. Phys. Thermophys.* 2012. Vol. 85. № 4. P. 943.

<sup>24</sup> Kabat O. S., Heti K. V., Kovalenko I. L., Dudka A. M. Fillers on the silica base for polymer composites for constructional purposes. *J. Chem. Technol.* 2019. Vol. 27. № 2. P. 250.

<sup>25</sup> Yuan W., Wang F., Chen Z., Gao C., Liu P., Ding Y., Zhang S., Yang M. Efficient grafting of polypropylene onto silica nanoparticles and the properties of PP/PP-g-SiO<sub>2</sub> nanocomposites. *Polym. J.* 2018. Vol. 151. P. 245.

силікагелю. Тому актуальною задачею нашого дослідження стало визначення характеру взаємодії силікагелю із ароматичним поліамідом. Для її вирішення необхідно детально вивчити особливості міжмолекулярних взаємодій, що виникають на рівні окремих ланок макромолекул із застосуванням широких можливостей квантово-хімічних розрахункових методів, а також коливальної спектроскопії.

Як свідчать проведені нами раніше дослідження будови полімерних композитів на основі арамідних в'язучих та наповнювачів<sup>26</sup>, структура *N*-фенілбензаміду (**1**) цілком відповідає складу мономерної ланки полімерів такого типу. Що ж стосується наповнювача, яким у межах цієї роботи виступав силікагель, кращою модельною сполукою у найпростішому наближенні може слугувати структура складу  $H_4[Si_4O_{10}]$  (**4**), що являє собою тетрациклічний каркас, побудований із атомів Силіцію та Оксигену, на поверхні якого зосереджено ізольовані одна від одної гідроксильні групи. Беручи до уваги аморфний характер силікагелю, для якого характерними є прояви лише локальної симетрії у певних фрагментах структури (кластерах), такий підхід до вибору модифікованої молекулярної моделі, на нашу думку, є виправданим. З іншого боку, кластерний метод є ефективним не лише при моделюванні локалізованих станів, але й численних поверхневих ефектів, які можуть мати принципове значення в умовах активних міжмолекулярних взаємодій.

Із застосуванням трипараметричного гібридного функціоналу густини у наближенні V3LYP/6-311++G(d,p) нами було здійснено оптимізацію геометрії модельних сполук (**1**, **4**) у газовій фазі із одночасним розрахунком відповідних наборів коливальних частот, згідно з якими локалізовані стаціонарні точки було охарактеризовано як мінімуми на поверхні потенційної енергії. Розподіл електронної густини із визначенням зарядів на атомах досліджуваних структур вивчали у рамках теорії натуральних зв'язуючих орбіталей (NBO). Одержані результати наведено на рис. 7.

Одержані дані викликають значну зацікавленість як з точки зору будови окремих ділянок – структурних фрагментів полімерної матриці фенілолу, так і їх взаємодії із силікагелем з можливим утворенням типових водневих зв'язків. Спираючись на це

---

<sup>26</sup> Токарь А. В., Чигвинцева О. П. Эффекты водородного связывания в структурном анализе фенилона С-2: квантово-химическая интерпретация. *Вісн. Дніпропетр. ун-ту. Серія Хімія*. 2017. Т. 25. Вип. 1. С. 10.

припущення, нами було запропоновано теоретичні моделі, що відтворюють безпосередню взаємодію молекул *N*-фенілбензаміду (**1**) із тетрациклічною каркасною структурою складу  $H_4[Si_4O_{10}]$  (**4**). Розділення рівноважної геометрії димерів на окремі складові з їх подальшою оптимізацією у наближенні B3LYP/6-311++G(d,p) приводило до утворення «ізольованих» структур, які було одержано раніше. Розрахунок коливальних частот для всіх міжмолекулярних комплексів свідчив про відсутність уявних коливань, що дозволило охарактеризувати їх як мінімуми на поверхні потенційної енергії. При оцінюванні енергетичних параметрів локалізованих структур до уваги приймалися спеціальні поправки на похибку суперпозиції базисних наборів, одержані за розрахунковою процедурою Бойза-Бернарді. Результати розрахунків<sup>27</sup> представлено на рис. 8.

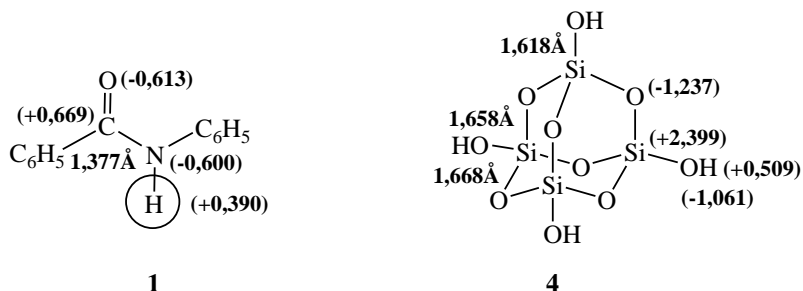
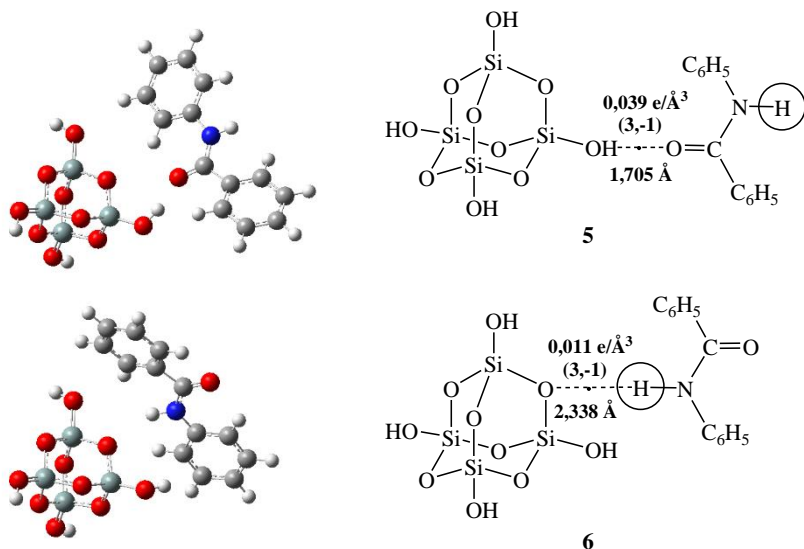


Рис. 7. Структури модельних сполук із деякими значеннями NBO зарядів на атомах та довжинами зв'язків

Слід відзначити, що найбільші внески у стабілізацію структур (**5**, **6**), поряд зі слабкими взаємодіями електростатичного характеру, вносять міцні водневі зв'язки, утворені за участю місткової амідної групи та гідроксилу (~77%), а також атома Оксигену каркасного фрагменту (~23%), оцінені у межах AIM-теорії Бейдера. При цьому розраховані енергії стабілізації становлять 32,4 та 12,5 кДж/моль. Значної уваги також було приділено визначенню загальних енергетичних ефектів гідратації нерелаксованих геометрій міжмолекулярних комплексів із застосуванням методу поляризуючого континууму *PCM-B3LYP/6-311++G(d,p)//B3LYP/6-*

<sup>27</sup> Токар А. В., Кабат О. С. Квантово-хімічне дослідження міжмолекулярних взаємодій у комплексних системах «поліамід-силікагель». *Journal of Chemistry and Technologies*. 2020. Vol. 28. № 2. P. 197.

311++G(d,p) ( $\epsilon=78,4$ ) без деталізації будови окремих сольватних оболонок. У цьому випадку різниця енергій для структур (5, 6) становила 12,0 кДж/моль на користь взаємодій першого типу<sup>28</sup>.



**Рис. 8. Структури комплексів у системі «поліамід-сілікагель» із типовими водневими зв'язками**

Для підтвердження вирішальної ролі ефектів водневого зв'язування у структурі полімерних композиційних матеріалів нами було здійснено детальний аналіз коливальних спектрів описаних раніше ізольованих (1, 4) та димеризованих (5, 6) форм з метою їх подальшого зіставлення між собою, а також із експериментальними даними. Останні теоретичні моделі цілком адекватно відображають структурну ситуацію, за якої взаємодіючі молекули поряд зі зв'язаними водневим зв'язком групами ( $>C=O$ ) та ( $>NH$ ) містять також їх незв'язані аналоги. Одержані результати представлено у табл. 6, а також на рис. 9.

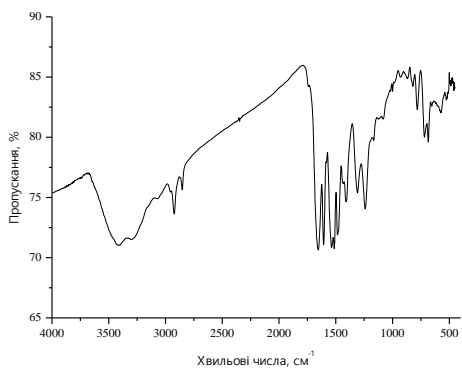
<sup>28</sup> Tokar A., Kabat O., Chigvintseva O., Belošević S. Intermolecular Interactions in Complex Systems "Polyamide-Silica Gel": The Quantum-Chemical Interpretation / In: Karabegović I. (eds). *New Technologies, Development and Application IV. Lecture Notes in Networks and Systems*. Springer, 2021. Vol. 233. P. 878.

Таблиця 6

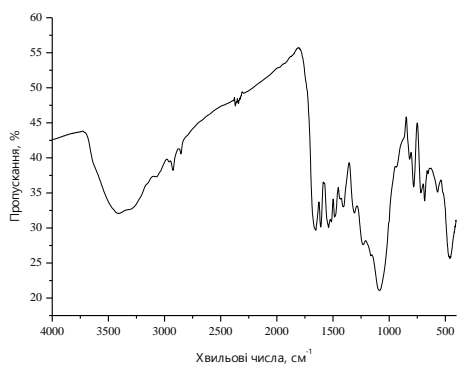
**Коливальні частоти (см<sup>-1</sup>), одержані експериментальним шляхом, та розраховані у наближенні *DFT-B3LYP/6-311++G(d, p)***

Інтенсивність, форма смуг	Експериментальні дані			Розрахункові результати		Інтерпретація
	C-1	C-1+ C15	C-1+ C30	Модель (5)	Модель (6)	
сл., ш.	3405	3410	3419	3788	3790	$\nu_{(\text{OH})}$ каркасного фрагменту або волога
	3267	3345	3345	3507	3459	$\nu_{(\text{NH})}$ амідних груп
дуж. сл.	2921	2925	3000	3092	3093	$\nu_{(\text{CH})}$ бензенівих кілець
	2851	2914	2897	3084	3086	
с.	1649	1652	1655	1647	1673	$\nu_{(\text{CO})}$ амідних груп
дуж. с.	1605	1609	1611	1586	1588	$\nu_{(\text{CC})}$ бензенівих кілець за участю $\delta_{(\text{NH})}$ амідних груп
	1526	1539	1539	1567	1568	
	1474	1486	1486	1517	1520	
с.	1412	1408	1412	1480	1479	$\delta_{(\text{CH})}$ бензенівих кілець
	1307	1319	1319	1423	1420	
	1237	1250	1224	1305	1294	$\nu_{(\text{CN})}$ за участю $\delta_{(\text{CH})}$ бензенівих кілець
дуж. с., ш.	–	1084	1091	1056	1024	$\nu_{(\text{SiO})}$ каркасного фрагменту
сл.	–	782	785	781	767	$\delta_{(\text{OH})}$ каркасного фрагменту
сл.	719	717	719	697	698	$\delta_{(\text{CH})}$ бензенівих кілець
	684	684	686	688	689	
дуж. сл.	570	568	571	586	624	$\delta_{(\text{NH})}$ амідних груп
с.	–	459	467	341	343	$\delta_{(\text{SiO})}$ каркасного фрагменту

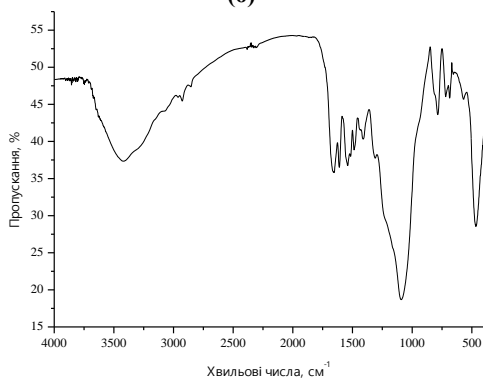
Умовні позначення: с. – сильна, сер. – середньої інтенсивності, сл. – слабка, ш. – широка, дуж. – дуже;  $\nu$  – валентні коливання,  $\delta$  – деформаційні коливання; C-1 – порошок чистого фенілону, C-1+C15 та C-1+C30 – полімерні композити на основі фенілону C-1, що містять 15 та 30 мас. % силікагелю.



(а)



(б)



(в)

**Рис. 9.** ІЧ спектри поглинання чистого фенілолу С-1 (а) та композитів С-1+С15 (б) та С-1+С30 (в) на його основі



З точки зору попереднього обговорення одержаних результатів принципового значення набуває якісна ідентифікація сигналів силікагелю, що представлені широкою та інтенсивною смугою у області  $\sim 1090 \text{ см}^{-1}$ , а також вузькими смугами поглинання меншої інтенсивності при  $780$  та  $460 \text{ см}^{-1}$ . Причому, у першому випадку переважають внески валентних коливань окремих зв'язків (Si–O), а у другому –  $\delta_{(\text{OH})}$  та  $\delta_{(\text{SiO})}$  в умовах ефективного водневого зв'язування. Слід зауважити, що валентні коливання гідроксильних груп також можуть знаходити своє відображення на ділянці спектру  $3405\text{--}3419 \text{ см}^{-1}$ , яка зазвичай відповідає за присутність слідових кількостей води у досліджуваних зразках полімеру та композитів. Наведені нижче усереднені набори хвильових чисел, одержані для усього ряду досліджуваних полімерних систем, добре корелюють між собою, що вказує на адекватне відтворення їх спектральних характеристик у межах обраного розрахункового наближення:

$$\nu, \delta(\text{експ.}) = (99,16 \pm 25,17) + (0,90 \pm 0,01) \cdot \nu, \delta(5); r=0,998; S_0=54,98; n=17, \quad (7)$$

$$\nu, \delta(\text{експ.}) = (94,02 \pm 27,85) + (0,91 \pm 0,01) \cdot \nu, \delta(6); r=0,998; S_0=60,66; n=17. \quad (8)$$

Одержані результати цілком узгоджуються із проведеними раніше фізико-механічними та теплофізичними дослідженнями композитів на основі фенолону із силікагелем<sup>29</sup>. Зокрема, такі показники як напруження при межі текучості, модуль пружності при стисканні та твердість збільшуються на 9–14% в залежності від вмісту наповнювача у порівнянні з вихідним полімером. При цьому лінійне температурне розширення зразків із вмістом силікагелю 15 та 30 мас.% становило не менше  $354$  та  $329 \cdot 10^{-7} \text{ 1}^\circ\text{C}$  відповідно. Окремо слід відзначити суттєве зміщення значень тепло- та термостійкості отриманих полімерних композиційних матеріалів в область більш високих температур, що свідчить про значне покращення термостабільності та може слугувати додатковим підтвердженням хімічної природи міжмолекулярних взаємодій окремих складових композитів<sup>30</sup>.

<sup>29</sup> Кабат О. С., Сытар В. И., Митрохин А. А. Термостойкие полимерные композиты специального назначения для тяжело нагруженных узлов трения. *Технологические системы*. 2017. Т. 79. Вып. 2. С. 28.

<sup>30</sup> Kabat O. S., Kobelchuk Yu. M., Chervakov D. O., Chervakov O. V. Polymer composite materials with a high level of thermal stability based on phenolic resins and disperse silica fillers. *Science, Technologies, Innovations*. 2018. Vol. 2. № 6. P. 50.

## ВИСНОВКИ

Таким чином, наведені у роботі результати квантово-хімічних досліджень свідчать про принципову можливість застосування методів і прийомів квантової хімії для вивчення особливостей внутрішньо- та міжмолекулярних взаємодій на рівні окремих ділянок – структурних фрагментів макромолекул. Аналіз орбітальних взаємодій, що виникають в умовах утворення комплексу із водневим зв'язком, у межах NBO-теорії показав, що головний внесок у загальну енергію стабілізації системи становлять власні неподілені пари атома Оксигену групи (C=O), які слугують донорами електронної густини для зв'язку (NH) молекули партнера. Відповідні параметри  $E(2)$  складають 15,4 та 9,5 кДж/моль, у той час як інші внутрішньо- та міжмолекулярні взаємодії мало відрізняються за енергією й носять переважно електростатичний характер. Для ідентифікації природи цих зв'язків у межах AIM-теорії Бейдера оцінено значення електронної густини, а також лапласіана електронної густини у (3,-1) критичних точках найменш енергомістких взаємодій. Результати розрахунків добре узгоджуються зі спектральними даними щодо будови цих полімерних матеріалів та можуть мати принципове значення з точки зору попередньої оцінки спорідненості окремих компонентів при створенні нових композитів на їх основі.

## АНОТАЦІЯ

У роботі наведено результати квантово-хімічних досліджень полімерних композиційних матеріалів на основі ароматичного поліаміду фенілон, наповненого термостійким волокном терлон та дрібнодисперсним силікагелем. Запропоновано структурні моделі вихідних сполук із зазначенням зарядів на атомах та міжатомних відстаней, побудовано теоретичні моделі комплексів у системах «поліамід-терлон» та «поліамід-силікагель», що описують найбільш імовірні міжмолекулярні взаємодії полімерної матриці з наповнювачами. Адекватність отриманих моделей підтверджено результатами ІЧ-спектроскопії. Встановлено, що хімічна взаємодія молекул полімеру із наповнювачами здійснюється переважно за рахунок утворення міцних водневих зв'язків, а також за участю слабких електростатичних взаємодій. Хімічна природа міжмолекулярних комплексів полімеру із наповнювачами знаходить підтвердження за результатами проведених раніше фізико-механічних та теплофізичних досліджень полімерних композиційних матеріалів, які показали,

що введення наприклад дрібнодисперсних часток силікагелю, так само, як й армування полімерної матриці фенілону волокнистим наповнювачем терлон, сприяє значному підвищенню таких показників як рівень напруження при межі текучості, модуля пружності при стисканні та твердості зі зміщенням відповідних значень тепло- та термостійкості одержаних полімерних композитів в область більш високих температур.

### Подяки

Автори висловлюють щирю подяку Українсько-Американській лабораторії комп'ютерної хімії (ДНУ НТК «Інститут монокристалів» НАН України, м. Харків) за суттєву допомогу у здійсненні цієї роботи.

### Література

1. Thompson J. M. *Infrared Spectroscopy*. Pan Stanford, 2018. 211 p. <https://doi.org/10.1201/9781351206037>
2. Бутырская Е. В. Компьютерная химия: основы теории и работа с программами Gaussian и GaussView. М., 2011. 224 с.
3. Munshi P., Guru Row T. N. Charge density based classification of intermolecular interactions in molecular crystals. *CrystEngComm*. 2005. № 100. P. 608–611. <http://dx.doi.org/10.1039/B511944H>
4. Zhikol O., Shishkin O. V., Lyssenko K. A., Leszczynski J. Electron density distribution in stacked benzene dimers: A new approach towards the estimation of stacking interaction energies. *J. Chem. Phys.* 2005. № 122. 144104. <https://doi.org/10.1063/1.1877092>
5. Hill J., Platts J.A., Werner H.-J. Calculation of intermolecular interactions in the benzene dimer using coupled-cluster and local electron correlation methods. *Chem. Phys. Phys. Chem.* 2006. № 35. P. 4072–4078. <https://doi.org/10.1039/b608623c>
6. Токар А. В. Довідниковий словник з полімерної хімії. Дніпропетровськ, 2016. 152 с.
7. Буря А. И., Чигвинцева О. П. Применение полимерных материалов и композитов на их основе в автомобилестроении : монография. Днепропетровск, 2010. 240 с.
8. Буря А. И., Набережная О. А., Теренин В. И., Томина А.-М. В. Трибологические характеристики органопластиков на основе фенилона. *Проблеми тертя та зношування*. 2015. Т. 3. Вип. 68. С. 51–55.

9. Tokar A., Synchuk E., Chigvintseva O. The Quantum-Chemical Modelling of Structure and Spectral Characteristics for Molecular Complexes in Pentaplast-Terlon System. *Chem. Chem. Technol.* 2017. Vol. 11. № 4. P. 405–409. <https://doi.org/10.23939/chcht11.04.405>
10. Weinhold F., Landis C. R. *Discovering Chemistry With Natural Bond Orbitals*. New Jersey, 2012. 336 p. <https://doi.org/10.1002/anie.201208492>
11. Sordo J. A. On the use of the Boys-Bernardi function counterpoise procedure to correct barrier heights for basis set superposition error. *J. Mol. Struct.* 2001. Vol. 537. № 1–3. P. 245–251. [https://doi.org/10.1016/S0166-1280\(00\)00681-3](https://doi.org/10.1016/S0166-1280(00)00681-3)
12. Weinhold F. Natural bond orbital analysis: A critical overview of relationships to alternative bonding perspectives. *J. Comput. Chem.* 2012. Vol. 33. № 30. P. 2363–2379. <https://doi.org/10.1002/jcc.23060>
13. Kolandaivel P., Nirmala V. Study of proper and improper hydrogen bonding using Bader's atoms in molecules (AIM) theory and NBO analysis. *J. Mol. Struct.* 2004. Vol. 694. № 1–3. P. 33–38. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2004.01.030>
14. Цирельсон В. Г. *Квантовая химия. Молекулы, молекулярные системы и твердые тела*. М., 2017. 522 с.
15. Merrick J.P., Moran D., Radom L. An Evaluation of Harmonic Vibrational Frequency Scale Factors. *J. Phys. Chem. A*. 2007. Vol. 111. № 45. P. 11683–11700. <https://doi.org/10.1021/jp073974n>
16. Vorsina I. A., Grigoreva T. F., Vosmerikov S. V., Lyakhov N. Z. Mechanocomposites on the basis of polyamide. *Nauka i Studia*. 2015. Vol. 5. № 136. P. 20–25.
17. Лирова Б. И., Русинова Е. В. Анализ полимерных композиционных материалов. Екатеринбург, 2008. 187 с.
18. Редчук А. С., Буря А. И. Сравнительный анализ ИК-спектров некоторых полифениленфталамидов. *Полимерный журнал*. 2011. Т. 33. Вып. 2. С. 128–132.
19. Tokar A., Chigvintseva O. The quantum-chemical and spectral criteria for hydrogen bonding efficiency in structural analysis of aramides. *Chem. Chem. Technol.* 2021. Vol. 15. № 1. P. 9–15. <https://doi.org/10.23939/chcht15.01.009>
20. Zhao W., Liu L., Zhang F., Leng J., Liu Y. Shape memory polymers and their composites in biomedical applications. *Mater. Sci. Eng. C*. 2019. Vol. 97. P. 864–883. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2018.12.054>

21. Burya A. I., Safonova A. M., Rula I. V. Influence of metal-containing carbon fibers on the properties of carbon-filled plastics based on aromatic polyamide. *J. Eng. Phys. Thermophys.* 2012. Vol. 85. № 4. P. 943–949. <https://doi.org/10.1007/s10891-012-0734-6>

22. Kabat O. S., Heti K. V., Kovalenko I. L., Dudka A. M. Fillers on the silica base for polymer composites for constructional purposes. *J. Chem. Technol.* 2019. Vol. 27. № 2. P. 247–254. <https://doi.org/10.15421/081925>

23. Yuan W., Wang F., Chen Z., Gao C., Liu P., Ding Y., Zhang S., Yang M. Efficient grafting of polypropylene onto silica nanoparticles and the properties of PP/PP-g-SiO<sub>2</sub> nanocomposites. *Polym. J.* 2018. Vol. 151. P. 242–249. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2018.07.060>

24. Токар А. В., Чигвинцева О. П. Эффекты водородного связывания в структурном анализе фенолона С-2: квантово-химическая интерпретация. *Вісн. Дніпропетр. ун-ту. Серія Хімія.* 2017. Т. 25. Вип. 1. С. 9–14. <https://doi.org/10.15421/081702>

25. Токар А. В., Кабат О. С. Квантово-хімічне дослідження міжмолекулярних взаємодій у комплексних системах «поліамід-силікагель». *Journal of Chemistry and Technologies.* 2020. Vol. 28. № 2. P. 194–201. <https://doi.org/10.15421/082021>

26. Tokar A., Kabat O., Chigvintseva O., Belošević S. Intermolecular Interactions in Complex Systems “Polyamide-Silica Gel”: The Quantum-Chemical Interpretation / In: Karabegović I. (eds). *New Technologies, Development and Application IV. Lecture Notes in Networks and Systems.* Springer, 2021. Vol. 233. P. 875–882. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-75275-0\\_96](https://doi.org/10.1007/978-3-030-75275-0_96)

27. Кабат О. С., Сытар В. И., Митрохин А. А. Термостойкие полимерные композиты специального назначения для тяжело нагруженных узлов трения. *Технологические системы.* 2017. Т. 79. Вып. 2. С. 25–33.

28. Kabat O. S., Kobelchuk Yu. M., Chervakov D. O., Chervakov O. V. Polymer composite materials with a high level of thermal stability based on phenolic resins and disperse silica fillers. *Science, Technologies, Innovations.* 2018. Vol. 2. № 6. P. 48–53.

**Information about the authors:**

**Tokar Andriy Volodymyrovych,**

Candidate of Chemical Sciences,  
Associate Professor at the Department of Chemistry  
Dnipro State Agrarian and Economic University  
25, S. Yefremova Str., Dnipro, 49600, Ukraine

**Chigvintseva Olga Pavlivna,**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Head of the Department of Chemistry  
Dnipro State Agrarian and Economic University  
25, S. Yefremova Str., Dnipro, 49600, Ukraine

## ООЛІТОВІ ВАПНЯКИ – УНІКАЛЬНІ УТВОРЕННЯ МОРСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА

Тузяк Я. М.

### ВСТУП

Оолітові вапняки – це група осадових порід, яка вирізняється серед інших: 1) своїм унікальним зовнішнім виглядом (сфероїди/ооїди), що є головною діагностичною ознакою або «візитною картою» цих утворень (рис. 1); 2) специфічною будовою (рис. 2) – внутрішнє ядро і зовнішня оболонка; 3) особливим складом (переважно карбонатним), який є мінливим залежно від прояву ступеня діагенетичних перетворень; 4) один з літолого-фаціальних різновидів рифової еко-морфодинамічної системи, який сформувався в умовах фацій карбонатної платформи (шельфу). Крім того, це унікальні ідентифікатори седиментаційного середовища і є результатом прояву комплексу фізичних і біохімічних процесів; винятковий будівельний (природний декоративний) матеріал. Із блоків цієї породи зведені будівлі, пам'ятники й навіть цілі містечка, які є об'єктами Всесвітнього надбання<sup>1</sup>.

**Актуальність.** На сучасному етапі ця група порід може бути об'єктом вивчення таких наукових напрямів, як седиментологія, літологія, нафтогазова геологія, палеонтологія, стратиграфія, геотуризм.

З позиції **седиментології** – це продукт поєднання і взаємодії фізичних й біохімічних процесів, параметрів і чинників басейнів, вивчення яких сприяє з'ясуванню й відтворенню середовищ та умов седиментації різних типів (категорій) ооїдів.

З позиції **літології** – це карбонатні утворення специфічної зовнішньої і внутрішньої будови, компонентним складом (каркас, матрикс, цемент, пори), діагенетичними перетвореннями, вивчення яких сприяє виділенню морфологічних ознак й елементів для створення систем класифікації, номенклатури і термінології цих порід та їх складових сфероїдів/ооїдів зі схемою опису, виділення порід-еталонів.

---

<sup>1</sup> Marker B. R. Bath Stone and Purbeck Stone : A comparison in terms of criteria for Global Heritage Stone Resource Designation. *Episodes* 38 (2). 2015. P. 118–123.



**Рис. 1.** Типи сфероїдів/оолітів різного віку, розмірів і ступеня сортування:  
*a* – типові багамські ооїди, Багамські острови, сучасні. Сортовані з шліфованими поверхнями від зіткнень зерен під час транспортування з середовищ утворення; *б* – добре відсортовані ооїди в архейському ооліті (2,72 млрд років тому), формація Тумбіана, Пілбара, Західна Австралія; *в* – поперечні перетини ооїдів Рогенштейна (тріас) у блоці, видобутому з кар’єру, описаного Брюкманом 1721 р., гігантські ооїди, погано сортовані, поперечні перетини з концентрично-ламінованою облямівкою (тріас, Барнеберг, Німеччина); *г* – погано сортовані ооїди, у шліфах – перетини ядра та облямівки з темними й світлими ламінами, простежено тенденцію до максимального діаметра ~ 4 мм (середній кембрій, Лонгмен, Китай); *д* – мікрофотографія шліфу типових тріасових рогенштайнових ооїдів, концентричні шари кегельструктур та відбитки шпіндельструктур. Хізеберг, Німеччина; *е* – шліф – поперечні перетини ооїдів (тріас, Лічуань, Китай), ядро, концентричні шари і діагенетична перекристалізація набуті пізніше; *ж* – добре відсортовані ооїди (діаметром до 4–5 мм) в оолітовому вапняку, неоген, сармат, м. Ізяслав, Хмельницька обл., Україна



**Будова сфероагрегатних карбонатних порід  
компонентний склад**

**Каркас**

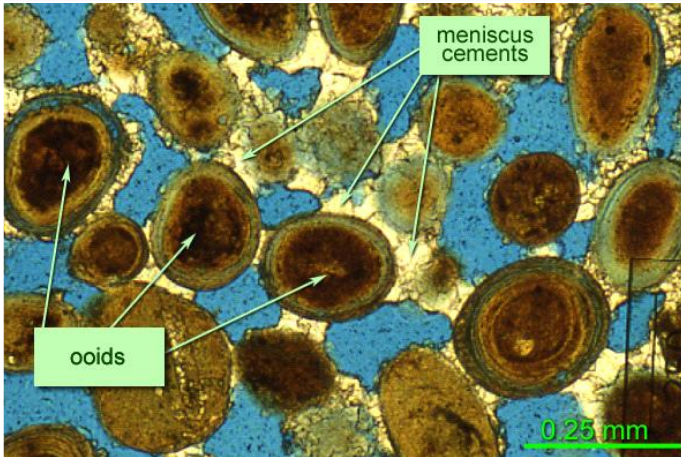
зерна сфероїдної/оолітової форми – скелетні або безскелетні ядра з обляміркою або без неї, які й визначають назву породи – сфероїдний або оолітовий вапняк

**Матрикс**

– мікрит (мікрокристалічна карбонатна речовина (зерна, менше 4 мкм, темного забарвлення у прохідному світлі);  
– вапнистий або карбонатний мул, розміром 62 мкм

**Цемент**

– кристали арагоніту або кальциту, різні за розміром і формою > 30 мкм,  
– галін (аморфне вулканічне скло – прозора речовина у прохідному світлі)



**Рис. 2. Схема будови сфероїдної/оолітової карбонатної породи  
(компонентний склад: каркас – ооїди; матрикс – мікритні зерна, менше  
4 мкм; менісковий цемент – матеріал між каркасом і матриксом)**

3 позиції **вуглеводневої геології** – унікальні резервуари (колектори карбонатного типу з комплексом показників і властивостей) для акумуляції й локалізації промислових покладів вуглеводнів. Сьогодні відомі родовища нафти і газу у кам'яновугільних (США), кембрійських, тріасових (Китай), юрських і крейдових (Європа, Індонезія, Ірак) та інших утвореннях.

3 позиції **палеонтології** – це об'єкт, у якому рештки макро- і мікроорганізмів виконують породотвірну роль як складові ядер сфероїдів/ооїдів і як детритивний матеріал у самій оолітовій породі (оолітово-детритивний або оолітово-органогенний вапняк).

З позиції **стратиграфії** їх можна розглядати як специфічні морфолітостратиграфічні підрозділи (Стратиграфічний кодекс України, 2012), оскільки є продуктами руйнування або/та утворення рифових систем і представляють особливі літолого-фаціальні тіла. Органогенні масиви – сукупність породошаруватих систем (геологічних тіл), що об'єднані за літологічними, фаціально-морфологічними ознаками, які використовують як допоміжні місцеві стратони. Стратони значної потужності і поширення можуть картуватися як окремі одиниці і мати власні географічні назви.

Органогенні масиви (рифів, біогерми, біостроми) залягають серед стратифікованих порід у вигляді ізольованих лінзоподібних тіл або їх ланцюжків. Представлені масивними нешаруватими карбонатними породами або біогенними утвореннями. Межі різко діахронні. Потужність рифів може перевищувати потужність суміжних одновікових стратифікованих відкладів; біогерми і біостроми зазвичай малопотужні і входять до складу місцевих стратонів.

З позиції **палеогеографії** – це надійний індикатор для визначення кліматичної зональності й положення того чи іншого регіону у просторі і часі в геологічному минулому.

З позиції **геотуризму** – унікальний комплексний природний об'єкт (рис. 9), який має культурно-освітнє, науково-пізнавальне, природоохоронне і рекреаційне значення. Визначення критеріїв для розгляду їх як об'єктів геотуризму із наданням їм статусу місцевого, національного чи Всесвітнього надбання наведені в праці<sup>2</sup>.

**Об'єкт дослідження** – типи сфероїдів/ооїдів (рис. 1) різного віку, складу, розмірів і ступеня сортування. Головна мета – вивчення різних категорій сфероїдів для з'ясування умов седиментації у морському середовищі й побудови універсальної моделі класифікації.

Для досягнення мети вирішено такі завдання:

1. Аналіз результатів досліджень сфероїдних/оолітових карбонатних порід у світовому масштабі для визначення їхнього наукового, прикладного й культурно-освітнього значення.

2. З'ясування науково-термінологічного визначення поняття «оолітовий вапняк» із зображенням (рис. 1) для візуальної діагностики у польових умовах.

---

<sup>2</sup> Marker B. R. Bath Stone and Purbeck Stone: A comparison in terms of criteria for Global Heritage Stone Resource Designation. *Episodes* 38(2). 2015. P. 118–123.

3. Аналіз зовнішньої будови (макрорівень) (рис. 2) і внутрішньої будови (мікрорівень) сфероїдів/ооїдів (рис. 3).

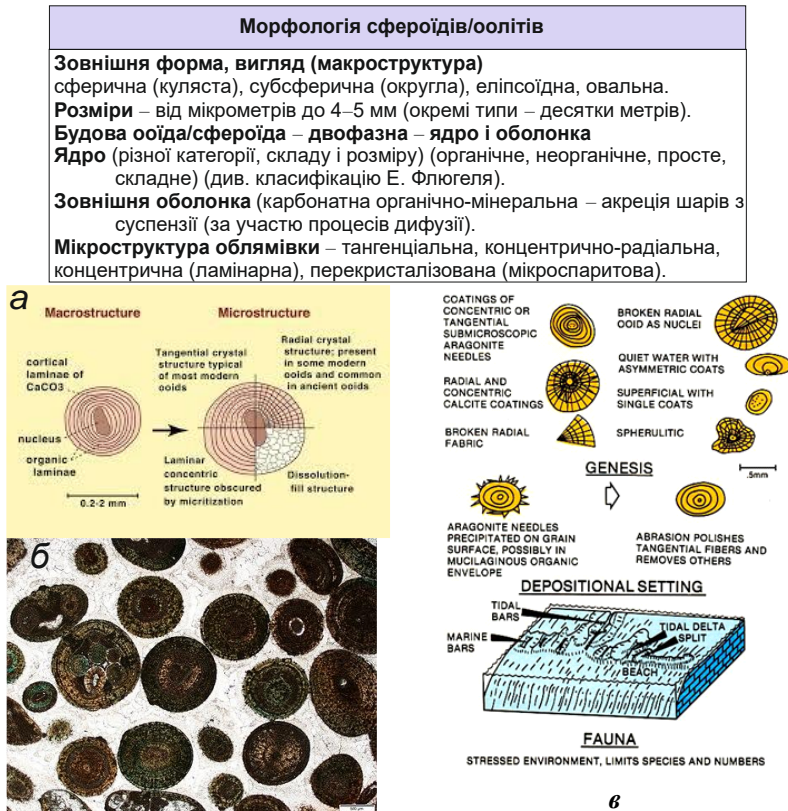


Рис. 3. Схематична будова ядра і облямівки ооїдів: *a* – схема морфології (макро- і мікроструктура ядра) сфероїда/ооїда; *б* – морфологія різних типів (категорій) сфероїдів/ооїдів; *в* – структура і типи облямівки сфероїдів/ооїдів і середовище осадження, за (SEPM Stratigraphy Web. Pisolites, Oncoids, and Oncolites)

4. Аналіз просторової моделі аквального середовища для визначення походження і локалізації різних типів сфероїдів/ооїдів (рис. 4).

5. З'ясування питання автохтонного/алохтонного походження.

6. З'ясування критеріїв й ознак сфероагрегатів для визначення номенклатури, класифікації й термінології цього типу порід.

**Літературний огляд.** Вивченню сфероагрегатних карбонатних порід присвячено чимало публікацій як вітчизняних, так і закордонних дослідників. У своїх працях науковці намагалися з'ясувати питання будови, походження, номенклатури, класифікації й термінології оолітів, процесів та умов утворення, чинників і параметрів середовищ седиментації. Однак з огляду на тривалу історію досліджень ці проблеми залишаються актуальними й сьогодні. До кінця не розкрито значення цих порід як об'єкта геотуризму. Кількість опублікованих праць із зазначеної тематики за змістом досліджень можна розділити на: 1) фундаментальні; 2) прикладні; 3) культурно-освітні. З огляду на майже 100-річну історію досліджень оолітів й оолітових порід (Фролов, 1992<sup>3</sup>; Хмелевський, Хмелевська, 2015<sup>4</sup>; Batchelor, etc., 2018<sup>5</sup>; Bathurst, 1975<sup>6</sup>; Burne, etc., 2012<sup>7</sup>; Dunham, 1962<sup>8</sup>; Flügel, 2004<sup>9</sup>; Folk, 1959<sup>10</sup>; 1962<sup>11</sup>; Sorby, 1879<sup>12</sup>; Shearman, etc., 1970<sup>13</sup>; Suess, Fütterer, 1972<sup>14</sup>) не

---

<sup>3</sup> Фролов В. Т. Литология: в 3-х кн. : учеб. пособие. Москва : Изд-во Моск. ун-та, 1992. 336 с.

<sup>4</sup> Хмелевський В. О., Хмелевська О. В. Літологія: Літогенез. Осадкові породи : навч. посібник. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2015. 536 с.

<sup>5</sup> Batchelor M. T., Burne R. V., Henry B. I., Li Fei, Paul J. A biofilm and organomineralisation model for the growth and limiting size of ooids. Scientific Reports. 2018. Vol. 8. No. 559. P. 1–9.

<sup>6</sup> Bathurst R. G. Carbonate sediments and their diagenesis. Developments in Sedimentology. Elsevier, 1975. Amsterdam. Vol. 12. 658 p.

<sup>7</sup> Burne R. V., Eade J. C., Paul J. The Natural History of Oolites: Franz Ernst Brückmann's treatise of 1721 and its significance for the understanding of oolites. Hallesches Jb. Geowiss. 2012. Vol. 35. P. 93–114.

<sup>8</sup> Dunham R. J. Classification of carbonate Rocks according to depositional texture. In: Ham W. E. (ed.). Classification of carbonate Rocks. A Symposium: American Association of Petroleum Geologists. Memoir. 1. 1962. P. 108–121.

<sup>9</sup> Flügel E. Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2004. XXXVIII. 976 p.

<sup>10</sup> Folk R. L. Practical petrographic classification of limestones: American Association of Petroleum Geologists Bulletin. 1959. Vol. 43. P. 1–38.

<sup>11</sup> Folk R. L. Spectral subdivision of limestone types: in Ham W.E. (ed.). Classification of carbonate Rocks. A Symposium: American Association of Petroleum Geologists. Memoir 1. 1962. P. 62–84.

<sup>12</sup> Sorby H. C. The structure and origin of limestones. *Proc. Geol. Soc.* London. 1879. Vol. 35. P. 56–94.

<sup>13</sup> Shearman D. J., Twyman J., Karimi M. Z. The genesis and diagenesis of oolites. Proceedings of the Geologists' Association. 1970. Vol. 81. P. 561–575.

<sup>14</sup> Suess E., Fütterer D. Aragonitic ooids: experimental precipitation from seawater in the presence of humic acid. Sedimentology. 1972. Vol. 19. P. 29–139.

створено єдиної універсальної класифікації, досі не сформульовано загальне уявлення щодо пояснення їхнього походження і не існує загальної назви для цього типу утворень. На сучасному етапі застосовують класифікації як до карбонатних порід, складених оолітами, так і до самих оолітів. Вони ґрунтуються на різних підходах, критеріях й ознаках, що своєю чергою зумовило значне різноманіття назв (термінів) як для порід, так і для їхніх складових.

Аналіз морфології сфероїдів/оолітів – макро- (будову, склад, форму, розмір зерен, які формують ядра) і мікроструктурні особливості (тип і характер оболонки) – сприяв визначенню категорії зерен і діагностуванню джерел походження ядер, умов та середовищ седиментації.

### **1. Науково-термінологічне визначення та діагностичні ознаки сфероагрегатів (сфероїдів/оолітів)**

Дослідження осадового чохла земної кори сприяли виявленню значного поширення сфероїдних/оолітових вапняків у просторі і часі та визначенню їхнього зв'язку з рифовими системами (приурочені до конкретних морфологічних

елементів біогенної структури). Так, їхні аналоги відомі з докембрію до сьогодні і виявлені майже на теренах усіх континентів (рис. 1). Це не лише унікальний будівельний (природний декоративний) матеріал, а й резервуар для акумуляції й локалізації промислових покладів вуглеводнів.

Сучасний аналіз поширення у просторі визначив їхнє утворення в нормально-морських, солоних, гіперсолоних і прісноводних умовах; для окремих представників зазначені наземні середовища. Простежено сфероїди/ооїди комбінованого типу, які формувалися у перехідних умовах.

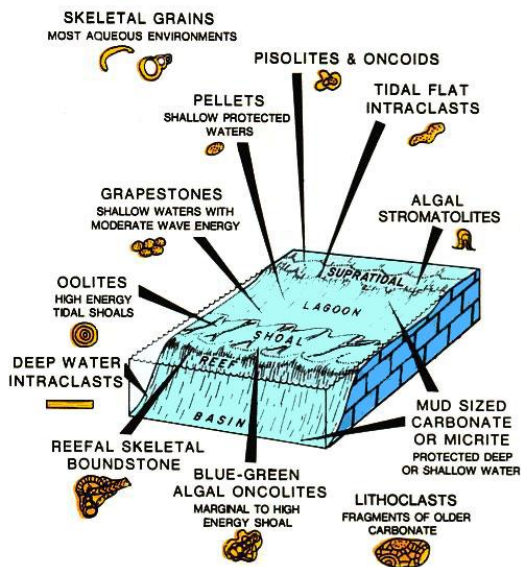
**Походження назви.** Ооїди або ооліти (від грец. *ὄον* – яйце і *λίθος* – камінь) – найбільш уживаний термін, який широко використовує світова геологічна спільнота (синоніми: ікряний камінь, яйцеподібний камінь, Портлендський камінь, Маямі ооліт, Hunts Bay Oolite, Shoofly Oolite, пізоліти та ін.) у науково-довідковій літературі.

Концентричні або тангенціальні ооїди походять зазвичай з високоенергетичних обстановок; радіальні або радіально-променисті (волокнисті) ооїди формуються від помірних до низькоенергетичних середовищ.

Добре збережені радіально-променисті (волокнисті) ламіни викованих ооїдів переважно розглядають як головні елементи, які не

були структурно змінені внаслідок трансформації високо-магнезійного кальциту у низько-магнезійний кальцит. Мікритні ооїди могли бути генеровані випадковим ростом кристалів або появою ооїдів зі стертими первинними тангенціальними або радіальними мікроструктурами, зумовленими мікритизацією або перекристалізацією облямівки. У дужках наведено місця локалізації рідкісних ооїдів; зірочками позначено наземні зерна, які деякі автори назвали ооїдами, а в праці Е. Флогеля (Flügel, 2004) розглянуто як окрему категорію зерен – пізоїди.

## 2. Просторова модель середовищ походження і локалізації різних категорій сфероїдів/ооїдів (скелетні зерна)



**Рис. 4. Просторова модель походження і локалізації в аквальних середовищах різних типів (категорій) скелетних зерен, за (SEPM Stratigraphy Web. Pisolites, Oncoids, and Oncolites)**

*Легенда: пізоліти й онкоїди – супратидаль (зона припливів-відливів); інтракласти – припливна рівнина; водоростеві строматоліти – мілководна лагуна; пелітові карбонатні зерна або мікрити – лагуна (захищені глибоководні або мілководні зони); літокласти – фрагменти давніх карбонатів; синьо-зелені водорості (онколіти) – від помірного до високоенергетичного мілководдя; рифові скелетні боундстоуни; глибоководні інтракласти; ооліти – високоенергетичні припливні відмілини; грейпстоуни – мілководдя з помірною енергією хвилі; пелети – малозахищені води*

### 3. Залежність формування мікроструктури ооїдів від середовища седиментації

Мікро-структура	Мікроструктура облямівки	Мінералогія, приклади сучасних місць локалізації	Середовище утворення
<p>Концентричні (тангенціальні) ооїди</p> 	<p>Концентричні ламіни, складені тангенціально укладеними кристалами, довгі вісі яких орієнтовані паралельно поверхні пластин</p> <p>Високо мікропористі</p>	<p>Арагоніт: Багами, Юкатан, Абу-Дабі, Перська затока</p> <p>Велике Солоне озеро/Юта</p> <p>Низько-магнезійний кальцит: ооїди Чилі*</p>	<p>Дуже мілководні, теплі низькоширотні моря; поширені у високоенергетичних обстановках</p> <p>Озерно-гіперсолоні</p> <p>Наземні</p>
<p>Радіальні (радіально-променисті) (волокнисті) ооїди</p> 	<p>Ламіни, складені радіально-укладеними кристалами; довгі вісі кристалів перпендикулярні до поверхні ламін</p>	<p>Арагоніт: Перська затока, Великий Бар'єрний Риф, (Юкатан, Акулова затока, Середземномор'я) Затока Акаба</p> <p>Велике Солоне озеро/Юта</p> <p>Магнезійно-кальцитові: Затока Бафін/ Техас</p> <p>Кальцит і низько-магнезійний кальцит: наприклад, печерні перли*</p>	<p>Морське мілководдя; поширені у низькоенергетичних обстановках</p> <p>Морські периферійні гіперсолоні водойми</p> <p>Озерно-гіперсолоні</p> <p>Морські-гіперсолоні</p> <p>Не морські</p>
<p>Мікритні (випадкові) ооїди</p> 	<p>Ламіни, складені випадковим укладенням (хаотично-орієнтованими) мікрокристалів, або ламіни, стерті або відсутні через повсюдну мікрітизацію облямівки</p>	<p>Арагоніт: Багами</p>	<p>Морське мілководдя</p>

Рис. 5. Головні типи облямівки (мікроструктури) ооїдів і їхні середовища утворення, за Flügel, 2004<sup>15</sup>

<sup>15</sup> Flügel E. Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2004. XXXVIII. 976 p.

На рис. 6 зображені обстановки осадо накопичення і контролюючі чинники середовища формування ооїдів. На графік нанесені первинна мінералогія, гідродинамічний режим, солоність і середовище осадження типів (категорій) ооїдів, що характеризуються різними морфологічними особливостями і типами облямівок (мікроструктурою).

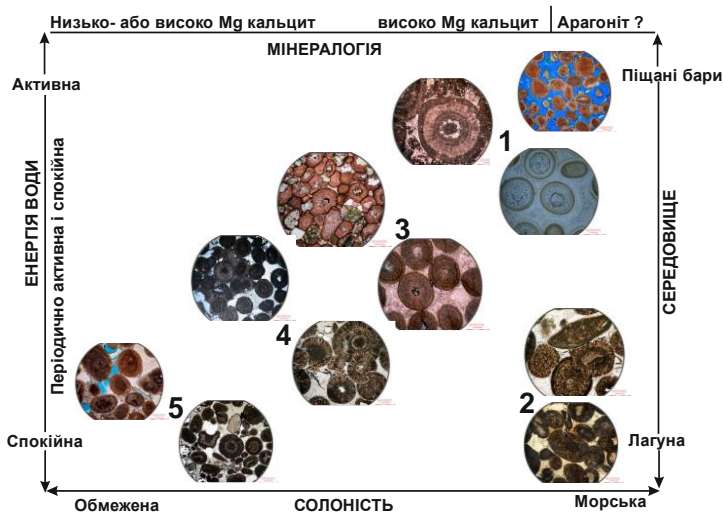


Рис. 6. Осадження різних типів ооїдів у середовищах седиментації

### Нескелетні (мінеральні) зерна

Пелюди:

- зерна субкруглої, сферичної й еліпсоподібної форми;
- складені мікритом;
- без чіткої внутрішньої структури;
- чорні через великий вміст органічної речовини;
- переважно у кластерах;
- 0,05–0,20 мм/50–200 мкм.

Пелети:

- невеликі (переважна довжина від 0,03 до 0,3 мм);
- сферичні до яйцеподібної форми зерна, складені мікритом;
- більшість пелетів не мають внутрішньої структури;
- однорідні за розміром і формою;
- пелети – це фекальні продукти безхребетних організмів.



Ці зерна локалізуються у захищених лагунах і неглибоких міжприпливних водоймах, середовищах з дещо нижчою енергією, ніж ті, де утворюються грейпстоуни і ботрийдні зерна. В таких умовах пелети зазвичай не зберігаються, але при зневодненні і ущільненні перетворюються в мікрит у зонах мілководного поховання. Внаслідок цементації в морських умовах пелети можуть зберігатися. Це зазвичай відбувається на відкритих платформах з активною вітровою та водною діяльністю (пелети видуває вітер або вимивають потоки води).

Поняття пелоїд (McKee, Gutschick 1969)<sup>16</sup> – комплексний описовий термін для позначення полігенних зерен, складений мікрої криптокристалічним карбонатом, або пелоїди – це зерна, складені мікритним матеріалом, які можуть мати різне походження, з облямівкою або без неї.

На рис. 7 наведено типи пелоїдів та склад їхнього ядра. В окремих випадках ідентифікувати походження пелоїдів неможливо через погане збереження (біологічну деградацію або «мікритизацію» карбонатних зерен) первинної внутрішньої структури (рис. 8).

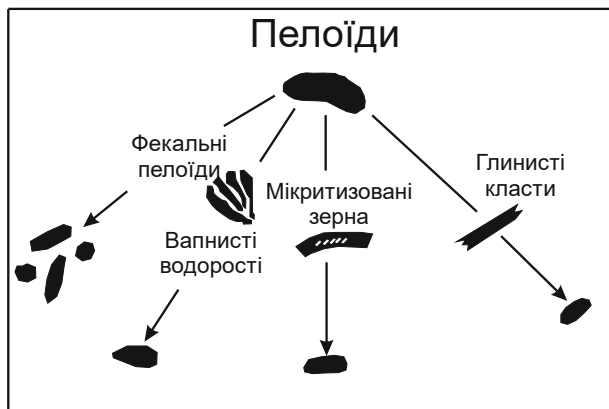


Рис. 7. Схема походження пелоїдів, за (SEPM Stratigraphy Web. Pisolites, Oncoids, and Oncolites)<sup>17</sup>

<sup>16</sup> Flügel E. Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2004. XXXVIII. 976 p.

<sup>17</sup> SEPM Stratigraphy Web. Pisolites, Oncoids, and Oncolites. URL: <http://www.sepmstrata.org/page.aspx?pageid=107>

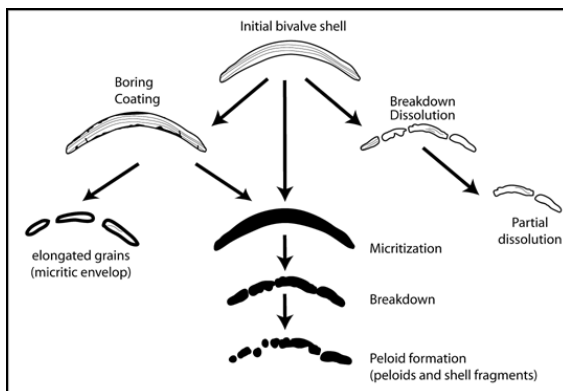


Рис. 8. Схема переходу скелетів двостулкових молюсків (процес мікритизації) у пелюїди, за (SEPM Stratigraphy Web. Pisolites, Oncoids, and Oncolites)<sup>18</sup>

Дрібнозернистий карбонатний осад мікрит може бути осаджений хімічним або біохімічним шляхом з морської води, отриманий внаслідок стирання раніше існуючих кальцієвих зерен, або утворюватися під час руйнування вапнистих зелених водоростей (рис. 9).

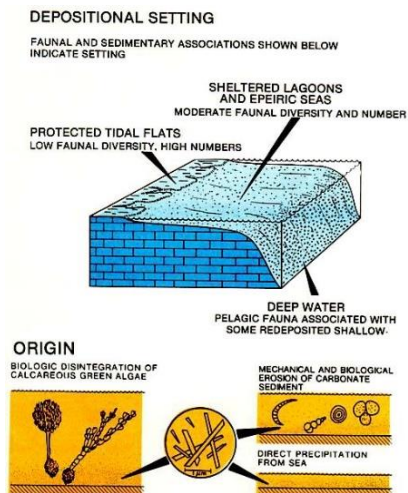


Рис. 9. Схема осадження мікритних зерен, за (SEPM Stratigraphy Web. Pisolites, Oncoids, and Oncolites)<sup>19</sup>

<sup>18</sup> SEPM Stratigraphy Web. Pisolites, Oncoids, and Oncolites. URL: <http://www.sepmstrata.org/page.aspx?pageid=107>

<sup>19</sup> Ibid/

Цей осад накопичується в різних умовах: у спокійних водах ізольованих лагун, нижче базису діяльності хвиль, у більш глибоководних умовах і, навіть, усередині і в зонах, захищених водоростевими килимками. Якщо присутність мікриту використовують для інтерпретації параметрів осадження, то варто також брати до уваги його вертикальний зв'язок з іншими літологічними типами й аналіз органічних решток. Будь-яка інтерпретація ускладнюється наявністю цементів мікритного розміру, які можуть мати інший розподіл порівняно з дрібнозернистими відкладами. Мікритизація зруйнованих скелетних і нескелетних зерен, тобто перекристалізація раніше існуючої кристалічної тканини в мікритну, також до кінця не з'ясована. Це можна пояснити тим, що ці мікрозерна можуть мати різну природу походження – як органічну, так і фізичну чи хімічну (як фрагменти осадового мікриту) (табл. 1, рис. 10).

Таблиця 1

**Походження і діагностичні критерії карбонатних пелоїдів,  
за Е. Флюгелем (Flügel, 2004)**

Походження		Типи	Діагностичні критерії
1	2	3	4
Біотичне	Літифіковані органічні екскременти	Фекальні пелети	Округло-видовжені, стрижнеподібні або яйцеподібні темнозабарвлені мікритні зерна, інколи сферичні. Зазвичай гомогенні або з включеннями глинистої розмірності, інколи з визначенням внутрішньої структури. Розмір менше 0,01 до кількох мм. Деякі асоціації з структурами біотурбації.
	Абразивні продукти водоростей і мікробіалітів	Водоростеві пелоїди	Неправильної форми, округлі мікритні зерна з чіткою градацією від зерен з реліктовими водоростевими структурами до гомогенних зерен. Розміром від 0,2 до 2 мм.
	Зерна як результат діяльності організмів – свердління і розпушення	Біоерозійні пелоїди	Неправильні субокруглі і кутасті зерна. Розміром від 0,2 до 0,01 мм.
Перероблені мули і зерна	Синседиментаційні і післяседиментаційні перероблені карбонатні мули і мікрити	Мулисті пелоїди (літифіковані пелоїди)	Коливання форми мікритних зерен, зазвичай без внутрішніх структур. Різних розмірів, погано сортовані. Часто трапляються в окремих шарах або ламинах.
	Внутрішні мушельні мікрити (фрагменти стулок бівальвій)	Мушельні пелоїди	Яйцеподібні мікритні зерна, інколи з реліктами залишків нероз'єднаних стулок (остракоди, дрібні бівальві).

Продовження таблиці 1

1	2	3	4
Змінені зерна	Ооїди й округлі скелетні зерна, чий мікроструктури втрачені через мікрітизацію	Багамітові пелоїди	Округлі мікрітні зерна, деякі з реліктами первинних мікроструктур. Асоціації пелоїдів, агрегатні зерна і ооїди. Перехід мікрітизованих блоклів у пелоїди того ж розміру. Більші за водоростеві пелоїди.
	Ооїди і скелетні зерна; мікроструктури зруйновані перекристалізацією	Пелетоїди	Мікрікрісталічні зерна в місцях з невизначеним залишком внутрішніх структур. Дифузний контур через об'єднання й ущільнення.
Утворені in-situ	Біохімічне осадження, викликане мікробами і органічною речовиною	Мікробіальні пелоїди	Асоційовані округлі мікрітні зерна з ламінами та згустками тканин. Розміром від 0,8 до 0,06 мм.
	Хімічне осадження карбонатних цементів з або без органічного контролю	Осадкові пелоїди	Крихитні пелоїди з карбонатним цементом; складені у центрі хмароподібним мікрітом, заокругленими чіткими зовнішніми ободками кристалів. Поява в осадах заповнених порожнин (наприклад, в рифах).

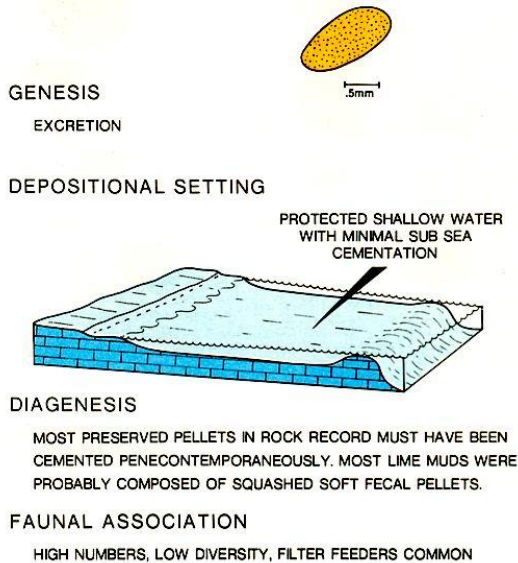


Рис. 10. Схема осадження пелетів, за (SEPM Stratigraphy Web. Pisolites, Oncoids, and Oncolites)<sup>20</sup>

<sup>20</sup> SEPM Stratigraphy Web. Pisolites, Oncoids, and Oncolites. URL: <http://www.sepmstrata.org/page.aspx?pageid=107>

#### 4. Теоретично-класифікаційний аспект

До недавнього часу вважалося, що оолітові вапняки мають виключно хемогенне походження за участю фізичних (механічних) чинників, однак в останні роки експериментальним шляхом була доведена роль біотичних процесів<sup>21</sup>. І цю обставину також варто брати до уваги під час створення їхньої класифікації. Аналіз еволюції поглядів науковців щодо інтерпретації генези оолітів виявив: 1) механічне походження шляхом агрегації дрібнозернистих частинок навколо ядра перекочуванням по дну на м'якому субстраті<sup>22</sup>; 2) хімічне походження шляхом осадження з перенасиченого розчину навколо ядра<sup>23</sup>; 3) біохімічне походження, в якому мінеральне осадження є каталізатором розчиненої органічної речовини<sup>24</sup>; 4) біологічне походження шляхом органомінералізації поверхневої біоплівки<sup>25</sup>. На нашу думку, зважаючи на обставину, що ооліти чи оолітові вапняки здебільшого формуються в межах рифових систем (є продуктами руйнування й подальшого утворення), а рифові системи безперечно є результатом біо- і хемогенної діяльності, то безумовно у процесах генези цих порід наявна роль біологічних чинників. Термін пелоїд має лише описове значення, допоки у процесі дослідження шліфів не буде виявлено інформацію про генетичне походження.

На сучасному етапі за номенклатури, класифікації і термінології вапняків, складених сфероагрегатами (сферокластами, сфероїдами, оолітами), використовують комплекс ознак і чинників, у тім числі середовища і процеси осадження в межах сучасних басейнів з урахуванням фаціальних особливостей басейнів седиментації геологіч-

---

<sup>21</sup> Batchelor M. T., Burne R. V., Henry B. I., Li Fei, Paul J. A biofilm and organomineralisation model for the growth and limiting size of ooids. *Scientific Reports*. 2018. Vol. 8. No. 559. P. 1–9.

<sup>22</sup> Folk R. L. Spectral subdivision of limestone types: in Ham W. E. (ed.). *Classification of carbonate Rocks. A Symposium: American Association of Petroleum Geologists. Memoir 1*. 1962. P. 62–84.

<sup>23</sup> Batchelor M. T., Burne R. V., Henry B. I., Li Fei, Paul J. A biofilm and organomineralisation model for the growth and limiting size of ooids. *Scientific Reports*. 2018. Vol. 8. No. 559. P. 1–9.

<sup>24</sup> Suess E., Fütterer D. Aragonitic ooids: experimental precipitation from seawater in the presence of humic acid. *Sedimentology*. 1972. Vol. 19. P. 29–139.

<sup>25</sup> Shearman D. J., Twyman J., Karimi M. Z. The genesis and diagenesis of oolites. *Proceedings of the Geologists' Association*. 1970. Vol. 81. P. 561–575.

ного минулого. Крім того, не менш важливе значення відведено мікроскопічному вивченню оолітових вапняків, а саме мікрофаціальному аналізу. За первинним визначенням Brown, 1943<sup>26</sup> і незалежних досліджень Cuvillier, 1925<sup>27</sup> термін мікрофація охоплював лише петрографічні й палеонтологічні критерії, діагностовані у тонких перетинах (шліфах). Однак у наш час мікрофації розглядають як сукупність усіх седиментологічних і палеонтологічних особливостей, які можуть бути описані й класифіковані у тонких перетинах (шліфах), плівках, шліфованих зразках або зразках гірських порід<sup>28</sup>. Отже, завдяки детальному (мікроскопічному) вивченню карбонатних порід виявлено специфічну морфологію оолітів – наявність двофазної будови (ядра й оболонки), різну категорію зерен (склад, розмір, форма, походження), що виконують роль ядра, різні морфологічні особливості облямівки, а це своєю чергою зумовило створення класифікації на основі типів зерен (органічний/неорганічний) та їхніх асоціацій (пелюди, різно облямовані ядра, агрегати зерен, класти), породило виникнення різноманіття назв (табл. 1, рис. 1, 2) і сприяло виділенню таких вапняків в окрему групу.

У своїй праці ми спробували з'ясувати питання термінології, номенклатури й класифікації окремої групи утворень зі специфічною будовою, речовинним складом й особливим зовнішнім виглядом – карбонатних порід, складених округлими, кулястими/сферичними, яйцеподібними (еліпсоподібними), горохо- чи бобоподібними формами. Для означення цих вапняків використовують такі науково-термінологічні поняття, як ооїди або ооліти (Batchelor, etc., 2018<sup>29</sup>; Burne, etc., 2012<sup>30</sup> та ін.), сфероагрегати (біосфероагрегати) (Фролов,

---

<sup>26</sup> Flügel E. *Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2004. XXXVIII. 976 p.

<sup>27</sup> Flügel E. *Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2004. XXXVIII. 976 p.

<sup>28</sup> Folk R. L. *Practical petrographic classification of limestones: American Association of Petroleum Geologists Bulletin*. 1959. Vol. 43. P. 1–38.

<sup>29</sup> Batchelor M. T., Burne R. V., Henry B. I., Li Fei, Paul J. *A biofilm and organomineralisation model for the growth and limiting size of ooids*. *Scientific Reports*. 2018. Vol. 8. No. 559. P. 1–9.

<sup>30</sup> Burne R. V., Eade J. C., Paul J. *The Natural History of Oolites: Franz Ernst Brückmann's treatise of 1721 and its significance for the understanding of oolites*. *Hallesches Jb. Geowiss.* 2012. Vol. 35. P. 93–114.

1992)<sup>31</sup>, allochem (Folk, 1959; 1962<sup>32</sup> та ін.). Останній термін, запропонований американським дослідником Р. Фолком, означає механічне осадження зерен, які здебільшого піддавалися транспортуванню (акумуляції). Поняття сфероагрегати виділене російським дослідником В. Фроловим і вжите українськими науковцями В. Хмелевським та ін. (Хмелевський, Хмелевська, 2015)<sup>33</sup>. В основу класифікації німецького дослідника Е. Флюгеля<sup>34</sup> покладений комплекс ознак, серед яких головне значення відведене категорії зерен, що виконують роль ядер у кульках або сферах, й будові облямівки. Однак ним не запропоновано загального науково-термінологічного поняття для цих утворень. Ооїди або ооліти – це найбільш поширена назва порід, яка надійно увійшла у вітчизняну і закордонну (науково-довідкову) геологічну літературу і сьогодні має чимало синонімів, зокрема, ікряний камінь, яйцеподібний камінь, Портлендський камінь, Маямі Ооліт, Hunts Bay Oolite, Shoofly Oolite, пізоліти та ін.).

У першому випадку Р. Фолк у своїй класифікації акцентує увагу на механізмі утворення і морфології порід (компонентному складі і структурно-текстурних особливостях). Подібних поглядів дотримується і Р. Данем (Dunham, 1962). Також автори взяли до уваги діагенетичні перетворення. Інші – перевагу надають типам (категоріям) оолітів – морфології агрегатів, складу, розміру, зовнішній формі, макро- і мікроструктурним особливостям), які є складовими цих порід. Російський дослідник В. Фролов запропонував термін сфероагрегати<sup>35</sup>, який запозичили й українські науковці В. Хмелевський зі співавторами, під ним розуміють специфічні

---

<sup>31</sup> Фролов В. Т. Литология : в 3-х кн.: учеб. пособие. Москва : Изд-во Моск. ун-та, 1992. 336 с.

<sup>32</sup> Folk R. L. Spectral subdivision of limestone types: in Ham W. E. (ed.). Classification of carbonate Rocks. A Symposium: American Association of Petroleum Geologists. Memoir 1. 1962. P. 62–84.

<sup>33</sup> Хмелевський В. О., Хмелевська О. В. Літологія: Літогенез. Осадові породи : навч. посібник. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2015. 536 с.

<sup>34</sup> Flügel E. Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2004. XXXVIII. 976 p.

<sup>35</sup> Фролов В. Т. Литология : в 3-х кн. : учеб. пособие. Москва : изд-во Моск. ун-та, 1992. 336 с.

утворення сферичної форми, складені субстратом (речовиною) різного походження і складу. У праці німецького дослідника Е. Флюгеля (Flügel, 2004) такого терміна не знаходимо, однак автор акцентує увагу на морфології сферичних форм і на підставі цієї ознаки виділяє зерна (ядра) різних типів, від яких залежить номенклатура назв.

Тому водночас з використанням поняття сфероагрегати, який чітко визначає зовнішній вигляд порід, пропонуємо для вжитку терміни сферокласти та сфероїди, або залишити поняття ооліти, яким користується уся світова геологічна спільнота, а його значення чітко відображає зовнішній вигляд утворень. Нижче наводимо порівняння схем класифікацій і науково-термінологічних понять (табл. 2, рис. 11, 13), а також наукові підходи, використані дослідниками.

Таблиця 2

**Порівняльна характеристика схем класифікацій сфероагрегатів/оолітів**

Класифікація сфероагрегатів, за В. Фроловим (1992), В. Хмелевським (2015)	Класифікація оолітів, за Е. Флюгелем (Flügel, 2004; 2010)	
	Тип (категорія) зерна	Назва (номенклатура) оолітів, сфероїдів, сферокластів
Сфероагрегатні/ біосфероагрегатні <i>Оолітові,</i> <i>Пізолітові,</i> <i>Бобові,</i> <i>Сферолітові,</i> <i>Псевдооолітові,</i> <i>Вузлуваті (нодулярні)</i> <i>Грудкуваті,</i> <i>Конкреційні та ін. –</i> <i>Онколіти,</i> <i>Біооліти,</i> <i>Копроліти (мікритової</i> <i>структури)</i>	Мікритні зерна Облямівні зерна Агрегатні зерна  Фрагменти порід/літокласти  Біотичні фрагменти	<i>Пелоїди, пелети</i> <i>Кортоїди, ооїди, онкоїди,</i> <i>пізоїди</i> <i>Грейпстоуни, ботроїдні</i> <i>згустки</i>  <i>Інтра- й екстракласти</i> <i>Скелетні зерна</i>



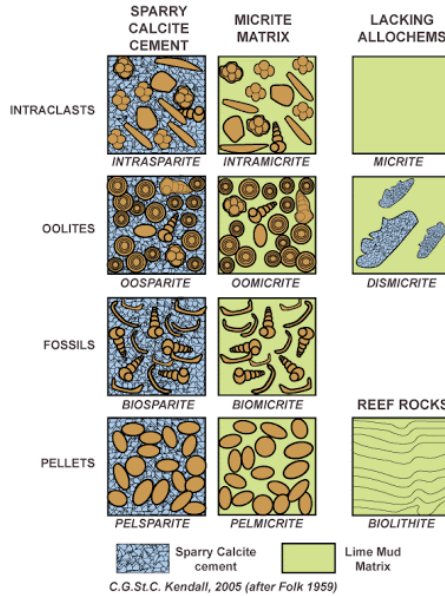


Рис. 11. Класифікація карбонатних порід (allochems), за (Folk, 1959, 1962)<sup>36</sup>

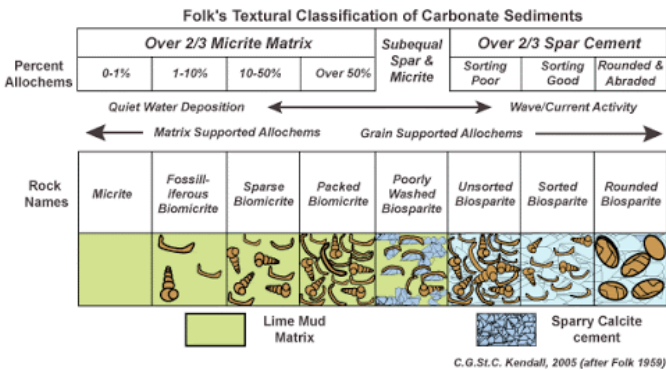
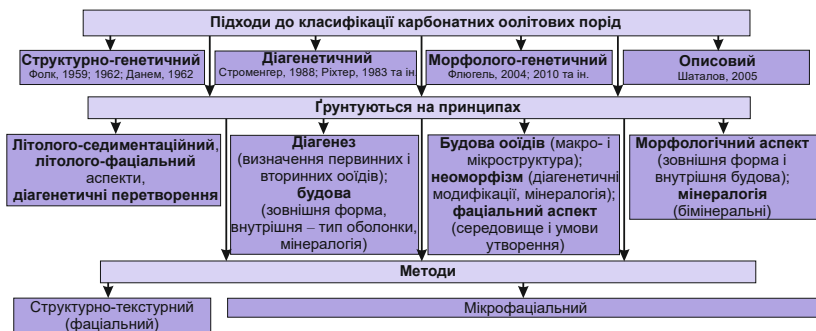


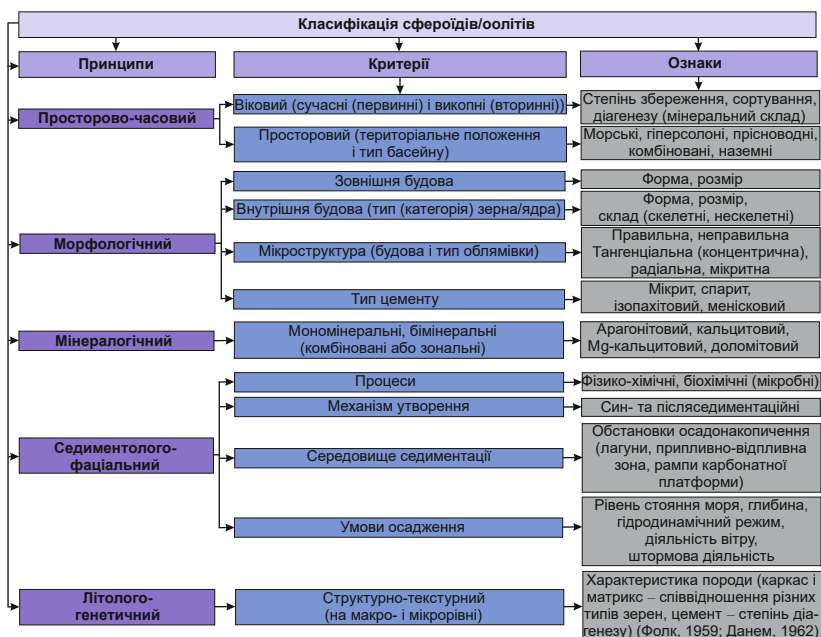
Рис. 12. Класифікація карбонатних порід (сфероагрегатів), за (Dunham, 1962)<sup>37</sup>

<sup>36</sup> Folk R. L. Spectral subdivision of limestone types: in Ham W. E. (ed.). Classification of carbonate Rocks. A Symposium : American Association of Petroleum Geologists. Memoir 1. 1962. P. 62–84.

<sup>37</sup> Dunham R. J. Classification of carbonate Rocks according to depositional texture. In: Ham W.E. (ed.). Classification of carbonate Rocks. A Symposium : American Association of Petroleum Geologists. Memoir. 1. 1962. P. 108–121.



**Рис. 13. Науково-теоретичні підходи до класифікації карбонатних сфероїдних порід**



**Рис. 14. Концептуально-теоретична модель класифікації сфероїдів/оолітів**

## ВИСНОВКИ

Отже, мікрофаціальний аналіз з чіткою діагностикою компонентного складу порід, категорій зерен, точних описів морфологічних особливостей їх макро- і мікроструктури, діагенетичних перетворень, доповнених середовищами й умовами утворення – це важливі аргументи у пошуку і визначенні науково-термінологічних понять, створенні класифікації і номенклатури для різних типів порід, складених сфероїдами/оолітами.

Типи ядер або категорії зерен – це продукти утворення (карбонати морських і неморських) палеосередовищ, які контролюються рядом чинників – інтенсивністю водної енергії (хвилеприбійної діяльності, типом середовищ седиментації); характером і диференціацією специфіки обстановок осадження і коливанням рівня моря. Вони створюють уявлення про глобальні варіації карбонатної мінералогії в океанах фанерозою. Зразки асоціацій зерен посідають важливе місце у реконструкції палеокліматичних зон та їх просторового положення. Зрілість складових компонентів вапняків (ступінь наближення осаду до наступних кінцевих членів: синседиментаційних кластів, оолідів, фосилій, пелоїдів, мікритів і теригенних мінералів) – це збільшення складності процесів та їх проявів у карбонатних відкладах (Flügel E., 2004)<sup>38</sup>. Зміна складу зерен відображає циклічне осадження й сприяє оцінці секвенс-стратиграфічних моделей. Типи зерен, мінералогія і просторові зміни у розподілі зерен є головними регуляторами розвитку пористості пластових порід.

На сучасному етапі номенклатура, термінологія й класифікація сфероїдів/оолітів потребує уточнення й деталізації з охопленням усієї сьогоденної наявної інформації. Доцільним є виділення принципів, критеріїв, ознак, які містили б, за можливості (через відсутність еталонного матеріалу), усі макро- і мікроскопічні методи досліджень і методики опису з метою узгодження усіх параметрів і характеристик (термінології) сфероїдів/оолітів для визначення різних їх типів (номенклатура). Запропоновано концептуально-теоретичну модель класифікації сфероїдів/оолітів (рис. 14).

---

<sup>38</sup> Flügel E. *Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2004. XXXVIII. 976 p.

## АНОТАЦІЯ

Оолітові вапняки – це унікальні утворення морського середовища і надійні індикатори його фізичних, хімічних й біотичних параметрів. Вивчення цих порід має наукове й прикладне значення. Перше полягає у з'ясуванні й уточненні умов утворення цих порід, з метою їх класифікації та детального опису. Друге – у використанні їх як ресурсу акумуляції, локалізації і видобутку корисних копалин та побудові моделей осадових басейнів. Сучасні дослідження оолітових вапняків доповнюють і уточнюють моделі седиментації, запропоновані раніше. Сьогодні оолітові вапняки відомі на усіх континентах і виявлені у відкладах починаючи з докембрію до антропогену. Уперше на підставі аналізу вітчизняної і закордонної літератури розглянуто питання номенклатури, термінології і класифікації сфероагрегатних карбонатних утворень (сферокластів, сфероїдів, оолітів). Визначено наукові підходи, принципи, критерії й ознаки, покладені в основу класифікацій і науково-термінологічних понять як порід, так і їх складових сфероїдів. Наведено компонентний склад порід (каркас, матрикс, цемент) і морфологічні особливості сферокластів (макро- і мікроструктура). З'ясовано місця локалізації різних типів (категорій) оолітів у седиментаційних середовищах. Розглянуто залежність формування мікроструктури оолітів від середовища седиментації. Запропоновано концептуально-теоретичну модель класифікації сфероїдів з охопленням усієї сьогоденної наявної інформації. Через відсутність еталонного матеріалу, узагальнено усі макро- і мікроскопічні особливості цього типу порід та методики опису з метою узгодження усіх параметрів і характеристик (термінології) сфероїдів/оолітів для визначення різних їх типів (номенклатура). Розроблена модель класифікації може бути використана як основа під час опису сфероагрегатних порід. Висвітлено актуальність вивчення цього типу утворень. Визначено, що вони можуть бути об'єктом дослідження таких наукових напрямів, як седиментологія, літологія, нафтогазова геологія, палеонтологія, стратиграфія, палеогеографія, геотуризм.

## Література

1. Стратиграфічний кодекс України / відп. ред. П. Ф. Гожик. 2-е вид. Київ, 2012. 66 с.
2. Фролов В. Т. Литология : в 3-х кн. : учеб. пособие. Москва : изд-во Моск. ун-та, 1992. 336 с.

3. Хмелевський В. О., Хмелевська О. В. Літологія: Літогенез. Осадові породи: навч. Посібник. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2015. 536 с.

4. Batchelor M. T., Burne R. V., Henry B. I., Li Fei, Paul J. A biofilm and organomineralisation model for the growth and limiting size of ooids. *Scientific Reports*. 2018. Vol. 8. No. 559. P. 1–9. DOI: 10.1038/s41598-017-18908-4

5. Bathurst R. G. Carbonate sediments and their diagenesis. *Developments in Sedimentology*. Elsevier, 1975. Amsterdam. Vol. 12. 658 p.

6. Burne R. V., Eade J. C., Paul J. The Natural History of Oolites: Franz Ernst Brückmann's treatise of 1721 and its significance for the understanding of oolites. *Hallesches Jb. Geowiss.* 2012. Vol. 35. P. 93–114.

7. Dunham R. J. Classification of carbonate Rocks according to depositional texture. In: Ham W.E. (ed.). Classification of carbonate Rocks. *A Symposium: American Association of Petroleum Geologists*. Memoir. 1. 1962. P. 108–121.

8. Flügel E. Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2004. XXXVIII. 976 p.

9. Folk R. L. Practical petrographic classification of limestones: American Association of Petroleum Geologists Bulletin. 1959. Vol. 43. P. 1–38.

10. Folk R. L. Spectral subdivision of limestone types: in Ham W.E. (ed.). Classification of carbonate Rocks. *A Symposium: American Association of Petroleum Geologists*. Memoir 1. 1962. P. 62–84.

11. Marker B.R. Bath Stone and Purbeck Stone: A comparison in terms of criteria for Global Heritage Stone Resource Designation. *Episodes* 38(2). 2015. P. 118–123.

12. SEPM Stratigraphy Web. Pisolites, Oncoids, and Oncolites. URL: <http://www.sepmstrata.org/page.aspx?pageid=107>

13. Sorby H. C. The structure and origin of limestones. *Proc. Geol. Soc.* London. 1879. Vol. 35. P. 56–94.

14. Shearman D. J., Twyman J., Karimi M. Z. The genesis and diagenesis of oolites. *Proceedings of the Geologists' Association*. 1970. Vol. 81. P. 561–575.

15. Suess E., Fütterer D. Aragonitic ooids: experimental precipitation from seawater in the presence of humic acid. *Sedimentology*. 1972. Vol. 19. P. 29–139.

**Information about the author:**  
**Tuzyak Yaryna Myroslavivna,**  
Candidate of Geological Sciences,  
Head of the Paleontological Museum  
Ivan Franko National University of Lviv  
4, Hrushevskogo Str., Lviv, 79005, Ukraine

*The project was implemented with the support of*



**The Center for Ukrainian and European Scientific Cooperation** is a non-governmental organization, which was established in 2010 with a view to ensuring the development of international science and education in Ukraine by organizing different scientific events for Ukrainian academic community.

**The priority guidelines of the Centre for Ukrainian and European Scientific Cooperation**

**1. International scientific events in the EU**

Assistance to Ukrainian scientists in participating in international scientific events that take place within the territory of the EU countries, in particular, participation in academic conferences and internships, elaboration of collective monographs.

**2. Scientific analytical research**

Implementation of scientific analytical research aimed at studying best practices of higher education establishments, research institutions, and subjects of public administration in the sphere of education and science of the EU countries towards the organization of educational process and scientific activities, as well as the state certification of academic staff.

**3. International institutions study visits**

The organisation of institutional visits for domestic students, postgraduates, young lecturers and scientists to international and European institutes, government authorities of the European Union countries.

**4. International scientific events in Ukraine with the involvement of EU speakers**

The organisation of academic conferences, trainings, workshops, and round tables in picturesque Ukrainian cities for domestic scholars with the involvement of leading scholars, coaches, government leaders of domestic and neighbouring EU countries as main speakers.

**Contacts:**

Head Office of the Center for Ukrainian and European Scientific Cooperation:  
88000, Uzhhorod, 25, Mytraka str.  
+38 (099) 733 42 54  
info@cuesc.org.ua

**[www.cuesc.org.ua](http://www.cuesc.org.ua)**

**THE CURRENT STATE OF FUNDAMENTAL AND APPLIED  
NATURAL SCIENCES RESEARCH**

**Scientific monograph**

Izdevniecība “Baltija Publishing”  
Valdeķu iela 62 – 156, Rīga, LV-1058  
E-mail: office@baltijapublishing.lv

---

Iespiests tipogrāfijā SIA “Izdevniecība “Baltija Publishing”  
Parakstīts iespiešanai: 2022. gada 30. marts  
Tirāža 150 eks.