

ISSN 2077-3366

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION  
RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL STATE EDUCATIONAL INSTITUTION OF HIGHER EDUCATION  
«DONETSK STATE UNIVERSITY»

# **ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И ОХРАНЫ ПРИРОДЫ ТЕХНОГЕННОГО РЕГИОНА**

Научно-практический журнал

**№ 1**

*Основан в 1999 г.*

# **PROBLEMS OF ECOLOGY AND NATURE PROTECTION OF TECHNOGENIC REGION**

Scientific and practical journal

**№ 1**

*Founded in 1999*

**2024**

## Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2024. № 1

В журнале «Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона» публикуются статьи преподавателей, научных сотрудников и аспирантов вузов и научно-исследовательских организаций, которые охватывают широкий круг вопросов экологической, а также флористической, фаунистической, биофизической и физиологической направленности, которые касаются проблем экологии и охраны природы.

Предназначен для специалистов в области экологии, ботаники, зоологии, физиологии растений, человека и животных, биофизики, охраны природы, а также для преподавателей и студентов биологических, экологических факультетов и кафедр высших учебных заведений.

### Редакционная коллегия

|                                                                            |                                                                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Беспалова С. В.</b> , проф., д-р физ.-мат. наук<br>(главный редактор)   | ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»                                                              |
| <b>Горецкий О. С.</b> , проф., д-р биол. наук<br>(зам. главного редактора) | ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»                                                              |
| <b>Акатов В. В.</b> , проф., д-р биол. наук                                | ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет»                                            |
| <b>Алемасова А. С.</b> , проф., д-р хим. наук                              | ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»                                                              |
| <b>Вардун Т. В.</b> , доц., д-р пед. наук                                  | Южный федеральный университет, Ботанический сад ЮФУ, Академия биологии и биотехнологии им. Д. И. Ивановского |
| <b>Глухов А. З.</b> , проф., д-р биол. наук                                | ФГБНУ «Донецкий ботанический сад»                                                                            |
| <b>Горбов С. Н.</b> , доц., д-р биол. наук                                 | Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии им. Д. И. Ивановского                       |
| <b>Демченко С. И.</b> , доц., канд. биол. наук                             | ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»                                                              |
| <b>Денисова Т. В.</b> , доц., д-р биол. наук                               | Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии им. Д. И. Ивановского                       |
| <b>Казеев К. Ш.</b> , проф., д-р геогр. наук                               | Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии им. Д. И. Ивановского                       |
| <b>Калаев В. Н.</b> , проф., д-р биол. наук                                | ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»                                                           |
| <b>Клименко О. Е.</b> , с.н.с., д-р биол. наук                             | ФГБУН «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН»        |
| <b>Колесников С. И.</b> , проф., д-р с.-х. наук                            | Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии им. Д. И. Ивановского                       |
| <b>Остапко В. М.</b> , проф., д-р биол. наук                               | ФГБНУ «Донецкий ботанический сад»                                                                            |
| <b>Прокопенко Е. В.</b> , доц., канд. биол. наук                           | ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»                                                              |
| <b>Сафонов А. И.</b> , доц., канд. биол. наук                              | ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»                                                              |
| <b>Сергеев М. Е.</b> , канд. биол. наук                                    | ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии<br>ДВО РАН                                                 |
| <b>Соболев В. И.</b> , проф., д-р биол. наук                               | Гуманитарно-педагогическая академия<br>ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет<br>им. В. И. Вернадского»  |
| <b>Труш В. В.</b> , доц., д-р биол. наук                                   | ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»                                                              |
| <b>Штирц А. Д.</b> , доц., канд. биол. наук<br>(отв. секретарь)            | ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»                                                              |

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (Перечень ВАК РФ с 9.04.2024 г.) по следующим научным специальностям:

**1.5.9. Ботаника (биологические науки); 1.5.15. Экология (биологические науки).**

Журнал включен в базу РИНЦ (лицензионный договор № 378-06/2016 от 24.06.2016 г.).

Свидетельство о регистрации СМИ, выданное Министерством информации ДНР:  
Серия ААА № 000073 от 21.11.2016 г.

Адрес редакции: Россия, 283050, ДНР, г. Донецк, ул. Щорса, 46, к. 310  
Донецкий государственный университет, биологический факультет  
Тел.: +7 (856) 302-09-95; +7 (949) 419-59-19  
Сайт журнала: <http://donnu.ru/ecolog>

e-mail: [eco-1999@mail.ru](mailto:eco-1999@mail.ru)

Печатается по решению Ученого совета ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»  
протокол № 9 от 28.06.2024 г.

© ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», 2024

## Problems of ecology and nature protection of technogenic region. 2024. № 1

Papers of academic staff, scientific employees and post-graduate students of high schools and research organizations cover a wide range of questions of ecological, floristic, faunistic, biophysical and physiological orientation and touches problems of ecology and nature protection.

It is intended for ecologists, botanists, zoologists, plants physiologists, man and animals physiologists, biophysics, experts in nature protection and for teachers and students of biological and ecological faculties of higher educational institutions.

### Editorial Board

|                                          |                                                 |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| <b>Bespalova S. V.</b> (Editor-in-Chief) | Donetsk State University                        |
| <b>Goretsky O. S.</b> (Associate Editor) | Donetsk State University                        |
| <b>Akatov V. V.</b>                      | Maikop State Technological University           |
| <b>Alemasova A. S.</b>                   | Donetsk State University                        |
| <b>Varduni T. V.</b>                     | Academy of Biology and Biotechnology            |
| <b>Glukhov A. Z.</b>                     | Botanical Garden of Southern Federal University |
| <b>Gorbov S. N.</b>                      | Donetsk Botanical Garden                        |
| <b>Demchenko S. I.</b>                   | Academy of Biology and Biotechnology            |
| <b>Denisova T. V.</b>                    | Southern Federal University                     |
| <b>Kazeev K. Sh.</b>                     | Donetsk State University                        |
| <b>Kalaev V. N.</b>                      | Academy of Biology and Biotechnology            |
| <b>Klimenko O. E.</b>                    | Southern Federal University                     |
| <b>Kolesnikov S. I.</b>                  | Academy of Biology and Biotechnology            |
| <b>Ostapko V. M.</b>                     | Southern Federal University                     |
| <b>Prokopenko E. V.</b>                  | Donetsk Botanical Garden                        |
| <b>Safonov A. I.</b>                     | Donetsk State University                        |
| <b>Sergeev M. E.</b>                     | Donetsk State University                        |
| <b>Sobolev V. I.</b>                     | Federal Scientific Center of the East Asia      |
| <b>Trush V. V.</b>                       | Terrestrial Biodiversity                        |
| <b>Shtirts A. D.</b> (Managing editor)   | Humanities and Education Science Academy        |
|                                          | Crimean Federal University                      |
|                                          | Donetsk State University                        |
|                                          | Donetsk State University                        |

Journal is included in the database of Russian scientific citation index (license agreement № 378-06/2016 dated 24.06.2016).

The journal is included in the List of peer-reviewed scientific publications in which the main scientific results of dissertations for the scientific degree of Candidate of Sciences, for the scientific degree of Doctor of Sciences should be published (List of the Higher Attestation Commission of the Russian Federation from April 9, 2024) in the following scientific specialties: 1.5.9. Botany (biological sciences); 1.5.15. Ecology (biological sciences).

Certificate of registration of the media, issued by the Ministry of Information DPR: Series AAA № 000073 of 21.11.2016.

**Address of editorial board:** Faculty of Biology, Donetsk State University,  
Schorsa str., 46/310, Donetsk, DPR, 283050, Russia.  
Tel.: +7 (856) 302-09-95; +7 (949) 419-59-19  
Web-site of journal: <http://donnu.ru/ecolog> e-mail: [eco-1999@mail.ru](mailto:eco-1999@mail.ru)

*Printed by decision of Donetsk State University Scientific Council  
proc № 9 dated 28.06.2024*

© Donetsk State University, 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                             |   |
|-----------------------------------------------------------------------------|---|
| 100 лет со Дня рождения выдающегося биолога Зинаиды Васильевны Усовой ..... | 6 |
|-----------------------------------------------------------------------------|---|

### ФЛОРА, ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА

|                                                                                                                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Гермонова Е. А., Сафонов А. И.</i> Детализация результатов фитомониторинга полевостресса в Донбассе с использованием ГИС-технологий .....                                                                                   | 8  |
| <i>Неспирный В. Н., Сафонов А. И.</i> Алгоритм восстановления пропущенных данных в выборке фитоиндикационного мониторинга с использованием метода главных компонент .....                                                      | 15 |
| <i>Сафонов А. И., Мирненко Э. И., Мирненко Н. С., Калинина А. В., Калинина Ю. С., Палагута А. П.</i> Экспозиционный материал кафедры ботаники и экологии ДонГУ для представления ДНР на форуме ВДНХ «Россия» в 2024 году ..... | 27 |

### ФАУНА, ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ЖИВОТНОГО МИРА

|                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Амолин А. В.</i> К изучению стаций гнездования некоторых видов пчел (Hymenoptera: Apoidea: Apiformes) на территории Донбасса ..... | 39 |
| <i>Прокопенко Е. В.</i> Сенокосцы (Opiliones) Центрального Донбасса .....                                                             | 45 |

### ФИЗИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ, МИКОЛОГИЯ

|                                                                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Березовский А. С., Сыщиков Д. В.</i> Распределение активности уреазы по профилю почв сельскохозяйственных угодий Шахтерского района ДНР ..... | 55 |
| <i>Чемерис О. В.</i> Биосинтез целлюлаз грибом <i>Irpex lacteus</i> (Fr.) Fr. при культивировании на растительных отходах .....                  | 61 |

## C O N T E N T S

|                                                                                       |   |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---|
| 100 years since the birth of the outstanding biologist Zinaida Vasilievna Usova ..... | 6 |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---|

### FLORA, ECOLOGY AND PROTECTION OF THE PLANT KINGDOM

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Germonova E. A., Safonov A. I.</b> Detailing the results of phytomonitoring of polemostress in Donbass using GIS technologies .....                                                                                                                                                                                 | 8  |
| <b>Nespirnyi V. N., Safonov A. I.</b> An algorithm for recovering missing data in a sample of phytoindication monitoring using the principal component analysis .....                                                                                                                                                  | 15 |
| <b>Safonov A. I., Mirnenko E. I., Mirnenko N. S., Kalinina A. V., Kalinina Yu. S., Palaguta A. P.</b> Exhibition material from the Department of Botany and Ecology of Donetsk State University for the presentation of the DPR at the Exhibition of Achievements of the National Economy forum «Russia» in 2024 ..... | 27 |

### FAUNA, ECOLOGY AND PROTECTION OF THE ANIMAL KINGDOM

|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Amolin A. V.</b> To the study of nesting stations of some bees species on the territory of Donbass ..... | 39 |
| <b>Prokopenko E. V.</b> Harvestmen (Opiliones) of the Central Donbas .....                                  | 45 |

### PHYSIOLOGY AND ECOLOGY OF THE PLANT, MYCOLOGY

|                                                                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Berezovskiy A. S., Syshchykov D. V.</b> Spreading of urease activity along the soil profile of agricultural lands in the Shakhtersky district of the DPR ..... | 55 |
| <b>Chemeris O. V.</b> Biosynthesis of cellulases by the fungus <i>Irpex lacteus</i> (Fr.) Fr. during cultivation on plant waste .....                             | 61 |

## 100 лет со Дня рождения выдающегося биолога Зинаиды Васильевны Усовой



**Зинаида Васильевна Усова (09.08.1924 – 04.10.2013)**

В 2024 году исполняется 100 лет со дня рождения Усовой Зинаиды Васильевны – доктора биологических наук, профессора кафедры зоологии, Заслуженного профессора Донецкого государственного университета, выдающегося ученого в области медицинской и ветеринарной энтомологии.

Зинаида Васильевна Усова (в девичестве Гришина) родилась 9 августа 1924 г. в деревне Сидозеро Подпорожского района Ленинградской области. В 1930 г. её семья переехала в Карелию. Отец работал в службе движения на железной дороге (ранее Кировская, ныне Мурманская), мать – домохозяйка. Зинаида Усова закончила 8 классов в средней школе г. Петрозаводска. В 1945 году Зинаида Васильевна поступила в Карело-финский государственный университет на биологический факультет, который закончила с отличием в 1950 году. В этом же году она начала обучение в аспирантуре Карельского филиала АН СССР (г. Петрозаводск) и в 1954 г. защитила кандидатскую диссертацию. Работала младшим научным сотрудником Карельского филиала АН СССР с 1953 г. по 1959 г.

С 1959 г. судьба и трудовая деятельность З. В. Усовой связана с Донецком. Вначале Зинаида Васильевна работала ассистентом, а затем доцентом кафедры биологии Донецкого медицинского института им. М. Горького (1959–1965 гг.). В 1965 году она защитила докторскую диссертацию в Зоологическом институте им. И. И. Шмальгаузена (г. Киев).

С 1965 г. творческая деятельность З. В. Усовой связана с Донецким государственным университетом. Зинаида Васильевна была первым деканом биологического факультета (1965–1972 гг.) и 17 лет заведовала кафедрой зоологии (1965–1982 гг.).

Зинаида Васильевна Усова – профессор кафедры, руководитель госбюджетных тем (1982–2008 гг.), основатель научной школы по изучению кровососущих насекомых и клещей. Под ее руководством защищено 23 кандидатские диссертации.

З. В. Усовой были организованы экспедиции на Черное, Белое, Баренцево и Японское моря, Дальний Восток, в Бурятию для сбора фаунистического материала для учебного процесса и научных исследований.

Зинаида Васильевна является автором более 250 научных и учебно-методических работ, среди которых восемь монографий. Одна из монографий «Мошки Карелии и Мурманской области» переведена на английский язык. В соавторстве с учеными Норвегии и Финляндии профессор подготовила монографию по мошкам Фенноскандии.

Зинаида Васильевна активно участвовала в работе Международных конгрессов, съездов, конференций, семинаров. З. В. Усова как ведущий специалист по изучению кровососущих мошек была приглашена Зоологическим институтом РАН (г. Санкт-Петербург) для составления справочной коллекции по мошкам СНГ.

З. В. Усова внесла огромный вклад в создание материально-технической базы и становление биологического факультета и кафедры зоологии Донецкого государственного университета. По ее инициативе был построен по индивидуальному проекту учебный корпус биологического факультета.

Благодаря организаторским способностям З. В. Усовой на биологическом факультете и кафедре зоологии сформировался высококвалифицированный профессорско-преподавательский коллектив.

За многолетнюю плодотворную работу Зинаида Васильевна Усова награждена орденом «Знак почета» (1967 г.), медалями «За доблестный труд» (1970, 1980). Ее имя внесено в Книгу «Трудовая слава Донбасса» (1973 г.) и справочник «Женщины Украины» (2001 г.).

В 2001 г. З. В. Усовой присвоено звание заслуженного профессора Донецкого национального университета.

Зинаида Васильевна – ветеран Великой Отечественной войны.

**ФЛОРА, ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА**  
**FLORA, ECOLOGY AND PROTECTION OF THE PLANT KINGDOM**

---

УДК 581.15 : 574 : 58.632 : 581.4 : 502 (477.60)

© Е. А. Гермонова<sup>1</sup>, А. И. Сафонов<sup>2</sup>

**ДЕТАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ФИТОМОНИТОРИНГА ПОЛЕМОСТРЕССА  
В ДОНБАССЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ**

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет»

Россия, 283000, ДНР, г. Донецк, ул. Артема, 58

germonova@mail.ru

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»

Россия, 283050, ДНР, г. Донецк, ул. Щорса, 46

andrey\_safonov@mail.ru

*Гермонова Е. А., Сафонов А. И. Детализация результатов фитомониторинга полемостресса в Донбассе с использованием ГИС-технологий.* – Проведен анализ данных о состоянии растений-индикаторов, функционально связанных с показателем трансформации ландшафтов вследствие интенсификации антропогенного фактора за период военных действий в Донбассе. По показателю фактора полемостресса, вычисленного на основании критериев проявления индикаторных свойств растений, получена общая характеристика негативных тенденций в прифронтовых районах Донбасса и проведена детализация нижних и верхних пороговых значений всего диапазона варьирования ключевого признака. Подтвержден факт проявления специфических диагностических признаков в строении растений, территориально детерминированных близостью к северо-западным и западным границам современной территории Донецкой Народной Республики.

*Ключевые слова:* фитоиндикация, Донбасс, экологический мониторинг, тератогенез растений, ГИС, экологическое картографирование, диагностика ландшафтов, война в Донбассе.

### **Введение**

Технологии получения картографического результата в экологических исследованиях являются широко востребованными способами реализации научного гео-эксперимента [3, 9, 12, 20]. Для территории Центрального Донбасса ГИС-технологии внедрены на сегодняшний день фрагментарно, что касается в основном локальных экосистем [1, 5, 10]. Однако критически сложная экологическая ситуация в регионе [8, 11, 16] является стимулом для проведения диагностических работ [2, 7, 5, 15, 23], в том числе и для антропогенно трансформированных ландшафтов [4, 6, 17, 22, 24]. В такой ситуации возникает необходимость не только использования методов картографической визуализации, но и совершенствования техники детального выполнения отдельно каждого метода в зависимости от целевой программы по запросу его конечной продукции.

Цель работы – установить характер распределения индекса полемостресса на территории Центрального Донбасса путем детализации шкалы для картографической визуализации данных.

Выполнение поставленной цели позволит зонировать территорию и ранжировать отдельные участки в соответствии с показателями структурно-функциональной трансформации индикаторных видов растений для всей мониторинговой сети.

### **Материал и методы исследования**

Объектом исследования является вся доступная для ботанико-экологического мониторинга территория Центрального Донбасса в границах используемой 113-компонентной наблюдательной сети [10] стационаров (учетных площадок) с расположенными на них видами растений, имеющих фитоиндикационное значение по структурной разнокачественности отдельных частей растительного организма (аутофитоиндикационный уровень). Для совершенствования собственных способов

визуализации данных [1, 5, 10, 11] был использован ряд рекомендаций ученых, занимающихся эколого-токсикологическим мониторингом в своих регионах [4, 6, 13, 14, 24].

В большинстве случаев практические способы визуализации данных представляют собой элемент математического моделирования и статистической обработки данных с целью получения доступного для визуального восприятия картографического продукта [2, 9, 12, 13, 18, 19, 21, 23]. В качестве более подробного рассмотрения данных на карте по признаку полевостресса предложен способ разделения всего диапазона значения индекса на минимальные и максимальные интервальные характеристики, что позволяет подтвердить или опровергнуть существующий вывод [1, 10] о наличии территориально детерминированного фактора антропогенных трансформаций, связанных с интенсификацией военных действий в Донбассе. Для расчета индекса полевостресса (FWiD) использованы виды растений сорно-рудеральной фракции флоры, имеющие проявления в морфологической атипичности, диагностируемой в полевых условиях по тератогенному типу для вегетативных и генеративных органов надземной части растений.

### Результаты и обсуждение

В детальном приближении (в дифференциации до 0,5–1,5 км) созданная 113-компонентная мониторинговая сеть не является достаточной, чтобы, например, выявить локальный геохимический контраст, вызванный точечным характером антропогенного фактора (единичным выбросом токсичных элементов). Однако, вычленение негативных тенденций общетерриториального информационного поля используемого количества стационаров является достаточным, что можно оценить по результатам получаемых продуктов визуализации (рис. 1).

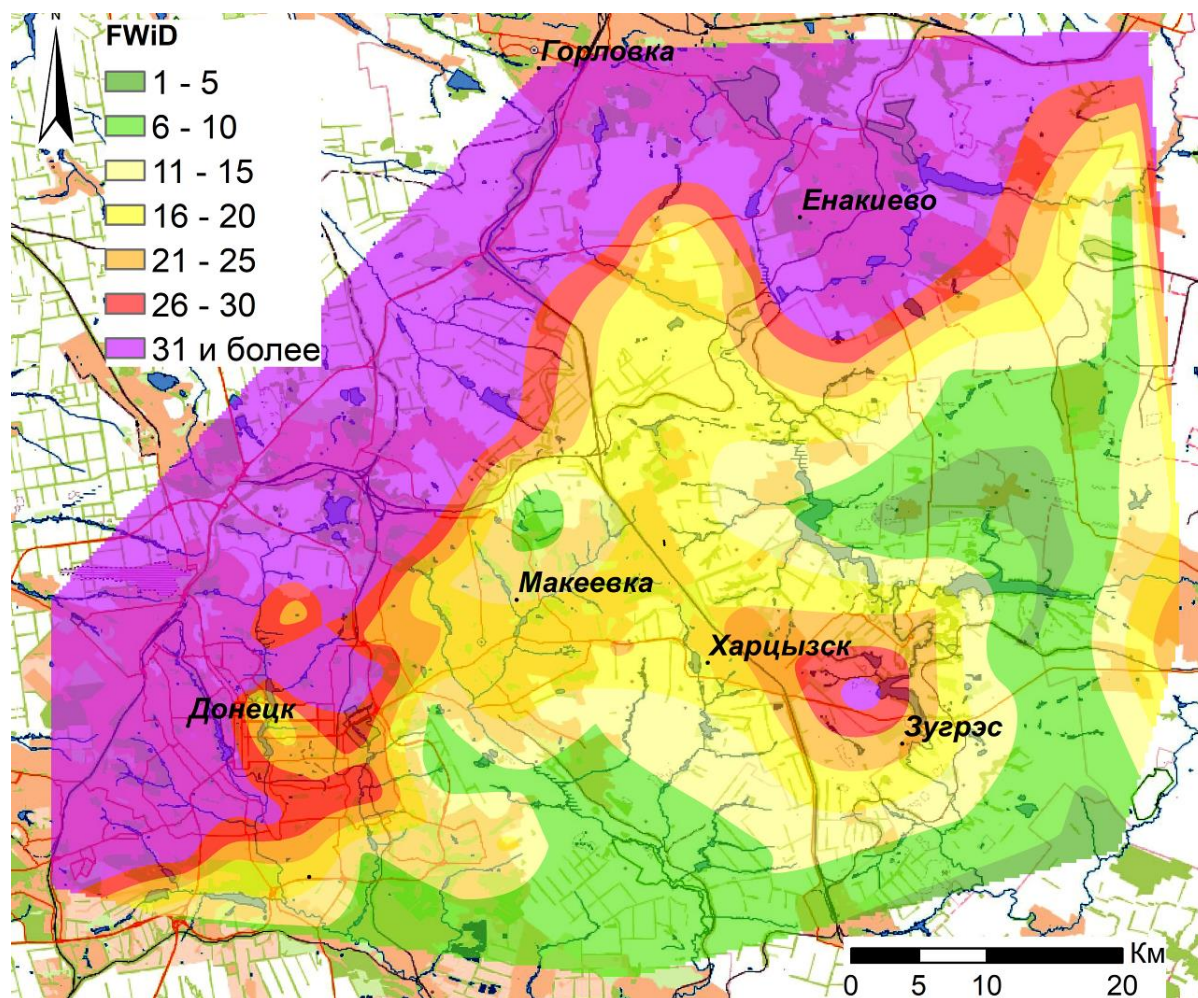


Рис. 1. Интервальное распределение показателя полевостресса (FWiD) на территории Донбасса (2023 г.)

Опытным путем установлено, что для контрастного цветового обозначения при анализе индекса полемостресса на территории Центрального Донбасса достаточно использовать семь интервальных значений (см. рис. 1) с выделением негативных (увеличивающихся по отношению к максимальному уровню пластичности) и позитивных (по стабильному состоянию приближенных к норме) тенденций в строении растений-индикаторов. Если внедрить в практику пошагово большее количество интервалов (8 и более) – это не позволит иметь дробность в детализации критически важных параметров, а если интервалов сделать меньше, как это было в предыдущих публикациях [1, 10], то будут утрачены принципиально важные переходы в контрастных территориальных значениях, что не является желательным в анализе динамики и стабильности показателей.

Благодаря 7-ступенчатой системе интервальных значений дифференциально важно выделены зоны высокого полемостресса в контрастных переходах на примере населенных пунктов Веселое, Пески, микрорайон Спартак, населенные пункты Донецко-Марьинского направления, трансекта соединения Горловской и Енакиевской агломераций. Очаги высокого полиморфизма растений на территории Харьзыско-Зугрэсской агломерации, в том числе для населенных пунктов Зуевский тупик и Золотаревка, можно объяснить по результатам сборов образцов в 2023 г. исключительно воздействием промышленных объектов на экосистемы, возможно, интенсификацией работы топливно-энергетического комплекса (ТЭС и др. предприятий).

Отдельно рассмотрены характеристики распределения на карте минимальных значений в дробном эквиваленте шести интервалов без обозначений цветом на карте более высоких показателей. Площадь, занимаемая на карте этими параметрами, не превышает 20 % от всей территории наблюдений. Благодаря детализации в этой (с минимальными данными) серии экспериментов (рис. 2) были дифференцированы области оптимальных значений критерия благополучия. Например, в восточной части Донецка, северо-восточной части Макеевки, что, безусловно, является важным результатом в интерпретации фактов самовосстанавливающихся процессов на местах с уменьшающимся воздействием загрязняющего антропогенного фактора во временном интервале с 2014 по 2023 годы. Самые благоприятные с точки зрения сохранения природных характеристик участки мониторинговой сети по данным фитоиндикационного тератогенеза установлены между населенными пунктами Зуевка и Шахтерск, в том числе Сердитое, Зачатовка, Садовое, а также к югу от этой территории: между населенными пунктами Руско-Орловка и Степано-Крынка. На основании этих результатов сделан вывод о сохранении буферной способности природных растительных систем к самовосстановлению при уменьшении фактора стресса, сформированной высоким уровнем антропогенного воздействия в регионе.

Принципиально значимым является и проведение картографических работ в отношении дробной дифференциации интервалов высоких показателей индекса полемостресса в Центральном Донбассе. С помощью 5-ступенчатой системы значений была воспроизведена похожая ситуация с общей тенденцией напряжения в прифронтовых территориях (рис. 3 в сравнении с рис. 1). Однако детализация переходов существенным образом повысилась, на 12 % была сужена ширина коридоров пограничных территорий, а также уточнен характер контрастных переходов между средними и максимально высокими значениями. Такая закономерность характерна преимущественно для всех территорий урбанизированных экотопов (в городах Донецк, Макеевка, южные границы Енакиево). Городские агломерации Ясиноватой, Пантелеймоновки и Горловки полностью покрыты ареолом с характеристиками максимально высоких показателей стресса, определенного как по генеративным, так и вегетативным признакам в строении растений-индикаторов. Аргументом в поддержку метода сбора информации фитоиндикационного назначения свидетельствуют данные, что все виды сорно-рудеральной фракции флоры региона были представлены в достоверном объеме численности – по представительности особей каждого вида для сбора репрезентативной выборки полиморфизма.

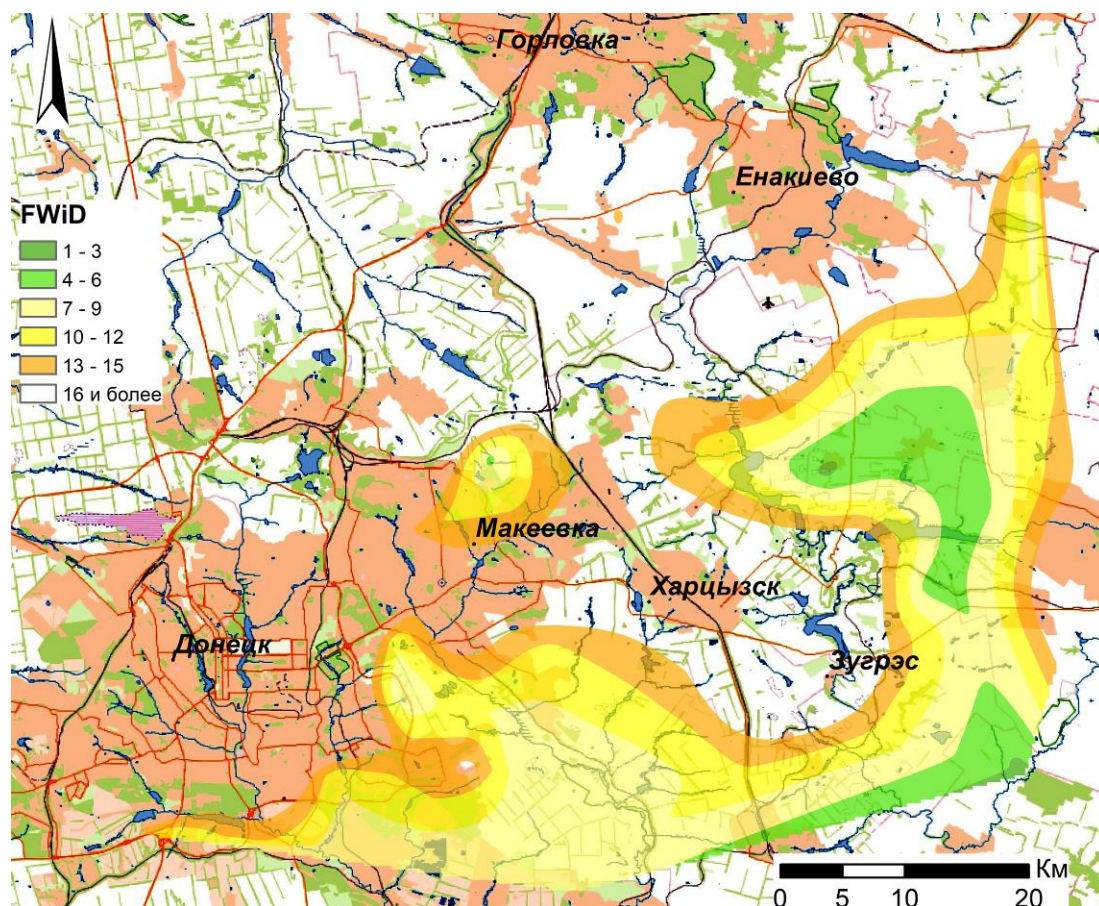


Рис. 2. Детализация минимальных значений индекса полемостресса в Донбассе

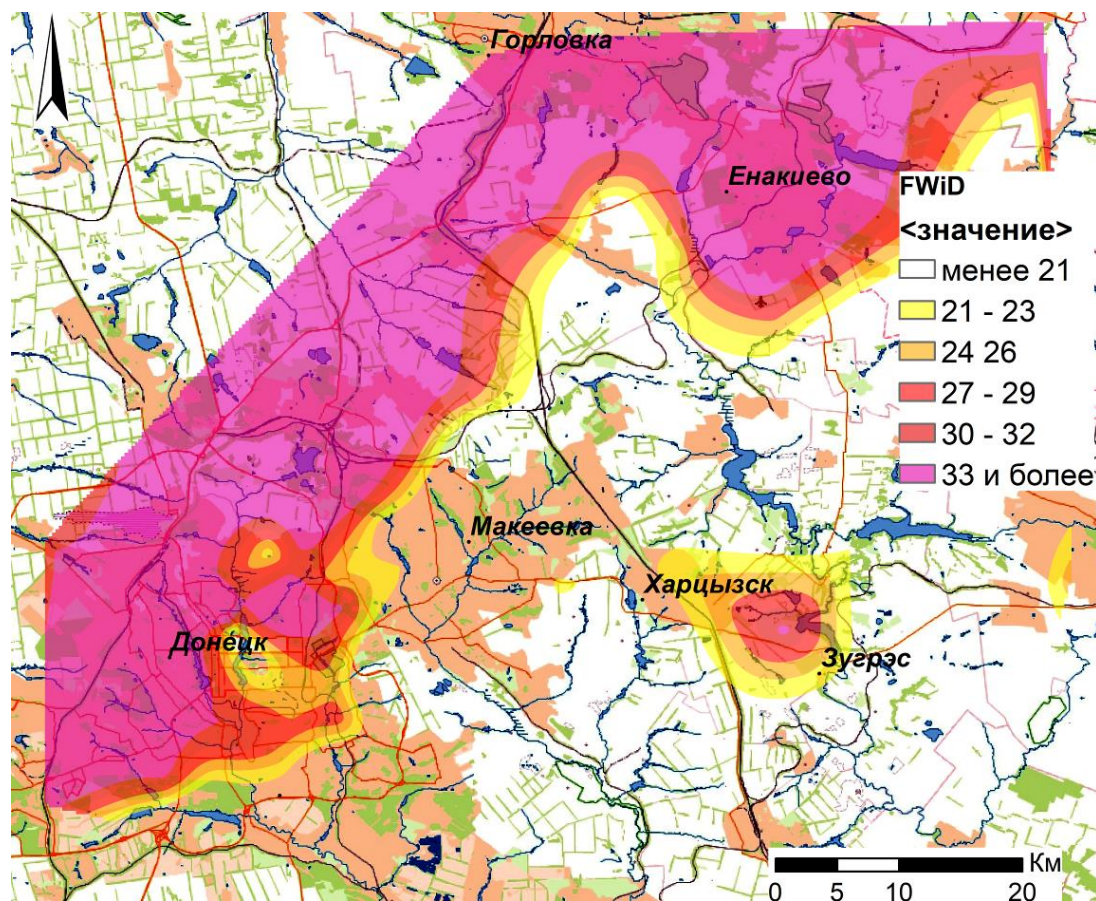


Рис. 3. Детализация максимальных значений индекса полемостресса в Донбассе

В анализе картографического материала на практике поиска геохимических аномалий, например, в [15, 18], диагностическим критерием отличия природных от антропогенно трансформированных экотопов является ширина переходных значений в средних между большими и малыми интервалами: чем контрастнее переход между значениями, тем величина нарушающего равновесие фактора выше. В собственных исследованиях критерием антропополютерантности системы считали уровень морфологических аномалий по принципу соотношения к тератогенным проявлениям, при этом оперировали значениями геохимических показателей, например, для технофильных элементов [6, 10, 11, 16, 17]. Поэтому искомый в картографической визуализации фактор полевостресса по характеристике перехода в межинтервальных величинах также доказательно визуализируется на примере линий, сопутствующих высоким уровням показателя стресса для индикационных видов растений. По состоянию на конец вегетационного сезона 2023 г. и начало 2024 г. более 35 % всей территории мониторинговых исследований характеризуются высоким и чрезмерно высоким уровнем полевостресса.

### Выводы

Картографический метод является не только конечным продуктом эколого-ботанических исследований в регионах с высоким уровнем антропопрессии, но и способом вторичного анализа полученных данных для более детального рассмотрения отдельных участков зоны наблюдения и обнаружения дополнительной информации о состоянии экосистем.

Информация по картографическим данным в более подробной интервальной дифференциации значений позволяет получать доказательные сведения о наличии фактора полевостресса на приграничных к линии соприкосновения территориях в границах мониторинговой сети в Центральном Донбассе.

В системе наблюдений за растениями-индикаторами было установлено, что не менее 15 % всей площади анализируемой территориальной системы находится в стадии самовосстановления, более 25 % всей территории характеризуется угнетением на уровне индикаторных признаков по атипичному структурному полиморфизму информативных в экологическом мониторинге видов растений.

Работа выполнена в рамках инициативной научной темы кафедры ботаники и экологии Донецкого государственного университета «Ботаника антропогенеза: индикация и оптимизация», № 0122D000085 без финансирования сторонними организациями, а также в рамках молодежной лаборатории «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно-трансформированных экосистем Донбасса» (№ госрегистрации НИОКТР 1023110700153-4-1.6.19;1.6.11;1.6.12).

### Список литературы

1. Гермонова Е. А., Сафонов А. И. ГИС-фитоиндикация при анализе факторов войны: полевостресс в Донбассе // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем. Киров : Вятский государственный университет, 2023. С. 36–41. EDN : FWJYJH.
2. Епринцев С. А., Клепиков О. В., Шекоян С. В. Дистанционное зондирование Земли как способ оценки качества окружающей среды урбанизированных территорий // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. 2020. № 4 (325). С. 5–12. DOI : 10.35627/2219-5238/2020-325-4-5-12. EDN : EПXWM.
3. Епринцев С. А., Клепиков О. В., Шекоян С. В., Жигулина Е. В. Исследование социально-экологических условий, определяющих устойчивое развитие регионов России // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. 2019. Т. 1, № 4. С. 212–216. DOI : 10.23885/2500-395X-2019-1-4-212-216. EDN : OIRUTJ.
4. Епринцев С. А., Шекоян С. В. Геоинформационное картографирование урбанизированных территорий как механизм социально-экологического мониторинга //

Экология. Экономика. Информатика. Серия: Геоинформационные технологии и космический мониторинг. 2019. № 4. С. 25–28. DOI : 10.23885/2500-123X-2019-2-4-25-28. EDN : SSYGGR.

5. Калинина А. В., Гермонова Е. А. Геостратегическая визуализация фитоценозов породных отвалов угольных шахт г. Макеевки в условиях самозарастания и рекультивации // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2018. № 3–4. С. 28–34. EDN : KDDDDQU.

6. Колесников С. И. Сравнительная оценка экотоксичности химических элементов // Почвы и окружающая среда. Новосибирск : Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения РАН, 2023. С. 635–637. EDN : HBTZNV.

7. Мирненко Н. С. Качество пыльцы *Diplotaxis muralis* (L.) DC. в условиях пгт. Новый свет Старобешевского района // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. 2018. № 3–4. С. 157–161. EDN : YVEOSL.

8. Мирненко Э. И., Макуха А. О. Фитопланктон как показатель экологического состояния прудов г. Донецка // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2018. № 3–4. С. 44–49. EDN : YSXHRB.

9. Николаева О. Н., Евграфов А. В., Евграфова И. М. Картографическое моделирование техногенного загрязнения Геленджикской бухты // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). 2021. Т. 26, № 6. С. 86–95. DOI : 10.33764/2411-1759-2021-26-6-86-95. EDN : JWEATT.

10. Сафонов А. И., Гермонова Е. А. Оценка геосистем Донбасса: фитоиндикация тератогенности и картографический анализ // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. 2023 а. № 1. С. 98–104. EDN : PHAMBH.

11. Сафонов А. И., Гермонова Е. А. Динамика фитоиндикационных показателей по картографическим данным в Донбассе (2013–2023 гг.) // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2023 б. № 4. С. 6–17. EDN : PIVHWY.

12. Семенищенков Ю. А. Некоторые итоги сравнительного анализа двух подходов к крупномасштабному картографированию лесной растительности в Южном Нечерноземье России // Современные проблемы экспериментальной ботаники. Минск: Колорград, 2017. С. 19–23. EDN : HFOAAM.

13. Янников И. М., Телегина М. В., Кузнецов Н. П. Методика оценки экологической ситуации загрязненных территорий // Экология промышленного производства. 2020. № 1 (109). С. 28–32. EDN : NZQQVI.

14. Belogurov V. Generalized assessment of region environmental state based on mathematico-cartographic modeling with GIS // X International Annual Conference «Industrial Technologies and Engineering» (ICITE 2023), Shymkent, Kazakhstan. Vol. 474. Les Ulis, 2024. P. 02001. DOI : 10.1051/e3sconf/202447402001. EDN : CPOQAF.

15. Ermakov V. V., Tyutikov S. F., Degtyaryov A. P., Gulyaeva U. A., Danilova V. N. Characteristics of the accumulation of metals by plants and the activity of soil enzymes in metallogenic territories of the Northern Caucasus // Geochemistry International. 2022. Vol. 60, N 8. P. 772–778. DOI : 10.1134/s0016702922070023. EDN : HCOKUZ.

16. Frunze O. Sorption capacity of ornamental herbaceous plants under conditions of soil contamination with lead // E3S Web of Conf. 2023. Vol. 462. P. 02004. DOI : 10.1051/e3sconf/202346202004.

17. Kolesnikov S. I., Zubkov D. A., Zharkova M. G., Kazeev K. Sh., Akimenko Yu. V. Influence of oil and lead contamination of ordinary chernozem on growth and development of spring barley // Russian Agricultural Sciences. 2019. Vol. 45, N 1. P. 57–60. DOI : 10.3103/S1068367419010075. EDN : USDWAE.

18. Korobova E. M., Baranchukov V. S., Kolmykova L. I. Theoretical and methodological approaches to the analysis of the spatial distribution of endemic diseases of geochemical nature // Geochemistry International. 2023. Vol. 61, No 10. P. 1074–1086. DOI : 10.1134/s0016702923100063. EDN: GCRICW.

19. Kuznetsova V., Kuznetsova E., Kushanova A. Geographic information mapping of flood zones for sustainable development and urban landscape planning // 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018. Albena, Bulgaria. 2018. P. 393–400. DOI : 10.5593/sgem2018/2.3/S11.050. EDN : VNAQXA.

20. Ma D., Li Yu., Huang Q., Liu B. Analysis of spatio-temporal evolution of regional settlements under the background of rapid urbanization: a case study in Sishui County, China // Sustainability. 2023. Vol. 15, No. 9. P. 7368. DOI : 10.3390/su15097368. EDN : VMXXPT.

21. Santos Ch. N., Santos A. A. R., Abreu M. C., Martins F. B., Lyra G. B., de Souza J. L., Lyra G. B. Monthly potential evapotranspiration estimated using the Thornthwaite method with gridded climate datasets in Southeastern Brazil // Theoretical and Applied Climatology. 2024. Vol. 155, No. 5. P. 3739–3756. DOI : 10.1007/s00704-024-04847-4. EDN : ZPCJIX.

22. Strizhenok A. V., Ivanov A. V. Monitoring of air pollution in the area affected by the storage of primary oil refining waste // Journal of Ecological Engineering. 2021. Vol. 22, N 1. P. 60–67. DOI : 10.12911/22998993/128873. EDN : MXYIYW.

23. Tabunshchik V. A., Kluchkina A. A., Petlukova E. A., Kalinchyk I. V., Galkina M. V., Penno M. V., Nikiforova A. A. Assessment of the geomorphological basis of landscapes of the Crimean Peninsula using geoinformation technologies // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. 2020. P. 012066. DOI : 10.1088/1757-899X/905/1/012066. EDN : WJKLFB.

24. Yeprintsev S. A., Kurolap S. A., Komov I. V., Minnikov I. V. Y. Monitoring of factors of ecological safety of urbanized territories' population (by example of settlements of Voronezh region) // Life Science Journal. 2013. Vol. 10, No 12s. P. 846–848. EDN : UZUSAB.

**Germonova E. A., Safonov A. I. Detailing the results of phytomonitoring of polemostress in Donbass using GIS technologies.** – An analysis of data on the state of indicator plants, functionally related to the indicator of landscape transformation due to the intensification of the anthropogenic factor during the period of hostilities in the Donbass, was carried out. Based on the indicator of the polemostress factor, calculated on the basis of the criteria for the manifestation of indicator properties of plants, a general description of negative trends in the front-line regions of Donbass was obtained and the lower and upper threshold values of the entire range of variation of the key trait were detailed. The fact of the manifestation of specific diagnostic features in the structure of plants, territorially determined by proximity to the northwestern and western borders of the modern territory of the Donetsk People's Republic, has been confirmed.

**Key words:** phytoindication, Donbass, environmental monitoring, plant teratogenesis, GIS, environmental mapping, landscape diagnostics, war in Donbass.

УДК 581.5 : 550.47 : 543.08 : 519.23 (477)

© В. Н. Неспирный<sup>1, 2</sup>, А. И. Сафонов<sup>1</sup>**АЛГОРИТМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОПУЩЕННЫХ ДАННЫХ  
В ВЫБОРКЕ ФИТОИНДИКАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ**<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»

Россия, 283001, г. Донецк, ул. Университетская, 24

<sup>2</sup>ГБУ «Институт экономических исследований»

Россия, 283048, г. Донецк, ул. Университетская, 77

vetal\_n@mail.ru, andrey\_safonov@mail.ru

**Неспирный В. Н., Сафонов А. И. Алгоритм восстановления пропущенных данных в выборке фитоиндикационного мониторинга с использованием метода главных компонент.** – Предложен подход к построению оценок для пропущенных значений в многомерных выборках. Достаточным условием его применимости является предположение о наличии между координатами наблюдаемой величины связей, которые хорошо аппроксимируются линейными уравнениями. Для выявления таких связей предполагается использование метода главных компонент с предварительной нормализацией. Восстановление пропущенной информации осуществляется путем проектирования неполных данных на подпространство, содержащее нескольких первых главных компонент. Для минимизации погрешности оценки метод главных компонент повторно применяется к части исходной выборки и исключаются неустойчивые компоненты, которые чувствительны к сокращению выборки и, как следствие, подвержены влиянию шума. Для демонстрации полученных результатов разработанный алгоритм был применен к экспериментальным данным фитоиндикационного мониторинга в 24-компонентной наблюдательной сети.

**Ключевые слова:** Донбасс, экологический мониторинг, математическая статистика, импутация, фитоиндикация, метод главных компонент.

**Введение**

В актуальных задачах экологических исследований информация о состоянии окружающей среды должна быть достоверной, упорядоченной и характеризоваться достаточной полнотой для принятия управленческих решений [8, 16, 25]. При организации полевых работ или камеральной обработки первичных сборов могут возникать внештатные или объективно осложненные ситуации, в результате которых часть данных может быть утеряна [4, 20]. При этом возникает обоснованная необходимость восстановления (импутации) утраченной информации [3, 4, 18, 28]. Практика восстановления утраченных или пропущенных данных реализуется на современном этапе в области медицины и здравоохранения при санитарно-гигиеническом мониторинге [1, 8, 17, 32], в горнодобывающей промышленности [3], как элемент математического моделирования [12, 19, 26], в системе экологических экспертиз [13, 18, 23, 33], метеорологических наблюдений [16], анализа баз данных разного целевого использования [20, 27, 28] и пр.

Цель работы – на конкретном примере имеющегося массива данных геохимического статуса экосистем Донбасса предложить метод и апробировать соответствующий ему способ восстановления пропущенных данных в выборке по фитоиндикационному мониторингу, используя метод главных компонент.

**Материал и методы исследования**

В рамках существующей программы работы Азово-Черноморского математического центра в ДонГУ по разделу моделирования в природопользовании [2] с учетом сложной экологической ситуации в промышленно развитом Донбассе [5, 7, 24] и работы лаборатории фитодиагностического направления на кафедре ботаники и экологии [7, 9, 10, 14, 15, 29] был проанализирован массив биогеохимических данных 46 элементов в растениях-индикаторах [29, 35] и обнаружена необходимость восстановления некоторых принципиально важных значений. Частично вопрос был рассмотрен в рамках имеющейся публикации [11], подтверждено важное значение и выделена информативная роль метода главных компонент

как эффективного прогрессивного способа статистической обработки данных, применяемого в фундаментальных и прикладных исследованиях [21, 31, 34], что, безусловно, является востребованной процедурой для проводимых эколого-химических квантификаций во многих географических регионах [6, 22, 25, 30].

Способы привлечения математических методов для интерпретации неблагоприятных трендов и понимания специфики геохимического контраста в Донбассе являются важным элементом реализуемого экологического мониторинга, потребность в котором возрастает также в связи с ведением военных действий и необходимости своевременной оценки состояния экотопов с разработкой предложений по их дальнейшему восстановлению в рамках природно-климатических характеристик местности (для ландшафтных систем) и экономических потребностей в эксплуатации территории (для урбанизированных, промышленных и коммуникационных территориальных комплексов).

Выявленная проблема обобщена, формализована и записана в виде математической задачи, для решения которой был разработан алгоритм, предполагающий использование метода главных компонент.

Решение выявленной проблемы восстановления пропущенных данных организовано в формате математической задачи. Для апробации (демонстрации) работы предложенного алгоритма были использованы ранее опубликованные материалы по ингредиентному составу биоиндикаторов в нестабильных геохимических условиях Центрального Донбасса [29, 35].

### **Постановка задачи**

Пусть нам известна информация о содержании  $N$  химических элементов в образцах, взятых в  $M$  различных географических точках примерно в один и тот же временной период. Эта информация может быть неполной, то есть для нескольких образцов по тем или иным причинам не была определена концентрация одного или более элементов. Задача заключается в том, чтобы как можно точнее оценить пропущенные значения.

### **Формализация задачи**

Пусть полнота имеющейся информации задается матрицей  $E$  размера  $N \times M$  с элементами 0 и 1. Если известна концентрация химического элемента  $i$  в точке наблюдения  $j$ , то соответствующий элемент этой матрицы  $e_{ij}$  равен 1, а сама концентрация определяется величиной  $c_{ij}$ . Если же элемент  $e_{ij}$  равен 0, то информация о концентрации химического элемента  $i$  в точке  $j$  неизвестна. Для всех таких пар  $i$  и  $j$ , для которых  $e_{ij}=0$ , необходимо получить оценки  $\hat{c}_{ij}$  для величины концентрации.

### **Модельные допущения**

Поставленную задачу невозможно решить без предположений о характере распределения возможных значений интересующих нас величин и взаимосвязей между ними. В связи с этим сформулируем некоторые допущения, которые представляются достаточно естественными и при этом не противоречат наблюдаемым результатам проводимых ранее экспериментов.

1. Точки, из которых были взяты образцы, расположены географически далеко друг от друга, и соответственно концентрации химических элементов в одной точке не зависят от концентраций этих элементов в других точках.

2. Будем считать, что между концентрациями различных элементов в каждой точке существует некоторое количество связей, которые в первом приближении достаточно хорошо аппроксимируются линейными уравнениями. Это значит, что для фактических значений концентраций  $c_{ij}$  выполнены соотношения вида

$$a_{k0} + a_{k1}c_{1j} + a_{k2}c_{2j} + \dots + a_{kN}c_{Nj} = \varepsilon_{kj},$$

где  $\varepsilon_{kj}$  — достаточно малые по абсолютной величине значения. При этом количество уравнений и коэффициенты  $a_{ki}$  заранее неизвестны.

Таким образом, множество всех возможных концентраций химических элементов в произвольно взятом образце образует в  $N$ -мерном пространстве концентраций окрестность некоторого линейного многообразия.

**Решение задачи**

Пусть есть  $M_1$  образцов, для которых известны концентрации всех химических элементов, и  $M_2$  образцов с неполной информацией ( $M = M_1 + M_2$ ). Для удобства записи формул будем считать, что образцы с полной информацией имеют номера от 1 до  $M_1$  (если это не так, всегда можно перенумеровать образцы таким образом, чтобы это свойство было выполнено).

На первом этапе проведем нормализацию концентраций всех химических элементов, чтобы уравновесить вклад в отклонения элементов с высокими и низкими концентрациями. Таким образом, для всех известных концентраций мы выполняем преобразование

$$c'_{ij} = \frac{c_{ij} - \bar{c}_i}{\sigma_i},$$

где  $\bar{c}_i$  – средняя концентрация химического элемента  $i$  среди первых  $M_1$  образцов, а  $\sigma_i$  – стандартное отклонение этих концентраций:

$$\bar{c}_i = \frac{1}{M_1} \sum_{j=1}^{M_1} c_{ij}, \quad \sigma_i = \sqrt{\frac{1}{M_1-1} \sum_{j=1}^{M_1} (c_{ij} - \bar{c}_i)^2}.$$

На втором этапе для выборки из первых  $M_1$  образцов выделим в пространстве нормализованных концентраций главные компоненты, то есть получим матрицу ортонормированных базисных векторов  $W$  такую, что для любого образца  $j$  нормализованные концентрации наилучшим образом аппроксимируются линейной комбинацией главных компонент:

$$c'_{ij} = \sum_{k=1}^l w_{ik} \alpha_{kj} + \varepsilon_{ij}(l),$$

где  $\alpha_{kj}$  – проекция вектора нормализованных концентраций образца  $j$  на  $k$ -ую главную компоненту,  $\varepsilon_{ij}(l)$  – погрешность аппроксимации первыми  $l$  компонентами. Метод главных компонент гарантирует, что многообразие, натянутое на первые  $l$  базисных векторов, наилучшим образом в метрике квадратов расстояний приближает исходные данные, то есть среди всех линейных  $l$ -мерных многообразий выбранное многообразие обеспечивает минимальное значение величины  $\sum_{i,j} \varepsilon_{ij}^2(l)$ .

На третьем этапе следует определиться с выбором размерности  $l$  многообразия, которое будет использоваться в качестве приближения множества допустимых концентраций. С одной стороны, размерность  $l$  не должна быть слишком большой, поскольку результаты измерения концентраций, как правило, имеют некоторую погрешность и этот шум оказывает существенное влияние на главные компоненты с высокими номерами. Кроме того, чем больше размерность многообразия, тем меньше связей на отдельные координаты оно определяет, а связи нам необходимы для построения оценок для неизвестных концентраций. С другой стороны, оптимизируемая величина  $\sum_{i,j} \varepsilon_{ij}^2(l)$  убывает при изменении  $l$ , а значит, при малой размерности многообразия хуже приближаются даже точки, соответствующие образцам с полной информацией. Поэтому наша стратегия будет заключаться в том, чтобы выбрать как можно большее количество устойчивых главных компонент. Под устойчивостью компоненты здесь понимается то, что она не меняется или меняется незначительно при добавлении или удалении из набора одного или нескольких образцов.

Зададим некоторый уровень допустимого отклонения  $\beta$ , исключим из матрицы концентраций  $S$  одну из строк с номерами от 1 до  $M_1$ , выбранную случайным образом, и построим для этого модифицированного набора данных матрицу главных компонент  $W'$ . И теперь выберем максимальное значение  $l$ , при котором выполнено неравенство

$$\min(\|w_i - w'_i\|, \|w_i + w'_i\|) \leq \beta$$

для всех  $i$  от 1 до  $l$ . Здесь  $w_i$  и  $w'_i$  –  $i$ -ые главные компоненты исходного и модифицированного набора, а  $\|\cdot\|$  – норма вектора в  $N$ -мерном пространстве нормализованных концентраций. Знак «+» во втором аргументе минимума учитывает то, что два единичных вектора, отличающихся только знаком, определяют одну и ту же в линейном пространстве.

Последний этап связан непосредственно с получением оценок для неизвестных концентраций. Для каждого отдельно взятого образца с неполной информацией (то есть для  $j$  от  $M_1 + 1$  до  $M$ ) требуется решить систему уравнений

$$c'_{ij} = \sum_{k=1}^l w_{ik} \alpha_{kj} \quad (\text{для всех } i, \text{ при которых } e_{ij} = 1)$$

относительно неизвестных координат  $\alpha_{kj}$  вектора концентраций образца  $j$  в пространстве главных компонент. Поскольку число уравнений в системе превышает число переменных, точного решения может не существовать, поэтому решение следует искать в смысле наименьших квадратов:

$$c'_{ij} = \sum_{k=1}^l w_{ik} \alpha_{kj} + \varepsilon_{ij}, \\ \sum \varepsilon_{ij}^2 \rightarrow \min,$$

что является стандартной задачей линейной регрессии без свободных коэффициентов. После нахождения координат  $\alpha_{kj}$  в главных компонентах можно получить оценки для нормализованных концентраций химических элементов  $i$ , для которых  $e_{ij} = 0$ , по формуле

$$\hat{c}'_{ij} = \sum_{k=1}^l w_{ik} \alpha_{kj}.$$

И, наконец, применив обратное по отношению к нормализации преобразование, будем иметь окончательные оценки неизвестных концентраций:

$$\hat{c}_{ij} = \sigma_i \hat{c}'_{ij} + \bar{c}_i.$$

### Пример расчета

Применим предложенный подход к набору данных, опубликованному в работах [29, 35], где представлена информация о содержании 46 химических элементов в образцах из 24 точек наблюдения. Для образцов с номерами 21, 23 и 24 в исходных данных отсутствует информация о концентрации элемента Nd (неодим).

По образцам 1–20, 22 с полной информацией рассчитаем среднюю концентрацию и стандартное отклонение для каждого элемента (табл. 1).

Таблица 1

**Расчетные значения средней концентрации и стандартного отклонения химических элементов в фитоиндикационном эксперименте**

| Элемент | $\bar{c}_i$ | $\sigma_i$ | Элемент | $\bar{c}_i$ | $\sigma_i$ | Элемент | $\bar{c}_i$ | $\sigma_i$ |
|---------|-------------|------------|---------|-------------|------------|---------|-------------|------------|
| Na      | 3686,19     | 1631,19    | Ni      | 40,06       | 14,46      | Ce      | 31,86       | 11,20      |
| Mg      | 10204,76    | 2647,92    | Cu      | 30,62       | 18,56      | Nd      | 16,29       | 5,51       |
| Al      | 25628,57    | 6557,68    | Zn      | 430,05      | 211,64     | Sm      | 2,97        | 0,88       |
| Si      | 123285,70   | 38607,18   | As      | 12,09       | 7,12       | Eu      | 0,56        | 0,17       |
| P       | 238,00      | 155,03     | Se      | 1,32        | 0,97       | Tb      | 0,37        | 0,10       |
| S       | 70,29       | 31,09      | Br      | 8,91        | 2,35       | Dy      | 2,09        | 0,61       |
| Cl      | 326,67      | 189,30     | Rb      | 48,05       | 14,72      | Yb      | 1,24        | 0,31       |
| K       | 11190,48    | 2696,83    | Sr      | 129,90      | 30,18      | Hf      | 2,89        | 1,19       |
| Ca      | 23980,95    | 10336,71   | Zr      | 131,33      | 59,13      | Ta      | 0,58        | 0,25       |
| Sc      | 5,59        | 1,27       | Mo      | 12,29       | 8,50       | W       | 2,09        | 1,77       |
| Ti      | 1664,76     | 359,15     | Cd      | 1,47        | 1,06       | Hg      | 0,97        | 0,89       |
| V       | 47,24       | 14,30      | Sb      | 3,89        | 4,41       | Pb      | 9,16        | 6,32       |
| Cr      | 138,86      | 69,23      | I       | 4,93        | 1,11       | Th      | 5,92        | 2,95       |
| Mn      | 810,00      | 310,84     | Cs      | 2,75        | 0,72       | U       | 2,03        | 0,62       |
| Fe      | 43742,86    | 28075,73   | Ba      | 433,14      | 344,97     |         |             |            |
| Co      | 8,33        | 2,56       | La      | 16,87       | 5,81       |         |             |            |

Рассчитываем нормализованные концентрации (табл. 2):

Таблица 2

**Расчетные значения нормализованных концентраций химических элементов  
в фитоиндикационном эксперименте (часть 1)**

| №  | Na       | Mg       | Al       | Si       | P        | S        | Cl       | K        | Ca       | Sc       | Ti       | V        |
|----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1  | 0,989346 | 1,282229 | 0,986848 | 1,235892 | 0,928843 | 1,373802 | -0,29934 | -0,44143 | 1,356239 | 1,972111 | 1,629525 | 1,59174  |
| 2  | -0,4881  | -0,45498 | 0,07189  | -0,39593 | -1,1804  | -1,29569 | 0,968468 | 0,003531 | -0,74307 | 0,321198 | -0,12463 | 0,19314  |
| 3  | -0,3471  | -1,097   | -1,05656 | -1,63922 | -1,12235 | -0,78109 | 0,176085 | 0,040612 | -0,85917 | -0,9445  | -1,09917 | -0,99567 |
| 4  | -0,57393 | 0,980105 | 0,529369 | 0,821461 | 1,109451 | 0,794875 | -0,45782 | -1,0718  | 1,356239 | 0,006738 | 0,961274 | 1,52181  |
| 5  | -0,05284 | 1,055636 | 0,239632 | 0,018501 | 1,264258 | 0,569737 | -0,50008 | -0,36727 | 2,323664 | 0,557043 | 0,209491 | 2,01132  |
| 6  | -0,61685 | -0,30392 | -0,64483 | -0,65495 | -1,103   | -1,26353 | 0,598689 | 1,078867 | 0,679041 | -0,15049 | -0,98779 | -0,78588 |
| 7  | -0,73946 | -0,60605 | -0,55333 | -0,37003 | -1,24491 | -1,32786 | -0,55819 | 0,040612 | -1,27516 | -0,55143 | -0,57013 | -0,50616 |
| 8  | -0,54328 | 0,60245  | -0,27884 | -0,49954 | -1,14815 | -1,16704 | -0,29934 | -1,70217 | 1,162753 | 0,006738 | 0,515773 | 0,82251  |
| 9  | -0,51263 | -0,90817 | -1,02606 | -1,3284  | -1,19331 | -0,62028 | -0,48423 | -0,55268 | -0,28838 | -0,97595 | -0,95995 | -0,22644 |
| 10 | -1,09502 | -1,51242 | -1,39204 | -1,01758 | -1,21911 | -0,71677 | -0,24652 | -0,47852 | -0,78177 | -1,38475 | -0,70935 | -0,92574 |
| 11 | 2,338056 | 1,131167 | 1,688315 | 1,313597 | 0,65793  | -0,04135 | -0,77477 | 1,709236 | 0,098585 | 0,674965 | 1,351087 | -0,01665 |
| 12 | 0,437601 | 0,26256  | 0,971598 | 1,184088 | 0,43217  | -0,00919 | -0,29934 | 0,522659 | -0,72373 | 1,233131 | 0,989118 | 0,19314  |
| 13 | 0,253686 | 2,452959 | 1,947553 | 0,899167 | 1,348112 | 1,47029  | 1,338246 | -0,701   | 1,356239 | 1,162378 | 1,907963 | 1,59174  |
| 14 | -0,81302 | -0,79487 | -0,18735 | -0,37003 | 0,606328 | 1,116501 | -0,60573 | -0,21895 | -1,10102 | -0,45709 | 0,070272 | -0,50616 |
| 15 | -0,5678  | -0,64381 | -0,94981 | -0,49954 | 0,477322 | 0,408924 | -0,45782 | -0,29311 | -0,61731 | -0,97595 | -0,82073 | -0,99567 |
| 16 | -0,39615 | 0,224795 | 0,331128 | 0,847363 | 0,554726 | 0,505412 | -0,73251 | 0,003531 | -0,19164 | 0,792888 | 0,794211 | 0,47286  |
| 17 | -0,60458 | -1,05923 | -1,02606 | -1,3025  | 0,341866 | 0,022973 | -0,44726 | -0,62684 | -1,08167 | -0,55929 | -1,21054 | -0,92574 |
| 18 | 0,008466 | -0,68158 | -1,2853  | -1,09528 | -1,04495 | -1,29569 | 3,662568 | -0,701   | 0,001843 | -1,78568 | -1,57251 | -1,34532 |
| 19 | 1,111956 | 0,111498 | 0,788607 | 0,329324 | -0,15481 | 0,408924 | -0,08804 | 1,190109 | 0,098585 | 0,163968 | 0,181648 | -0,22644 |
| 20 | 2,644581 | 0,640215 | 1,276584 | 1,494911 | 1,419065 | 1,888403 | -0,03522 | 2,784572 | -0,28838 | 1,579037 | 0,098116 | -0,01665 |
| 21 | -1,68355 | -2,41879 | -2,70348 | -2,07955 | -0,92239 | -1,03839 | -0,4631  | -1,55385 | -1,10102 | -2,90988 | -3,27098 | -2,32434 |
| 22 | -0,43293 | -0,68158 | -0,43134 | 1,028676 | 0,270912 | -0,04135 | -0,45782 | -0,21895 | -0,48187 | -0,68507 | -0,65367 | -0,92574 |
| 23 | -0,39002 | -2,26773 | -2,79498 | -2,23497 | -1,19976 | -1,39218 | 2,394756 | -1,14597 | -0,96558 | -2,54039 | -3,49373 | -2,40826 |
| 24 | -1,24216 | -1,51242 | -1,72753 | -2,02775 | -0,45152 | -1,00623 | 0,017609 | 0,893464 | -1,22679 | -1,62845 | -1,85095 | -1,65301 |

**Расчетные значения нормализованных концентраций химических элементов  
в фитоиндикационном эксперименте (часть 2)**

| №  | Cr       | Mn       | Fe       | Co       | Ni       | Cu       | Zn      | As      | Se       | Br       | Rb       | Sr      |
|----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|----------|----------|----------|---------|
| 1  | -0,05571 | 0,739936 | 2,324326 | 2,099895 | 0,410597 | 0,613043 | 0,63291 | 2,30374 | 0,698725 | -1,41385 | 1,152004 | 1,39499 |
| 2  | -0,7779  | -1,35119 | -0,5073  | -0,12825 | -0,21172 | -1,27226 | -0,8270 | 1,33504 | 0,472508 | 0,378645 | 0,268585 | -0,9578 |
| 3  | -0,85012 | -1,2225  | -0,90622 | -0,63643 | -0,41916 | -1,16453 | -1,2287 | -0,7146 | -0,49405 | 1,483026 | -0,00324 | -1,4881 |
| 4  | -0,35903 | 0,707765 | 1,04208  | 0,067198 | 0,064866 | 1,097834 | 0,58094 | -0,3215 | -0,02105 | -0,08859 | -0,13915 | -1,1235 |
| 5  | -0,22904 | 1,737242 | 2,217472 | 1,122637 | -0,28087 | 0,128252 | 0,32579 | -0,4900 | -0,01077 | -0,76821 | -0,07119 | 0,73221 |
| 6  | -0,96567 | -0,48257 | -0,76375 | -1,10551 | -0,52288 | -0,94906 | 0,18404 | -0,9533 | -0,07247 | -1,27793 | -0,61483 | 2,48857 |
| 7  | 2,356402 | 0,611252 | -0,81718 | 0,888095 | 0,203158 | -0,94906 | -1,2806 | -0,7988 | -0,55575 | -1,1505  | -0,75074 | -0,7590 |
| 8  | -0,44569 | 0,321711 | 0,828372 | 0,26265  | -0,07343 | -0,7336  | 0,55259 | -0,6023 | -0,08275 | -0,64078 | -0,68279 | -0,5602 |
| 9  | -0,76346 | -0,86862 | 0,6859   | -0,71461 | -0,70957 | 0,62587  | 0,11789 | -0,6163 | -0,30897 | 0,973311 | -0,41097 | -0,9247 |
| 10 | 0,652034 | -1,15816 | -0,88841 | -1,18369 | -0,87552 | -0,78747 | -0,2364 | -0,3917 | -0,40151 | 2,927216 | -1,02257 | 0,00315 |
| 11 | -0,14237 | 0,707765 | -0,29716 | 0,106288 | -0,00428 | 0,936237 | 0,09427 | -0,5602 | -0,65857 | 0,038835 | 1,831557 | 0,23512 |
| 12 | 0,059839 | -0,2252  | 0,258485 | 1,122637 | 1,171205 | 0,235983 | -0,8365 | 0,57693 | -0,60716 | 0,251216 | 1,084049 | 0,36768 |
| 13 | 1,388668 | 1,544215 | 1,006462 | 1,708991 | 3,453031 | 2,067417 | 1,13375 | 0,31019 | 0,966072 | 0,293692 | 0,336541 | 1,66010 |
| 14 | -0,66235 | -0,67559 | -0,90978 | -0,7537  | -0,84786 | 0,990103 | -1,4366 | -0,4759 | -0,65857 | 0,506073 | -0,61483 | -0,9247 |
| 15 | -0,48903 | 0,096513 | -0,51443 | -0,79279 | -0,90318 | 0,505312 | 2,83473 | -0,8690 | -0,65857 | 0,038835 | -0,8187  | -0,0962 |
| 16 | -0,33014 | -0,61125 | -0,22592 | 0,34083  | -0,14257 | -0,51814 | 0,47226 | -0,3075 | -0,51462 | 0,123788 | -0,34301 | 0,16885 |
| 17 | 2,674166 | -0,2252  | -0,00153 | -0,08916 | 0,548889 | -0,14108 | 0,99201 | 0,74540 | -0,54547 | -0,00364 | -0,68279 | -0,4276 |
| 18 | -0,9079  | -0,73994 | -0,90266 | -1,61759 | -1,60847 | -1,27226 | -1,0160 | -1,0094 | -0,6997  | -0,00364 | -1,49825 | -0,5270 |
| 19 | 0,059839 | 2,091124 | -0,51443 | -0,28461 | 0,203158 | 1,043969 | -0,1797 | -0,4619 | -0,27812 | -0,76821 | 0,948138 | 0,10257 |
| 20 | 0,059839 | 0,032171 | -0,16537 | 0,692643 | 0,203158 | 1,474894 | -0,1561 | 2,17739 | 3,783495 | 0,166264 | 2,51111  | 0,89790 |
| 21 | -0,64791 | -1,59569 | -1,19117 | -2,05541 | -1,68453 | -0,08721 | -0,3168 | -1,2327 | -0,15473 | -0,93812 | -1,90598 | -2,1177 |
| 22 | -0,27237 | -1,02948 | -0,94896 | -1,10551 | 0,341451 | -0,67973 | -0,7231 | 1,12446 | 0,647312 | -1,06555 | -0,47892 | -0,2619 |
| 23 | -1,42787 | -1,94957 | -1,24815 | -1,98113 | -1,81591 | -1,37999 | -1,5547 | -1,2467 | -0,78196 | 1,313121 | -1,97394 | 0,33454 |
| 24 | 3,136368 | -1,19033 | -1,11993 | -1,30096 | -0,9585  | -0,78747 | 2,07874 | -0,3917 | -0,8231  | -0,81069 | -1,63416 | -1,1898 |

**Расчетные значения нормализованных концентраций химических элементов  
в фитоиндикационном эксперименте (часть 3)**

| №  | Zr       | Mo       | Cd       | Sb       | I        | Cs       | Ba       | La       | Ce       | Nd       | Sm       |
|----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1  | 0,992125 | 1,060084 | 1,361227 | -0,47066 | -1,56523 | 2,173661 | -0,15405 | 2,104495 | 1,976478 | 1,943466 | 1,727422 |
| 2  | -0,51297 | -1,19784 | -1,03433 | -0,19605 | 0,421408 | 1,407072 | -0,5309  | 0,177014 | 0,065897 | -0,45195 | 0,145297 |
| 3  | -0,47915 | -1,04496 | -0,96805 | -0,49563 | 0,872916 | -0,66969 | -0,55989 | -0,563   | -0,38943 | -0,50639 | -0,64577 |
| 4  | -0,56371 | 0,554402 | 0,281804 | -0,23917 | -1,02342 | 0,417476 | -0,5309  | -0,35649 | -0,69298 | -0,39751 | -0,55536 |
| 5  | -0,61444 | 0,13104  | -0,51356 | -0,40712 | -1,11372 | -0,04248 | -0,50191 | -0,45974 | -0,37157 | -0,81489 | -0,77008 |
| 6  | -0,56371 | -1,17432 | -0,88284 | -0,32995 | 1,143821 | -1,07389 | -0,18304 | -0,33928 | -0,3805  | -0,41565 | -0,20503 |
| 7  | -0,66517 | -0,99792 | -0,52303 | -0,61819 | 1,234123 | -0,83694 | -0,61787 | -0,70068 | -0,46978 | -1,03266 | -0,39715 |
| 8  | 0,315676 | -0,798   | -0,91124 | -0,2891  | -0,39131 | -0,33518 | -0,58888 | -0,47695 | -0,29122 | -0,17974 | -0,26153 |
| 9  | -0,32695 | -0,36288 | -0,0496  | -0,4752  | 0,872916 | -0,22367 | -0,61787 | -0,76952 | -0,93403 | -0,76045 | -0,89438 |
| 10 | -0,80046 | -0,49224 | 0,111369 | -0,29818 | 1,956536 | -1,07389 | 3,701402 | -1,18255 | -1,08581 | -0,54268 | -1,16561 |
| 11 | 1,499462 | 0,860163 | 0,830984 | -0,20059 | -1,56523 | 0,347786 | 0,106843 | 1,381689 | 1,351522 | 1,399054 | 1,388395 |
| 12 | 0,484788 | 0,401522 | 0,357553 | 0,114883 | -0,93312 | 1,4907   | 0,077855 | 0,951448 | 0,994404 | 1,036112 | 1,162378 |
| 13 | 0,484788 | 2,000888 | 2,298621 | 0,841144 | 0,511709 | 1,100437 | 0,309762 | 0,452368 | 0,101609 | 1,399054 | 0,710342 |
| 14 | -0,90193 | 0,084    | 0,1019   | -0,5501  | 0,782614 | -0,27942 | -0,71643 | -0,49416 | -0,33586 | -0,7423  | -0,40845 |
| 15 | -0,63135 | -0,21    | -0,52303 | -0,29364 | -0,66221 | -0,62787 | -0,47292 | -0,61463 | -0,63941 | -0,28863 | -0,57796 |
| 16 | -0,51297 | -0,71568 | -0,83549 | 0,34184  | 0,602011 | 0,236282 | -0,41495 | -0,08113 | -0,02338 | 0,074317 | 0,077492 |
| 17 | -0,51297 | -0,52752 | -0,72187 | -0,23236 | -0,48161 | -0,68362 | 1,121436 | -0,563   | -0,74655 | -0,10715 | -0,54406 |
| 18 | -1,18942 | -1,04496 | -0,94912 | -0,54329 | -0,75251 | -1,72897 | -0,44394 | -1,28581 | -1,25544 | -1,26857 | -1,48203 |
| 19 | 0,992125 | 1,436405 | 0,641612 | -0,29137 | -0,57191 | -0,3073  | 1,179413 | 0,917029 | 0,726565 | -0,41565 | 0,710342 |
| 20 | 3,021471 | 1,930327 | 2,213403 | 4,041232 | -0,1204  | 1,253754 | 0,16482  | 2,32822  | 2,601434 | 2,306408 | 2,405476 |
| 21 | -1,57838 | -0,25704 | -0,33366 | -0,10526 | 7,013429 | -2,30043 | -0,91935 | -2,02582 | -1,99646 | нет      | -2,28439 |
| 22 | 0,484788 | 0,10752  | -0,28631 | 0,591492 | 0,782614 | -0,54424 | -0,32798 | -0,42532 | -0,20194 | -0,23418 | -0,41975 |
| 23 | -1,56147 | -1,19784 | -1,02487 | -0,65677 | -0,48161 | -2,20286 | -0,90485 | -1,81931 | -1,71969 | нет      | -1,90016 |
| 24 | -1,10487 | 0,03696  | -0,01172 | -0,37761 | -0,75251 | -1,67322 | 1,440308 | -1,28581 | -1,05902 | нет      | -1,36902 |

**Расчетные значения нормализованных концентраций химических элементов  
в фитоиндикационном эксперименте (часть 4)**

| №  | Eu       | Tb       | Dy       | Yb       | Hf       | Ta       | W        | Hg       | Pb       | Th       | U        |
|----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1  | 0,945919 | 1,233217 | 1,340689 | 0,764566 | 1,517533 | 2,572506 | -0,16941 | 2,496233 | 0,955095 | 1,922784 | 2,213233 |
| 2  | -0,86524 | 0,103179 | 0,184787 | 0,317683 | -0,33136 | -0,39302 | -0,44656 | 1,935701 | 1,14868  | -0,11003 | 0,593403 |
| 3  | 0,011128 | -0,58106 | -1,36742 | -0,32072 | -0,4154  | -0,79001 | -0,49747 | -0,30642 | 0,76905  | -0,27943 | -0,57737 |
| 4  | -0,16414 | -0,664   | 0,845303 | -0,86337 | -0,54146 | 0,46051  | -0,3391  | 0,254108 | 1,42963  | -0,38107 | -0,32076 |
| 5  | -1,39106 | -0,78841 | -0,80599 | -0,38456 | -0,33136 | 1,857921 | -0,25991 | 0,142001 | 1,445447 | -0,31331 | -0,25661 |
| 6  | 1,238041 | 0,300159 | -0,47573 | 1,051849 | -0,48263 | -1,16716 | -0,752   | -0,92301 | 0,89559  | -0,55725 | 0,641517 |
| 7  | 0,069553 | -0,39445 | -1,13624 | -0,2888  | -0,63391 | -0,98454 | -0,61625 | -0,99027 | 1,24358  | -0,63179 | -0,83397 |
| 8  | -0,57312 | -0,10417 | 0,845303 | 0,445364 | 0,425005 | 0,905141 | -0,27122 | -1,00148 | 0,78487  | -0,3743  | -0,40095 |
| 9  | -0,33942 | -0,98539 | -0,98763 | -0,70377 | -0,4238  | -0,34935 | -0,2486  | -0,87817 | 0,48433  | -0,58097 | -0,65755 |
| 10 | -1,04051 | -1,05796 | -0,47573 | -1,15065 | -0,93645 | -1,01233 | -0,34475 | -0,78848 | 0,75323  | -0,85878 | -1,07454 |
| 11 | 1,939134 | 1,4924   | 1,340689 | 1,083769 | 1,433492 | 0,905141 | 0,401854 | 1,038851 | 1,413812 | 0,296533 | 0,256607 |
| 12 | 0,712222 | 1,450931 | 1,175561 | 1,083769 | 0,593086 | 0,190556 | -0,05064 | -0,19432 | 1,290747 | 1,108592 | 1,266996 |
| 13 | 0,945919 | 1,005136 | 2,001205 | 0,636885 | 0,509046 | 0,269954 | 3,682407 | 1,296696 | 1,556172 | 0,025491 | 1,363223 |
| 14 | -0,0473  | -0,50849 | -0,80599 | -0,73569 | -0,85241 | -0,72252 | -0,30516 | -0,30642 | 0,243293 | -0,55725 | -1,12265 |
| 15 | -0,10572 | -0,73657 | -0,14547 | -1,21449 | -0,65071 | -0,40493 | -0,1581  | -0,04858 | 0,259111 | -0,68938 | -0,86605 |
| 16 | 0,595373 | 0,269057 | 0,184787 | 0,190002 | -0,44061 | 0,150857 | -0,51444 | -0,53064 | 0,59505  | -0,02194 | -0,06415 |
| 17 | -0,22257 | -0,5707  | -0,80599 | -0,57608 | -0,65912 | -0,32553 | -0,42394 | -0,39611 | 0,51596  | -0,6284  | -0,81793 |
| 18 | -1,7416  | -1,60743 | -0,97112 | -1,8529  | -1,28942 | -1,28625 | -0,71806 | -1,00148 | 1,03795  | -0,89266 | -1,37926 |
| 19 | -1,09894 | 0,403832 | -0,64086 | 1,21145  | 0,593086 | -0,14689 | 0,458416 | -0,08221 | 0,433107 | 0,364293 | 0,224531 |
| 20 | 1,763861 | 2,269949 | 1,175561 | 2,105217 | 2,946222 | 0,905141 | 1,759325 | 0,926745 | 1,271451 | 1,448461 | 1,796247 |
| 21 | -2,09215 | -2,49902 | -1,73071 | -2,55514 | -1,85249 | -1,78646 | 0,741222 | -1,05754 | 1,02213  | -1,45169 | -2,06889 |
| 22 | -0,63154 | -0,52923 | -0,47573 | -0,79953 | -0,02881 | -0,63519 | -0,18638 | -0,64274 | 1,06959  | -0,2896  | 0,016038 |
| 23 | -1,94609 | -2,11543 | -2,50681 | -2,29978 | -1,70963 | -1,63958 | -0,84249 | -1,01269 | 1,18031  | -1,33649 | -1,87644 |
| 24 | -1,56633 | -1,6178  | -1,74722 | -1,82097 | -1,46591 | -1,31007 | -0,83684 | -0,95664 | -1,0854  | -1,00447 | -1,79625 |

Применим метод главных компонент для образцов, полученных в точках 1–20 и 22. Он позволит определить в порядке убывания дисперсии 21 единичный вектор, попарно ортогональных друг другу и определяющих главные направления в пространстве нормализованных концентраций. В таблице 3 представлены координаты первых 10 главных компонент в этом пространстве.

Таблица 3

**Первые 10 главных компонент для выборки полных образцов**

| №  | PC1      | PC2      | PC3      | PC4      | PC5      | PC6      | PC7      | PC8      | PC9      | PC10     |
|----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Na | -0,16117 | 0,14071  | -0,02377 | -0,2711  | -0,02876 | 0,009612 | -0,05879 | -0,1368  | 0,16669  | -0,04909 |
| Mg | -0,16679 | -0,2002  | -0,00469 | -0,0106  | -0,18107 | 0,061899 | -0,13772 | 0,051175 | -0,01194 | 0,038634 |
| Al | -0,18874 | -0,0420  | 0,006988 | -0,01192 | -0,06    | -0,06223 | -0,24024 | 0,093604 | 0,045914 | 0,029636 |
| Si | -0,17264 | -0,0029  | -0,03051 | -0,04337 | 0,021297 | -0,05168 | -0,06337 | 0,193431 | -0,03321 | -0,03239 |
| P  | -0,1489  | -0,1273  | 0,154732 | -0,14718 | 0,184541 | -0,00495 | 0,102248 | 0,23159  | -0,0787  | -0,14609 |
| S  | -0,14947 | -0,0714  | 0,216859 | -0,11296 | 0,239844 | 0,049274 | 0,108232 | 0,190059 | -0,07696 | -0,02122 |
| Cl | 0,04028  | 0,01986  | 0,009062 | -0,00138 | -0,31683 | 0,494737 | -0,25311 | -0,09244 | 0,260863 | -0,35918 |
| K  | -0,09527 | 0,30488  | -0,00503 | -0,25593 | -0,11144 | -0,11738 | -0,00156 | -0,0108  | -0,00878 | 0,08514  |
| Ca | -0,08627 | -0,3052  | -0,07852 | -0,11329 | -0,21774 | 0,220342 | 0,054826 | -0,14633 | -0,05738 | 0,232597 |
| Sc | -0,18969 | -0,0286  | -0,13212 | 0,116237 | -0,01714 | -0,05117 | 0,015191 | 0,033329 | -0,04871 | 0,062943 |
| Ti | -0,16496 | -0,1549  | -0,02614 | 0,111092 | 0,036802 | -0,10597 | -0,27858 | 0,023194 | -0,08724 | 0,071232 |
| V  | -0,12829 | -0,2894  | -0,08936 | 0,115057 | 0,026508 | 0,070122 | -0,03568 | 0,017993 | 0,005035 | 0,289035 |
| Cr | -0,0212  | -0,0218  | 0,277999 | 0,299117 | -0,07259 | -0,36152 | 0,27162  | 0,006466 | 0,333336 | -0,17342 |
| Mn | -0,11286 | -0,2303  | 0,100935 | -0,19117 | -0,21167 | -0,21103 | 0,046925 | -0,05995 | 0,28461  | 0,083517 |
| Fe | -0,10704 | -0,3060  | -0,10881 | 0,075728 | 0,081192 | 0,086999 | 0,175583 | -0,15172 | 0,023246 | 0,148721 |
| Co | -0,15617 | -0,1484  | -0,07177 | 0,246277 | -0,00659 | -0,14319 | 0,064902 | 0,045831 | 0,145796 | 0,056987 |
| Ni | -0,12953 | -0,0781  | 0,184469 | 0,340495 | -0,1844  | -0,09001 | -0,08338 | 0,157983 | 0,10371  | -0,08755 |
| Cu | -0,15468 | -0,0860  | 0,275751 | -0,17018 | 0,087429 | -0,06226 | -0,09328 | 0,109471 | -0,01857 | -0,06199 |
| Zn | -0,04818 | -0,1984  | 0,154223 | -0,08038 | -0,03056 | -0,00836 | 0,320286 | -0,18547 | -0,42726 | -0,32084 |
| As | -0,12946 | 0,11588  | -0,07177 | 0,253478 | 0,225802 | 0,210938 | 0,290214 | 0,024258 | 0,143522 | -0,16186 |
| Se | -0,13012 | 0,14729  | 0,0734   | 0,033001 | -0,0234  | 0,375822 | 0,294405 | 0,138736 | 0,054115 | 0,206607 |
| Br | 0,059688 | 0,1114   | 0,261947 | 0,13292  | 0,327378 | 0,11798  | -0,31809 | -0,30495 | -0,17131 | 0,198076 |
| Rb | -0,17985 | 0,13912  | -0,06405 | -0,09693 | 0,08602  | -0,05398 | -0,08384 | -0,07871 | 0,083422 | 0,092002 |
| Sr | -0,1127  | -0,0106  | 0,037531 | 0,015653 | -0,42629 | 0,042367 | 0,187869 | -0,20251 | -0,2664  | -0,05754 |
| Zr | -0,17008 | 0,17102  | 0,013421 | -0,11505 | -0,01586 | 0,008489 | 0,100319 | -0,05017 | 0,08855  | 0,094012 |
| Mo | -0,17273 | -0,0213  | 0,23735  | -0,12986 | 0,053841 | 0,025211 | -0,04254 | 0,008842 | 0,132144 | 0,026933 |
| Cd | -0,1695  | 0,03485  | 0,253045 | -0,0018  | 0,024022 | 0,069117 | -0,07966 | -0,0344  | 0,06814  | 0,043704 |
| Sb | -0,1208  | 0,20976  | 0,159083 | -0,03233 | -0,00635 | 0,249653 | 0,219758 | 0,199144 | -0,03445 | 0,137035 |
| I  | 0,102421 | 0,17021  | 0,177026 | 0,299581 | -0,12254 | 0,031648 | -0,00379 | 0,164249 | -0,17548 | 0,4025   |
| Cs | -0,17021 | -0,0197  | -0,14122 | 0,22426  | 0,2043   | 0,069693 | -0,09604 | 0,02581  | -0,02626 | -0,03205 |
| Ba | 0,006081 | 0,09519  | 0,325252 | 0,131331 | 0,044264 | -0,10079 | 0,061132 | -0,61274 | 0,05559  | 0,088386 |
| La | -0,18922 | 0,11420  | -0,09963 | -0,04356 | 0,039468 | -0,03674 | 0,00567  | -0,07832 | 0,050502 | -0,059   |
| Ce | -0,18181 | 0,15138  | -0,1219  | -0,05578 | 0,047674 | -0,04413 | 0,037707 | -0,04301 | 0,057136 | -0,0014  |
| Nd | -0,18619 | 0,09185  | 0,025775 | 0,07758  | 0,034628 | 0,017934 | 0,028742 | -0,09453 | -0,14311 | -0,15698 |
| Sm | -0,18831 | 0,13867  | -0,07433 | 0,008515 | -0,00977 | -0,08276 | -0,01431 | -0,01848 | 0,004372 | -0,05935 |
| Eu | -0,13465 | 0,1383   | -0,00618 | 0,027612 | -0,10852 | -0,19224 | -0,04555 | 0,127145 | -0,41905 | -0,09912 |
| Tb | -0,18299 | 0,14605  | -0,06489 | 0,052975 | -0,09685 | -0,10884 | -0,06567 | -0,01276 | -0,08614 | -0,02446 |
| Dy | -0,16893 | -0,0523  | 0,009077 | 0,131482 | -0,02597 | 0,076017 | -0,18129 | -0,06355 | -0,2108  | -0,15719 |
| Yb | -0,15916 | 0,14776  | -0,11962 | 0,027987 | -0,22332 | -0,13354 | -0,01385 | -0,0694  | -0,03457 | 0,191813 |
| Hf | -0,18206 | 0,13467  | -0,04927 | -0,07432 | -0,00352 | 0,020161 | 0,094548 | -0,07509 | 0,048429 | 0,097826 |
| Ta | -0,15395 | -0,1845  | -0,16155 | -0,04489 | 0,15634  | 0,011093 | 0,174721 | -0,15542 | 0,015157 | 0,130702 |
| W  | -0,13692 | -0,0034  | 0,337095 | 0,0855   | -0,17078 | 0,160863 | -0,13666 | 0,089523 | 0,046927 | 0,014528 |
| Hg | -0,14938 | -0,0338  | -0,08095 | 0,109645 | 0,167768 | 0,173484 | -0,08809 | -0,10634 | 0,048207 | -0,21822 |
| Pb | -0,15757 | -0,15702 | 0,153798 | -0,22783 | 0,117679 | -0,00124 | -0,09535 | -0,03481 | -0,03191 | 0,045181 |
| Th | -0,15239 | 0,092008 | -0,17777 | 0,100829 | 0,11152  | -0,08515 | -0,07575 | -0,09351 | 0,07     | -0,10181 |
| U  | -0,17918 | 0,064739 | -0,1248  | 0,161203 | -0,11711 | 0,105088 | 0,041025 | -0,05007 | -0,05708 | -0,03353 |

Исключим из набора образец 22 и повторим процедуру выделения главных компонент. Для такой подвыборки метод позволит выделить уже только 20 направлений. Получившиеся результаты (снова ограничимся первыми десятью компонентами) представлены в таблице 4.

## Первые 10 главных компонент для подвыборки из образцов 1–20

| №  | PC1      | PC2      | PC3      | PC4      | PC5      | PC6      | PC7      | PC8      | PC9      | PC10     |
|----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Na | -0,15977 | 0,145719 | -0,0205  | -0,26859 | -0,00949 | 0,031199 | 0,005864 | -0,1853  | 0,094472 | 0,040311 |
| Mg | -0,16579 | -0,19838 | -0,00312 | -0,01628 | -0,17182 | 0,084747 | 0,149506 | 0,017873 | -0,00135 | -0,03595 |
| Al | -0,18755 | -0,04026 | 0,008515 | -0,01544 | -0,0635  | -0,05139 | 0,264207 | -0,03823 | 0,011518 | -0,03082 |
| Si | -0,18171 | -0,02548 | -0,03127 | -0,05322 | 0,007022 | -0,0886  | 0,165591 | 0,063199 | 0,032534 | 0,010426 |
| P  | -0,1501  | -0,13849 | 0,15559  | -0,14125 | 0,17653  | -0,05251 | -0,01056 | 0,114528 | -0,16832 | 0,154948 |
| S  | -0,14908 | -0,07696 | 0,216943 | -0,10099 | 0,235476 | 0,003328 | -0,04171 | 0,104133 | -0,19294 | 0,038045 |
| Cl | 0,042371 | 0,028365 | 0,008244 | -0,00494 | -0,25697 | 0,546873 | 0,187858 | -0,28014 | 0,071597 | 0,358673 |
| K  | -0,09418 | 0,309392 | -0,00307 | -0,25694 | -0,10587 | -0,09041 | -0,01149 | 0,005372 | -0,03277 | -0,08086 |
| Ca | -0,08476 | -0,30556 | -0,07585 | -0,11727 | -0,18522 | 0,246406 | -0,09249 | 0,039851 | 0,131764 | -0,24996 |
| Sc | -0,18903 | -0,02411 | -0,13306 | 0,113997 | -0,02602 | -0,04841 | -0,00532 | 0,05459  | -0,04903 | -0,05666 |
| Ti | -0,16386 | -0,15084 | -0,02438 | 0,111582 | 0,025891 | -0,10022 | 0,282821 | 0,08139  | 0,129946 | -0,08693 |
| V  | -0,12741 | -0,28848 | -0,08937 | 0,119747 | 0,030236 | 0,070752 | 0,038626 | -0,00168 | -0,06122 | -0,28286 |
| Cr | -0,02019 | -0,0188  | 0,269703 | 0,291483 | -0,12876 | -0,36632 | -0,24742 | -0,31575 | -0,14525 | 0,194437 |
| Mn | -0,11166 | -0,22644 | 0,104832 | -0,20166 | -0,22686 | -0,18629 | -0,05744 | -0,29099 | -0,00687 | -0,08223 |
| Fe | -0,10571 | -0,30529 | -0,1094  | 0,083071 | 0,090437 | 0,084308 | -0,22506 | -0,03817 | 0,017612 | -0,14913 |
| Co | -0,15671 | -0,14207 | -0,07564 | 0,250816 | -0,0324  | -0,14538 | -0,05496 | -0,13648 | -0,16507 | -0,03143 |
| Ni | -0,13107 | -0,08727 | 0,178862 | 0,32669  | -0,21403 | -0,09118 | 0,146116 | -0,07957 | -0,0652  | 0,095143 |
| Cu | -0,15342 | -0,08109 | 0,280303 | -0,1632  | 0,086123 | -0,06918 | 0,117949 | 0,029633 | -0,0784  | 0,073362 |
| Zn | -0,04573 | -0,19253 | 0,157266 | -0,07702 | -0,02469 | 0,001759 | -0,3831  | 0,408512 | 0,123486 | 0,315774 |
| As | -0,1387  | 0,096908 | -0,0789  | 0,261913 | 0,22572  | 0,153305 | -0,25915 | -0,13263 | -0,07601 | 0,167389 |
| Se | -0,13414 | 0,13332  | 0,070957 | 0,033698 | -0,00151 | 0,348402 | -0,24301 | -0,02337 | -0,30318 | -0,17263 |
| Br | 0,066243 | 0,139495 | 0,271968 | 0,16482  | 0,357783 | 0,142519 | 0,168456 | 0,10757  | 0,262902 | -0,21777 |
| Rb | -0,17858 | 0,144811 | -0,06147 | -0,09271 | 0,089661 | -0,04635 | 0,047227 | -0,09704 | 0,042588 | -0,09305 |
| Sr | -0,11153 | -0,00939 | 0,035766 | 0,001696 | -0,41221 | 0,091394 | -0,23649 | 0,237223 | 0,225407 | 0,024781 |
| Zr | -0,17273 | 0,161083 | 0,013567 | -0,11794 | -0,01416 | 0,001426 | -0,10067 | -0,0894  | 0,033791 | -0,10151 |
| Mo | -0,1728  | -0,0279  | 0,237169 | -0,12509 | 0,05578  | 0,011631 | 0,054448 | -0,13064 | 0,037856 | -0,03607 |
| Cd | -0,16826 | 0,035811 | 0,252292 | 0,003946 | 0,029638 | 0,070436 | 0,061434 | -0,07713 | 0,038388 | -0,04646 |
| Sb | -0,12418 | 0,198588 | 0,157659 | -0,03107 | 0,006865 | 0,223662 | -0,15278 | 0,070672 | -0,30338 | -0,10457 |
| I  | 0,100758 | 0,165413 | 0,173823 | 0,298237 | -0,13949 | 0,030729 | 0,05578  | 0,195467 | -0,16168 | -0,38714 |
| Cs | -0,16914 | -0,01606 | -0,14126 | 0,230505 | 0,201901 | 0,052113 | 0,090971 | 0,025377 | -0,02602 | 0,040098 |
| Ba | 0,007696 | 0,105156 | 0,322831 | 0,140877 | 0,040276 | -0,06991 | -0,24501 | -0,14849 | 0,597413 | -0,16012 |
| La | -0,18803 | 0,11746  | -0,09844 | -0,04312 | 0,040289 | -0,03241 | -0,03299 | -0,06121 | 0,056854 | 0,053373 |
| Ce | -0,18086 | 0,150923 | -0,1205  | -0,05598 | 0,045949 | -0,04598 | -0,04857 | -0,06096 | 0,01694  | -0,00173 |
| Nd | -0,18507 | 0,092489 | 0,025603 | 0,078675 | 0,035373 | 0,020221 | -0,06224 | 0,127    | 0,107946 | 0,145329 |
| Sm | -0,18711 | 0,142337 | -0,07399 | 0,006067 | -0,01612 | -0,07499 | 0,004489 | -0,00732 | 0,014462 | 0,059413 |
| Eu | -0,13311 | 0,148887 | -0,00545 | 0,022946 | -0,12281 | -0,16918 | 0,06537  | 0,432244 | -0,08991 | 0,116939 |
| Tb | -0,18178 | 0,152747 | -0,06493 | 0,047654 | -0,10452 | -0,08711 | 0,053107 | 0,081232 | 0,034999 | 0,023222 |
| Dy | -0,16764 | -0,04881 | 0,010097 | 0,130719 | -0,01824 | 0,090095 | 0,150328 | 0,193278 | 0,189932 | 0,137613 |
| Yb | -0,15825 | 0,160673 | -0,12095 | 0,019212 | -0,23135 | -0,0928  | -0,01786 | 0,024672 | 0,019001 | -0,19037 |
| Hf | -0,18158 | 0,13116  | -0,0483  | -0,07471 | 0,001232 | 0,020686 | -0,11283 | -0,05381 | 0,016451 | -0,09847 |
| Ta | -0,15287 | -0,18326 | -0,15972 | -0,03875 | 0,161039 | -0,0024  | -0,21476 | -0,02992 | 0,060207 | -0,1379  |
| W  | -0,13586 | -0,00329 | 0,333996 | 0,084474 | -0,15932 | 0,176937 | 0,146564 | -0,03857 | -0,0903  | 0,004178 |
| Hg | -0,14816 | -0,0276  | -0,08024 | 0,11919  | 0,185197 | 0,170945 | 0,032563 | -0,06907 | 0,061774 | 0,22284  |
| Pb | -0,15768 | -0,14986 | 0,163054 | -0,2212  | 0,135014 | 0,004281 | 0,068544 | 0,022237 | 0,014596 | -0,0439  |
| Th | -0,15129 | 0,093813 | -0,17678 | 0,09996  | 0,101604 | -0,08907 | 0,049572 | -0,08543 | 0,149113 | 0,077994 |
| U  | -0,17896 | 0,060031 | -0,12575 | 0,152575 | -0,1118  | 0,112128 | -0,05051 | 0,049986 | 0,068485 | 0,02347  |

В качестве метрики в пространстве нормализованных концентраций воспользуемся  $L^\infty$ -нормой

$$\|x\| = \max(x_i)$$

и будем считать устойчивыми главные компоненты, расстояние от которых до соответствующих компонент модифицированного набора не превышает 0,1.

Соответствующие расстояния представлены в таблице 5.

Таблица 5

**Расстояния между соответствующими главными компонентами двух подвыборок**

| PC1      | PC2      | PC3      | PC4      | PC5      | PC6      | PC7      | PC8      | PC9      | PC10     |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0,009237 | 0,028024 | 0,010021 | 0,0319   | 0,059854 | 0,057633 | 0,183874 | 0,593983 | 0,550745 | 0,071734 |
| PC11     | PC12     | PC13     | PC14     | PC15     | PC16     | PC17     | PC18     | PC19     | PC20     |
| 0,132588 | 0,235019 | 0,390737 | 0,324363 | 0,29231  | 0,379349 | 0,27484  | 0,532541 | 0,470555 | 0,492437 |

Как видно из приведенной таблицы, первые шесть главных компонент можно считать достаточно устойчивыми. Компонента PC7 по всей видимости уже содержит в себе значительную долю шума, но потенциально могла бы учитываться при расчетах. Компонента PC8 и последующие существенно меняются при исключении одного наблюдения и поэтому не могут считаться устойчивыми. Таким образом, выбираем  $l=6$  и, соответственно, в качестве рабочего приближения к множеству допустимых концентраций будем использовать линейное многообразие, натянутое на главные компоненты PC1–PC6.

Решая для каждого из образцов 21, 23 и 24 систему из 45 уравнений с 6 неизвестными методом наименьших квадратов, получаем координаты векторов концентраций в главных компонентах. Имея координаты в главных компонентах, далее рассчитываются нормализованные и обычные концентрации неодима в образцах 21, 23 и 24. Результаты расчетов приведены в таблице 6.

Таблица 6

**Итоговые значения для пропущенных данных по искомому химическому элементу**

| $j$ | $a_{1j}$ | $a_{2j}$ | $a_{3j}$ | $a_{4j}$ | $a_{5j}$ | $a_{6j}$ | $\sqrt{\sum \varepsilon_{ij}^2}$ | $\hat{c}'_{Nd,j}$ | $\hat{c}_{Nd,j}$ |
|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------------------------------|-------------------|------------------|
| 21  | 10,89689 | 1,321932 | 3,114975 | 0,257993 | 0,271518 | 1,68694  | 7,062739                         | -1,76745          | 6,55089          |
| 23  | 10,69651 | 1,224853 | 0,153073 | -1,93711 | -0,0838  | 2,788194 | 3,495437                         | -1,97825          | 5,389258         |
| 24  | 7,109735 | 0,364174 | 2,470613 | -0,56157 | 0,377279 | -1,33307 | 5,02999                          | -1,28101          | 9,231463         |

Отрицательные и превышающие по модулю 1 значения оценок нормализованной концентрации говорят о том, что концентрация неодима в соответствующих образцах должна быть существенно ниже средней.

Если выполнить аналогичные расчеты по семи главным компонентам, получатся следующие оценки концентрации элемента Nd: 6,760033 для образца 21; 5,373186 для образца 23; 9,690184 для образца 24. Расхождение между оценками, полученными по шести и семи главным компонентам, не превышает 5 %.

**Вывод**

Метод главных компонент является приемлемым способом для использования в экологическом мониторинге при восстановлении пропущенных или утраченных данных и может иметь перспективу для внедрения в практике ботанико-экспертных мероприятий диагностического назначения.

**Благодарности**

Авторы выражают искреннюю благодарность доктору химических наук И. И. Зиньковской (Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна), доктору химических наук А. С. Алемасовой (Донецкий государственный университет) за проведение аналитического контроля по установлению ингредиентного состава в первичных образцах растений-индикаторов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Исследование выполнено в рамках работы Азово-Черноморского математического центра (соглашение от 29 февраля 2024 г. № 075-02-2024-1446), молодежной лаборатории «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно-трансформированных экосистем Донбасса» (№ НИОКТР 1023110700153-4-1.6.19;1.6.11;1.6.12), а также инициативной темы кафедры ботаники и экологии ДонГУ «Ботаника антропогенеза: индикация и оптимизация».

### Список литературы

1. Аладышкина А. С., Лакшина В. В., Леонова Л. А., Максимов А. Г. Особенности работы с данными, характеризующими здоровье населения: заполнение пропусков в данных // Социальные аспекты здоровья населения. 2020. Т. 66, № 1. С. 1–28. DOI : 10.21045/2071-5021-2020-66-1-12. EDN : AMHNIZ.
2. Беспалова С. В., Сафонов А. И. Математическое моделирование в системе экологического фитомониторинга Донбасса // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2023. № 1–2. С. 6–12. EDN : KUQQSL.
3. Бычков Ю. А. Сопоставление точности двух методов оценивания параметров при заполнении пропусков в данных газодобывающего предприятия // Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами. 2022. № 3 (15). С. 7–13. DOI : 10.26731/2658-3704.2022.3(15).7–13. EDN : QFFXPV.
4. Грачев А. В. К восстановлению пропусков в экспериментальных данных // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. Серия: Радиофизика. 2004. № 1. С. 15–23. EDN : HROHAD.
5. Гунченко И. А. Полемостресс в Донбассе: постановка эксперимента // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет». 2024. Т. 1, № 16. С. 60–65. EDN : IYJHBJ.
6. Ермаков В. В. Современное развитие биогеохимических идей В. И. Вернадского // Геохимия. 2023. Т. 68, № 10. С. 995–1008. DOI : 10.31857/S0016752523100047. EDN : YHRINA.
7. Калинина А. В. Диагностика эдафотопов некоторых отвалов угольных шахт г. Макеевки методами фитотестирования // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2019. № 1–2. С. 6–12. EDN : OJDSTP.
8. Клепиков О. В., Епринцев С. А., Шекоян С. В. Анализ данных социальногигиенического мониторинга регионов России, определяющих эколого-гигиеническую безопасность населения // Санитарный врач. 2020. № 1. С. 60–66. DOI : 10.33920/med-08-2001-08. EDN : GCUFZF.
9. Мирненко Н. С. Виды адвентивной флоры Донбасса в контексте палинологических экспертиз // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2022. № 3–4. С. 21–29. EDN : SSMJMN.
10. Мирненко Э. И. Минерализация водных экосистем как фактор трансформации комплексов фитопланктона прудов г. Донецка // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2021. № 3–4. С. 30–35. EDN : WQDSUN.
11. Неспирный В. Н., Сафонов А. И. Метод главных компонент в экологической диагностике Донбасса // Актуальные проблемы экологии и природопользования. М. : РУДН, 2024. Т. 1. С. 391–396.
12. Носков С. И., Бычков Ю. А. Вычислительные эксперименты с непрерывной формой метода максимальной согласованности в регрессионном анализе // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2022. Т. 18, № 2. С. 7–12. DOI : 10.36622/VSTU.2022.18.2.001. EDN : LTYOVD.
13. Рожкова Д. А., Смородин Г. Н. Анализ методов обработки данных экологического мониторинга с пропущенными значениями // Подготовка профессиональных кадров в магистратуре для цифровой экономики (ПКМ-2023). СПб. : СПбГУТ, 2023. С. 391–395. EDN : FQVCWG.

14. Сафонов А. И. Весовые коэффициенты фитоквантификации в антропогенно трансформированной среде Донбасса // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2022. № 1–2. С. 17–22. EDN : GUYSXP.

15. Сафонов А. И., Гермонова Е. А. Оценка геосистем Донбасса: фитоиндикация тератогенности и картографический анализ // Вестник Донецкого национального университета. Серия А : Естественные науки. 2023. № 1. С. 98–104. EDN : PHAMBH.

16. Тараканов Д. А. Восстановление пропущенных значений в данных гидрометеорологических наблюдений с использованием машинного обучения (на примере реки Белая, Республика Башкортостан) // Вестник Евразийской науки. 2023. Т. 15, № 6. <https://esj.today/PDF/55NZVN623.pdf>. EDN : HWQXFP.

17. Тронов К. А., Белов Ю. С. Система прогнозирования данных с механизмом восстановления пропущенных значений в беспроводных сенсорных медицинских сетях Интернета вещей // Известия Института инженерной физики. 2023. № 4 (70). С. 58–64. EDN : MBFEXT.

18. Цымблер М. Л., Юртин А. А. Восстановление пропущенных значений временного ряда на основе совместного применения аналитических алгоритмов и нейронных сетей // Вычислительные методы и программирование. 2023. Т. 24, № 3. С. 243–259. DOI : 10.26089/NumMet.v24r318. EDN : BJZYCZ.

19. Яркова О. Н. Импутация данных методами статистического моделирования // Инженерный вестник Дона. 2023. № 6 (102). С. 160–177. EDN : IPHPLT.

20. Adnan F. A., Jamaludin Kh. R., Wan Muhamad W. Z. A., Miskon S. A review of the current publication trends on missing data imputation over three decades: direction and future research // Neural Computing & Applications. 2022. Vol. 34, No. 21. P. 18325–18340. DOI : 10.1007/s00521-022-07702-7. EDN : JQUNWQ.

21. Berk L., Bertsimas D. Certifiably optimal sparse principal component analysis // Mathematical Programming Computation. 2019. Vol. 11, No. 3. P. 381–420. DOI : 10.1007/s12532-018-0153-6. EDN : QQXKVS.

22. Ermakov V. V., Tyutikov S. F., Degtyaryov A. P., Gulyaeva U. A., Danilova V. N. Characteristics of the accumulation of metals by plants and the activity of soil enzymes in metallogenic territories of the Northern Caucasus // Geochemistry International. 2022. Vol. 60, No. 8. P. 772–778. DOI : 10.1134/s0016702922070023. EDN : HCOKUZ.

23. Gkoulis D., Bardaki C., Nikolaidou M., Kousiouris G., Tsadimas A. A Hybrid Simulation Platform for quality-aware evaluation of complex events in an IoT environment // Simulation Modelling Practice and Theory. 2024. Vol. 133. P. 102919. DOI : 10.1016/j.simpat.2024.102919. EDN : FXNHKM.

24. Kharchenko N. N., Kalaev V. N., Kornienko V. O. Mechanical resistance of *Quercus robur* L. at the environmental boundary of the species distribution in the steppe // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. P. 12049. DOI : 10.1088/1755-1315/875/1/012049. EDN : HNQTEI.

25. Kolesnikov S. I., Kuzina A. A., Minnikova T. V., Ter-misakyants T. A., Nevedomaya E. N., Akimenko Yu. V., Trufanov D. A., Kazeev K. Sh., Burachevskaya M. V., Minkina T. M., Shende S. S., Barakhov A. V. Biodiagnostics of resistance to the copper (Cu) pollution of forest soils at the dry and humid subtropics in the greater Caucasus Region // Forests. 2022. Vol. 13, No. 10. P. 1720. DOI : 10.3390/f13101720. EDN : GEVKEQ.

26. Kurapeev D. I., Lushnov M. S., Man T., Zhukova N. A. Imputation and system modeling of acid-base state parameters for different groups of patients // Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics. 2022. Vol. 22, No. 1. P. 155–166. DOI : 10.17586/2226-1494-2022-22-1-155-166. EDN : THDBUO.

27. Nugroho H. A., Surendro K. Comprehensive bibliometric analysis of missing value imputation // IEEE Access. 2024. Vol. 12. P. 14819–14846. DOI : 10.1109/access.2024.3357533. EDN : NBGZND.

28. *Palchevsky E. V.* Method for improving the accuracy of predictive values of time series based on the imputation of historical data // *Programmnaya Ingeneria*. 2023. Vol. 14, No 6. P. 301–306. DOI : 10.17587/prin.14.301-306. EDN : PVYRZJ.

29. *Safonov A. I., Alemasova A. S., Zinikovskaia I. I., Vergel K. N., Yushin N. S., Kravtsova A. V., Chaligava O.* Morphogenetic abnormalities of bryobionts in geochemically contrasting conditions of Donbass // *Geochemistry International*. 2023. Vol. 61, No 10. P. 1036–1047. DOI : 10.1134/s0016702923100117. EDN : FICFYS.

30. *Tien D. P. T., Van Dung D., My T. T. T., Frontasyeva M., Zinikovskaia I., Khiem L. H., Son N. A.* Studying airborne trace elements in featured areas in Red River Delta and South Central Vietnam using moss biomonitoring technique and neutron activation analysis // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2022. Vol. 331, No 1. P. 1–9. DOI : 10.1007/s10967-022-08331-z. EDN : QZMUXP.

31. *Yao F., Coquery J., Lê Cao K. A.* Independent Principal Component Analysis for biologically meaningful dimension reduction of large biological data sets // *BMC Bioinformatics*. 2012. Vol. 13, No 1. P. 1–15. DOI : 10.1186/1471-2105-13-24. EDN : WTNC DG.

32. *Yeprintsev S. A., Klepikov O. V., Shekoyan S. V., Zhigulina E. V.* Study of the impact of social and environmental factors on the spread of coronavirus infection in Russian Regions // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. P. 012007. DOI : 10.1088/1755-1315/688/1/012007. EDN : KNQAWL.

33. *Yeprintsev S. A., Kurolap S. A., Komov I. V., Minnikov I. V. Y.* Monitoring of factors of ecological safety of urbanized territories' population (by example of settlements of Voronezh region) // *Life Science Journal*. 2013. Vol. 10, No 12s. P. 846–848. EDN : UZUSAB.

34. *Zhong R., Liu Sh., Li H., Zhang J.* Sparse logistic functional principal component analysis for binary data // *Statistics and Computing*. 2023. Vol. 33, No 1. P. 15. DOI : 10.1007/s11222-022-10190-3. EDN : BFYFJC.

35. *Zinikovskaia I., Safonov A., Kravtsova A., Chaligava O., Germonova E.* Neutron activation analysis of rare earth elements (Sc, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Dy, Yb) in the diagnosis of ecosystems of Donbass // *Physics of Particles and Nuclei Letters*. 2024. Vol. 21, No 2. P. 186–200. DOI : 10.1134/S1547477124020158. EDN : XTYWUI.

**Nespirnyi V. N., Safonov A. I. An algorithm for recovering missing data in a sample of phytoindication monitoring using the principal component analysis.** – An approach to constructing estimates for missing values in multivariate samples is proposed. A sufficient condition for its applicability is the assumption that there are connections between the coordinates of the observed magnitude, which are well approximated by linear equations. To identify such relationships, it is proposed to use the principal component analysis with preliminary normalization. Recovering missing information is carried out by projecting incomplete data onto a subspace containing the first few principal components. To minimize estimation error, the principal component method is reapplied to a portion of the original sample and eliminates unstable components that are sensitive to sample reduction and, as a result, susceptible to noise. To demonstrate the results obtained, the developed algorithm was applied to experimental data of phytoindication monitoring in a 24-component observation network.

*Key words:* Donbass, environmental monitoring, mathematical statistics, imputation, phytoindication, principal component analysis.

УДК 581.9 : 58.006 : 502.75 : 712.253 : 57.087 (477.60)

© А. И. Сафонов, Э. И. Мирненко, Н. С. Мирненко,  
А. В. Калинина, Ю. С. Калинина, А.П. Палагута

## **ЭКСПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ КАФЕДРЫ БОТАНИКИ И ЭКОЛОГИИ ДОНГУ ДЛЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДНР НА ФОРУМЕ ВДНХ «РОССИЯ» В 2024 ГОДУ**

*ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»*

*Россия, 283050, ДНР, г. Донецк, ул. Щорса, 46*

*andrey\_safonov@mail.ru, eduard\_mirnenko@list.ru, natalya\_zaharenkova@mail.ru,  
kalinina.angela91@mail.ru, yu.kalinina91@mail.ru, gerysenok@mail.ru*

*Сафонов А. И., Мирненко Э. И., Мирненко Н. С., Калинина А. В., Калинина Ю. С., Палагута А. П.* Экспозиционный материал кафедры ботаники и экологии ДонГУ для представления ДНР на форуме ВДНХ «Россия» в 2024 году. – Даны описание и обоснование фрагментов иллюстративного материала, предоставленного кафедрой ботаники и экологии Донецкого государственного университета для экспонирования на Выставке достижений народного хозяйства (г. Москва) в рамках форума «Россия» – павильон о Донецкой Народной Республике как субъекта Российской Федерации. Материалы отражают основные научные разработки кафедры по направлениям экологической ботаники, проводимого мониторинга природных сред, оценки качества экосистем, уровня нарушенности экотопов. В информационной программе представленных данных подчеркнута уникальность флоры и богатство видового разнообразия в современном Донбассе.

*Ключевые слова:* Донбасс, ВДНХ, кафедра ботаники и экологии ДонГУ, экспозиции, ботанико-экологические исследования, выставка научных разработок.

### **Введение**

Реализованный или реализуемый научный проект в стратегическом направлении своего выполнения на практике должен проходить разные стадии апробации: первичную экспертизу, например, в профильном отделении РАН, техническое соответствие выполняемой научно-исследовательской работы (НИР), обсуждение целесообразности и результатов НИР на научно-технических мероприятиях, публикации и возможные формы популяризации, включая образовательную и дидактическую функции. Среди всех национальных проектов в РФ наиболее крупномасштабным из народнохозяйственного и наглядно доступного является комплекс павильонов Выставки достижений народного хозяйства (ВДНХ, г. Москва) [2, 28, 32]. В 2023–2024 гг. на Форуме «Россия» был собран и павильон, посвященный особенностям Донецкой Народной Республики (ДНР) как субъекта РФ с 2022 г. Имея мощный научно-технологический потенциал, сотрудники Донецкого государственного университета как ведущего вуза Центрального Донбасса [3–5], также приняли участие в подготовке материалов на ВДНХ (пять демонстрационных слайдов).

В связи с запросом оргкомитета Форума «Россия» на ВДНХ для составления иллюстративного материала об особенностях природного и ресурсного потенциала ДНР перед сотрудниками кафедры ботаники и экологии ДонГУ была поставлена задача предоставить наглядные сведения по наиболее значимым результатам научной деятельности, которые характеризуют специфику флористического богатства региона и спектр научно-технических разработок, связанных с использованием растений в разных прикладных аспектах. Поэтому в целевой программе настоящей публикации выделены фрагменты слайд-системы экспонирования ботанико-экологических разработок в Донбассе, имеющих авторскую принадлежность к профессорско-преподавательскому составу ДонГУ.

### **Материал и методы исследования**

За годы интеграции и реорганизации научно-образовательного кластера ДНР в информационно-аналитическое пространство и экономическую деятельность РФ на кафедре ботаники и экологии Донецкого государственного университета накоплен определенный опыт по экспонированию коллекций и результатов своих достижений на специализированных выставках и интерактивных виртуальных лабораториях [1, 7, 29, 30,

34], а также при обсуждении результатов на конференциях [6, 14, 22, 24] и в ретроспективно-аналитических публикациях [8, 9, 31, 36, 37].

Базовым для организации ботанико-экологических образовательных, научно-методических и просветительских проектов в ДонГУ с 2022 г. является выполнение инициативной государственной темы «Ботаника антропогенеза: индикация и оптимизация» [33], к выполнению которой за период с августа 2022 г. по май 2024 г. были приобщены 12 сотрудников, включая четырех аспирантов университета, и 46 студентов, проходящих специализацию на кафедре ботаники и экологии.

Весь спектр научных достижений, имеющих иллюстративную возможность для демонстрации результатов на слайд-систему, коллегиально был разделен на функциональные блоки: 1) биоразнообразие с методиками оценки и работы по видовому богатству мохообразных [1, 6, 7, 34, 35] и водорослей фитопланктона [25–27]; 2) полевые аэропалинологические экспертизы [22–24]; 3) геоботанические описания и фитотоксикологический анализ характерных для Донбасса эдафотопов – отвалов угольных шахт и нео-ландшафтов техногенной природы [1, 6, 12–18, 35]. Все системообразующие связи в получении информации о состоянии растений в тех или иных условиях положены в основу существующей программы экологического мониторинга в Донбассе – раздел фитомониторинга антропогенно трансформированной среды [6, 12, 18, 24, 27, 33, 37].

Местом концентрирования и сохранности артефактов, имеющих научное значение и используемых в качестве дидактического материала, является гербарий кафедры и ботанический музей Донецкого государственного университета, имеющие статус открытых объектов просветительского и образовательного назначения [8, 9, 29–31, 34, 36]. Альтернативными лабораторными системами сохранности являются брио-, альго- и палиотека НИР ДонГУ. Их успешное функционирование требует поддержания на постоянном уровне специфических санитарных параметров, несмотря на объективные осложнения в условиях военных действий. Использованы также методические разработки биофизического содержания [6, 20, 38, 40], медико-гигиенического [10, 11, 19, 42] и почвенно-экологического мониторинга [21, 39, 41], реализуемые в сопредельных для Центрального Донбасса регионах.

### Результаты и обсуждение

Изучение специфической для степной местности таксономической группы растений – мохообразных – в детальных маршрутных экспедициях, включающих как природно-заповедный фонд Донбасса, так и малоизученные территории промплощадок, свалок бытового мусора и мест интенсивного техногенеза, позволило за последние годы расширить список идентифицируемых видов на восемь новых позиций с добавлением *Dicranum fulvum* Hook., *Hamatocaulis vernicosus* (Mitt.) Hedenäs в четырех локалитетах, *Abietinella abietina* (Hedw.) M. Fleisch., *Grimmia pulvinata* (Hedw.) Sm. в трех локалитетах, *Didymodon fallax* (Hedwig) R. H. Zander и *Orthotrichum diaphanum* Brid. в двух локалитетах, *Mnium lycopodioides* Schwägr. и *Plagiomnium affine* (Blandow ex Funck) T. J. Кор. только в одном локалитете, подтвержденном с 2017 по 2023 гг. наблюдений. Из всех 62 видов этой группы растений 14 видов рекомендовано для включения в Красную книгу ДНР с целью охраны. По устойчивым видам бриофитов проводится идентификация геохимических загрязнений, выявление локальных аномалий концентрации токсичных веществ, что также имеет высокую востребованность в диагностическом направлении.

Представленные для ВДНХ слайды с мохообразными отражают как разнообразие внешних видов некоторых представителей на стадии спорофитов (что также диагностируется как успех репродуктивной системы при прохождении всех фаз жизненного цикла мохообразного даже в сложных климатических условиях степной зоны Донбасса), карту распределения численных значений по частоте встречаемости атипичных строений у мохообразных (рис. 1) и варианты жизненных форм некоторых представителей мохообразных в условиях интенсивного техногенеза и нарушенных местообитаний в результате ведения военных действий (рис. 2).

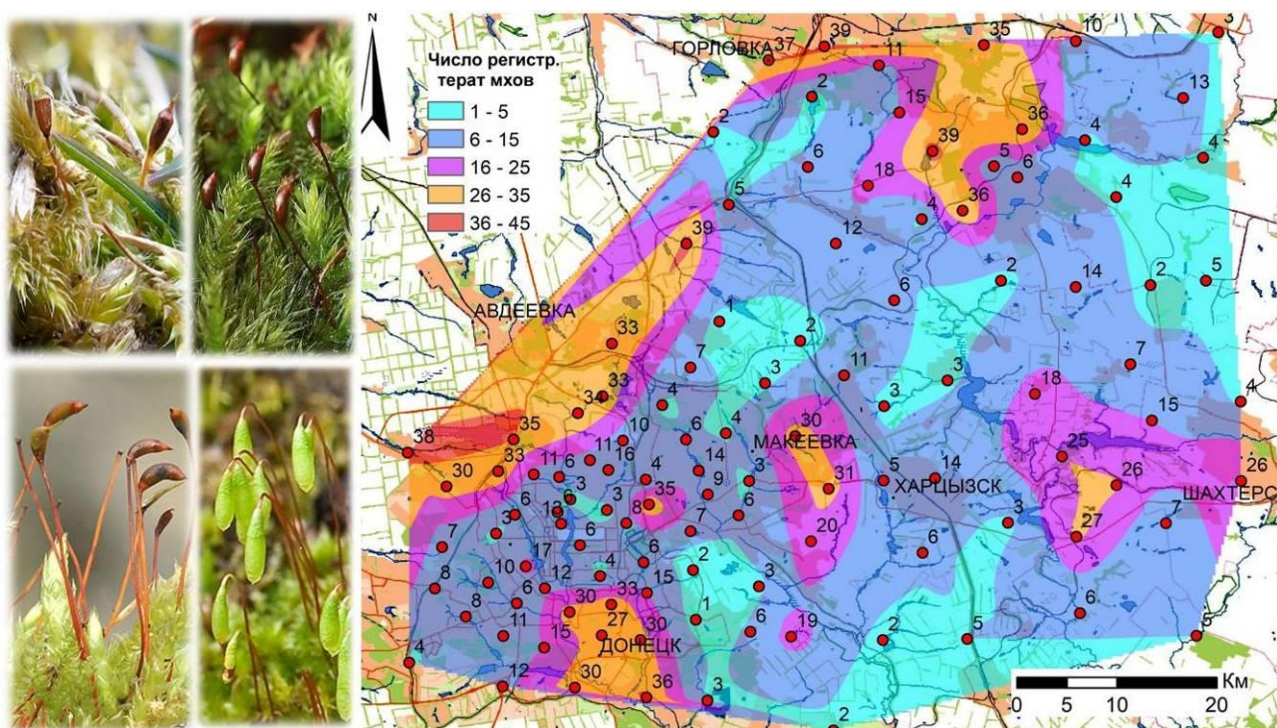


Рис. 1. Примеры спорофитов мохообразных (*Brachythecium albicans* (Hedw.) Bruch et al., *B. salebrosum* (F. Weber & D. Mohr) Bruch et al., (сверху) *B. velutinum* (Hedw.) Ignatov & Huttunen и *Bryum caespiticium* Hedw. – снизу) и картографическая визуализация частоты встречаемости тератных проявлений в этой таксономической группе растений на территории Центрального Донбасса



Рис. 2. Бриоразнообразие жизненных форм видов *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid, *Syntrichia ruralis* (Hedw.) F. Weber & Mohr (сверху) и *Bryum funckii* Schwaegr., *Funaria hygrometrica* Hedw. (снизу)

Оценка экосистем может быть проведена как в позднесеннее, зимнее, так и ранневесеннее время года, что для цветковых растений, наиболее изученных в аспекте экологической фитодиагностики, является затруднительным в силу отсутствия вегетации и формирования генеративных структур в эти сезоны. Это позволяет с помощью бриофитов организовать систему непрерывного мониторинга за состоянием экотопов в регионе. В

большинстве случаев для осеннего, зимнего и весеннего сезона характерны случаи пионерных проявлений в сукцессиях, начиная с эцезиса после взрывов, именно для мохообразных, что, безусловно, важно в анализе перспективных оптимизационных мероприятий для минимизации фактора полемостресса в Донбассе.

Водоросли фитопланктона открытых водоемов Донбасса – информативные индикаторы состояния экосистем. Анализ видов (рис. 3) позволяет ученым устанавливать степень загрязнения водоема органическими и неорганическими веществами, получать актуальные гидробиологические характеристики.

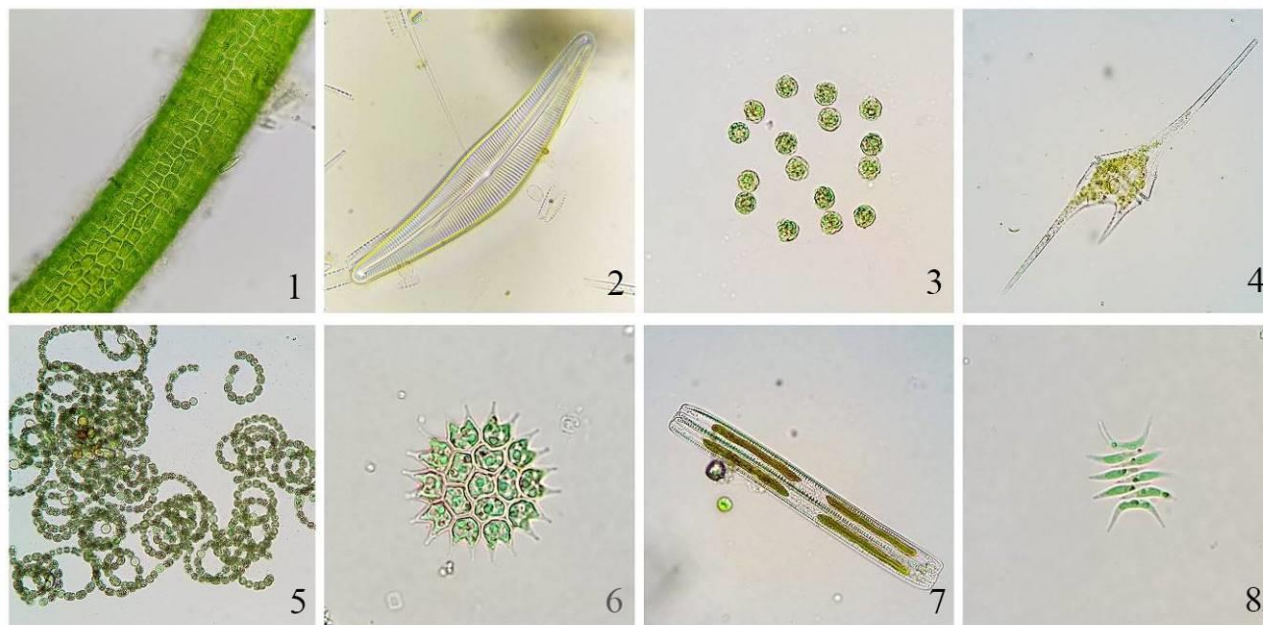


**Рис. 3. Виды, широко распространенные в водоемах Донбасса:**

- 1 – *Ulva prolifera* O. F. Müller; 2 – *Cymbopleura lata* var. *minor* (K. Mölder) Z. X. Shi;  
3 – *Sphaerocystis planctonica* (Korshikov) Bourrelly; 4 – *Ceratum hirundinella* (O. F. Müller) Dujardin;  
5 – *Dolichospermum spiroides* (Klebahn) Wacklin; 6 – *Pediastrum boryanum* (Turp.) Menegh;  
7 – *Nitzschia sigmoidea* (Nitzsch) W. Smith; 8 – *Tetrademus wisconsinensis* G. M. Smith

Биологический мониторинг водных объектов, основанный на анализе развития фитопланктона, сформирован на принципе приоритета количественных показателей микроводорослей водного объекта. Данные показатели являются основой для проведения комплексного исследования водоемов, которое включает определение индексов биологического разнообразия видового богатства, размерной структуры, доминирования, первичной продукции органического вещества, концентрации хлорофилла *a*, сапробности и сукцессии. Стоит дополнить, что правильная интерпретация полученных данных возможна только при проведении статистического анализа, так как для получения достоверных результатов и корректной формулировки выводов требуется обработка большого массива данных.

На кафедре ботаники и экологии ДонГУ проводится постоянный мониторинг состояния водных объектов Донбасса на основании развития микроводорослей (фитопланктона). Модельными объектами исследований являются пруды и водохранилища, расположенные на водосборном бассейне р. Кальмиус [25–27].

Список видов постоянно дополняется. На текущий момент бассейн р. Кальмиус включает более 473 видов и внутривидовых таксонов, которые по систематической структуре принадлежат к 8 отделам, 18 классам, 43 порядкам, 67 семействам и 107 родам. По видовому составу в фитопланктоне доминируют отделы Bacillariophyta (41 % от общего количества видов) и Chlorophyta (38 % от общего количества видов). Флористическое разнообразие фитопланктона бассейна р. Кальмиус сформировано за счет 67 семейств. По

числу встречаемости видов статистически значимыми определены только 17 семейств, которые совокупно сформировали 78 % всего разнообразия фитопланктона.

Таксономическое разнообразие формирует также и возможность наглядной демонстрации морфологических структур водорослей, позволяет не только проводить анализ жизненных форм, но и визуально привлекать к коллекционным сборам, что также является обоснованием для обязательного участия в слайд-системе ВДНХ и иллюстраций с водорослями. По статистике выбора тем научно-исследовательской работы альгологическое направление пользуется большей популярностью среди студентов-экологов биологического факультета на профильной кафедре ДонГУ.

Сравнительный анализ индексов биоразнообразия (Шеннона, Пиелу, Симпсона) для водоемов бассейна р. Кальмиус показал широкое варьирование индексов (от 0,10 до 4,26 бит/экз.). Максимальные показатели индексов изменялись в зависимости от сезона и типа водоема. Для Нижнекальмиусского и Старобешевского водохранилищ весенний период характеризовался формированием наиболее сложной структуры фитопланктона, для Городских прудов Донецка осенний период характеризовался высокой вариабельностью фитопланктона, при этом по соотношению индексов не идентифицировано доминирующей группы и наблюдается тенденция общей выровненности сообществ фитопланктона.

Комплексный биологический анализ позволил установить степень загрязнения исследуемых водоемов. Сезонное варьирование показателя сапробности от олиго- до полисапробной зоны, указывает, что в среднем уровень загрязнения органическими веществами находится на уровне  $\beta$ -мезосапробной зоны. Появление полисапробной зоны в водоемах в отдельные периоды свидетельствует о накоплении органических веществ и замедлении процессов самоочищения. Увеличенное количество  $\alpha$ -мезо- и полисапробных видов в Городских прудах свидетельствует о процессах стагнации, вызывая уменьшение концентрации кислорода, накопление аммиака и продуктов его окисления, что связано с поступлением высоких концентраций азотистых и фосфатных соединений. Старобешевское водохранилище характеризовалось уменьшенными концентрациями  $\alpha$ -мезо- и полисапробных видов (по сравнению с Нижнекальмиусским водохранилищем) в 5–15 раз соответственно. Эффект преобразования сапробных видов наблюдается вследствие использования водохранилища в системе технического водоснабжения Старобешевской ТЭС. Постоянный подогрев вод ускоряет миграционную способность минеральных веществ в водохранилище. Если водоемы определяются как умеренно или слабо загрязненные, то по способности к самоочищению они находятся на стадии обратимых изменений.

Подтверждено, что атмосферный воздух в современной городской агломерации включает значительное количество мелкодисперсных частиц природного и антропогенного происхождения (атмосферные аэрозоли). Наиболее опасный биотический компонент атмосферных аэрозолей – это пыльца высших растений, которая вызывает аллергические реакции у человека.

Объектом исследования служат пробы пыльцы видов древесных и травянистых растений как естественных формаций, так и используемых в озеленении городской среды.

Таким образом, в теме по изучению пылевых частиц воздуха затронута важная система планового озеленения территории промышленно напряженных городов, грамотного ведения ландшафтно-архитектурных мероприятий, ухода за газонами, обрезки и кронирования древесных насаждений. Сопряжение таких параметров выводит палинологические исследования на новый уровень ландшафтной диагностики, начиная со структурно-функциональных аспектов отдельных элементов мужского гаметофита растений-индикаторов.

Изучение пыльцы – палиноиндикация в Донбассе. Метод основан на учете количества и качества регистрируемой в воздухе пыльцы. Календарь цветения, пыления, идентификация аллергенных видов растений, проведение функционального экологического мониторинга [22–24] в регионе (рис. 4.)

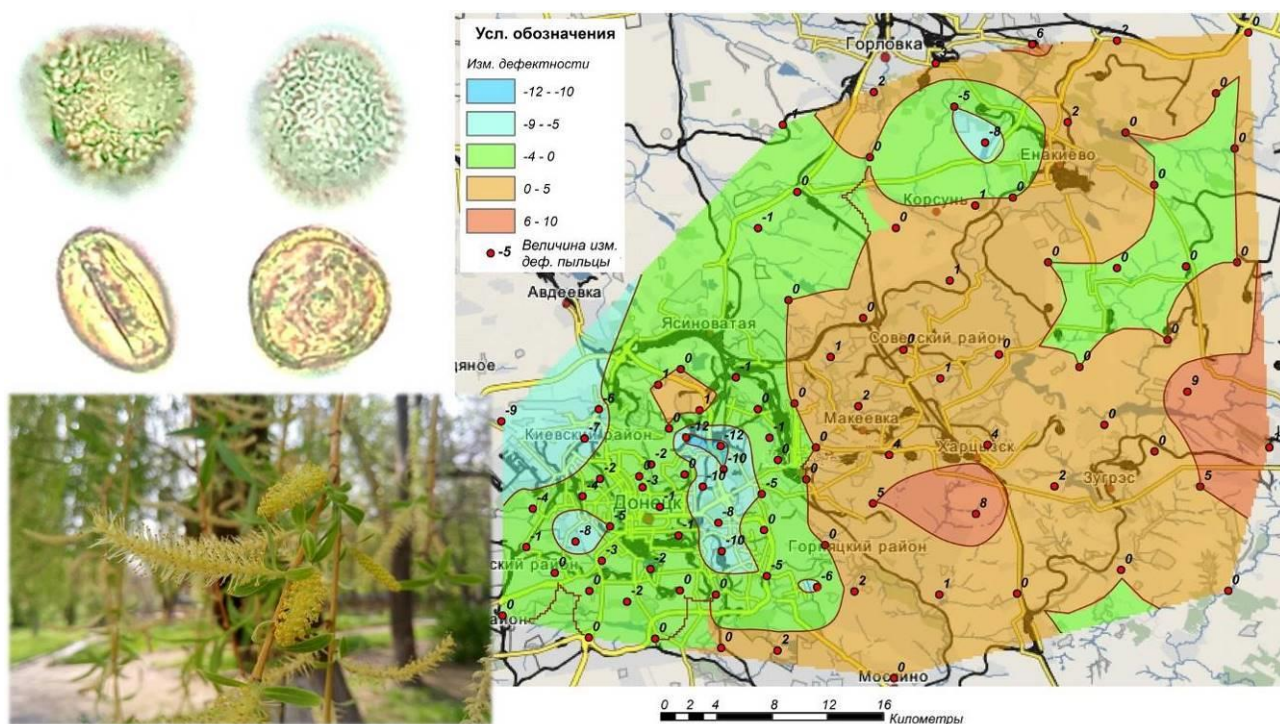


Рис. 4. Примеры объектов палинологических наблюдений (*Salix alba* L.) и результаты картографического анализа по распределению данных дефектных пыльцевых зерен в Центральном Донбассе

Проведенные исследования на территории Донецкой-Макеевской агломерации показывают преобладание пыльцы представителей сеgetальной флоры *Ambrosia artemisiifolia* L., *Cyclachaena xanthiifolia* (Nutt.), *Artemisia absinthium* L., которое характеризует постепенное повышение уровня антропогенной нагрузки на природные системы и, как следствие, следует ожидать повышенный уровень поллинозов у населения. Сеgetальные растения почти не встречается в одной группировке с *A. artemisiifolia*, что может свидетельствовать о сильном аллелопатическом влиянии каждого из этих растений, что не позволяет им образовать устойчивую группировку.

Выраженным агрессивным адвентом среди травянистых растений является *A. artemisiifolia*, классифицируемая как карантинный сорняк. В настоящее время он твердо закрепился в биоте Северного Причерноморья, а его стремительное распространение стало более заметным явлением. *A. artemisiifolia* колонизирует территории с различной антропогенной нагрузкой, включая техногенные экотопы, где практически отсутствует конкуренция со стороны местных видов, а также природные экотопы.

Уровень концентрации пыльцы *A. artemisiifolia* в атмосферном воздухе коррелирует с общей плотностью популяции, а его постепенное распространение сопровождается повышением уровня концентрации пыльцы в приземном воздухе. Известно, что при образовании густых зарослей в соцветиях преобладают тычиночные цветки, что приводит к снижению семенной продуктивности. Следовательно, с увеличением плотности популяции *A. artemisiifolia* увеличивается количество тычиночных цветков, что в свою очередь повышает концентрацию пыльцы в атмосфере в пределах этих местообитаний.

Степень жизнеспособности пыльцевых зерен оказывает влияние на стратегию выживания и плотность популяций. Для *A. artemisiifolia* степень фертильности часто связана с изменениями в морфологии пыльцевых зерен. В городских районах наблюдается высокая степень модификации экзины, включающая различные выросты, вмятины, скопления пор, разрушение и сглаживание скульптурных элементов, образование мозаичной структуры, появление нетипичных бугорков и трещин. Также часто наблюдается образование сросшихся пыльцевых конгломератов. При цитологическом анализе выявлены клетки с отсутствием цитоплазмы и ядра. Статус пыльцевых зерен определялся по показателю СДП – статусу

доминирующих палиноспектров (отношение количества зерен с дефектами к общему их количеству в поле зрения), выраженному в процентах.

Минимальный уровень палиноспектров наблюдается для пыльцы, собранной на пробных площадях рекреационных зон, в то время как максимальный уровень отмечается на перекрестках, обочинах и уличных коммуникациях г. Донецка. При анализе видоспецифичной реакции пыльцы отмечено, что уровень палиноспектров, вероятно, коррелирует с уровнем нарушенности среды обитания и связан с частотой встречаемости видов сорно-рудеральной фракции урбанofлоры г. Донецка. Например, отобранные образцы, расположенные в центральных районах города, характеризуются высоким количеством сильно поврежденных и разрушенных зерен, что указывает на антропогенное воздействие и высокую концентрацию тератной пыльцы.

Необходимо отметить, что многие пыльцевые зерна по своей структуре также характеризуются определенным эстетизмом и представлены на многих научных мероприятиях поляризованного характера. При возможном дальнейшем оснащении кафедры специализированным оборудованием по микроскопии и фотографированию, детализация структур пыльцы растений Донбасса также в перспективе может стать предметом экспонирования на выставках и более подробного установления характеристик растительных ресурсов и индикационных свойств индикаторов.

Изучение терриконов, терриконигов Донбасса является во многом брендовым аспектом краеведения. На сегодня проводятся фитотестирование техногенных грунтов, картографирование промышленно сформированных ландшафтов, разработки рекомендаций по успешному озеленению индустриальных ландшафтов в Донбассе (рис. 5).

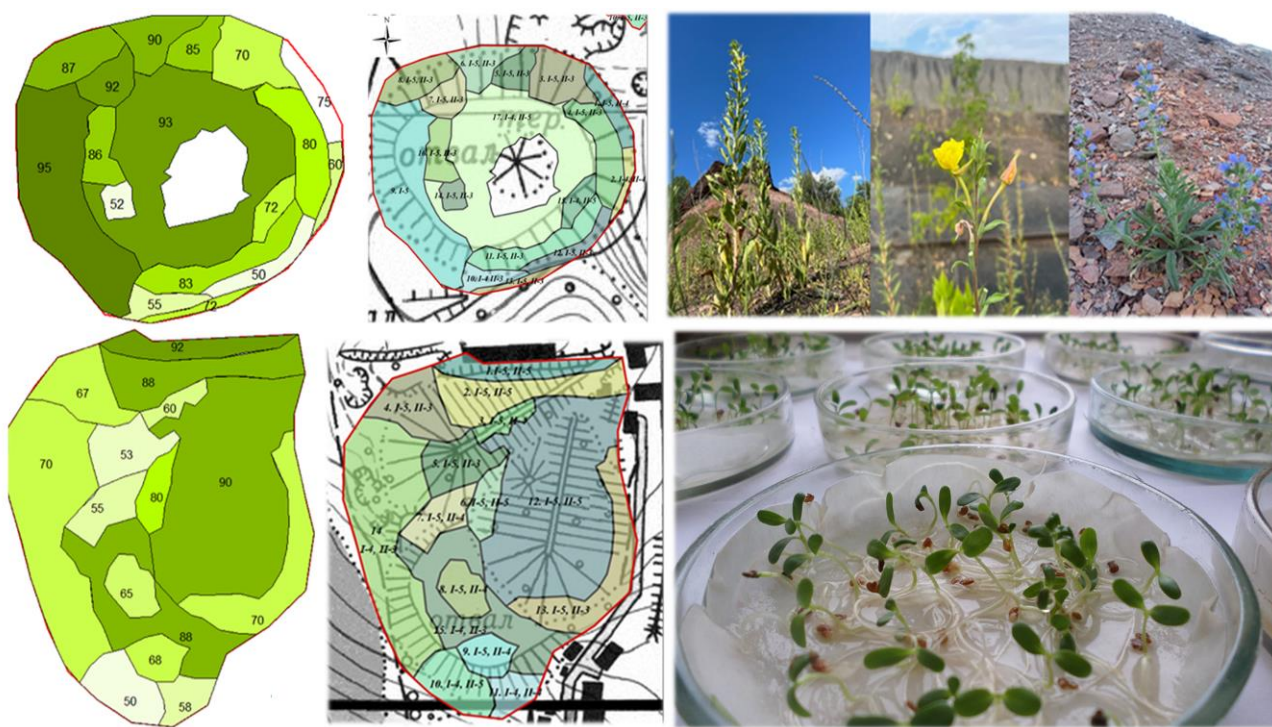


Рис. 5. Варианты геостратегической визуализации формирующихся фитоценозов на породных отвалах угольных шахт; ценопопуляции *Oenothera salicifolia* Desf. ex G. Don и *Echium vulgare* L. в условиях техногенных экотопов; фитотестирование с использованием *Medicago sativa* L.

Ландшафты индустриальных территорий Донбасса представляют собой сложную систему специфических местообитаний, которые не имеют природных аналогов [12, 18]. В таких условиях наблюдается трансформация и деградация растительных сообществ, которые являются частью региональной флоры и способны оказать негативное влияние на ее

естественное развитие [13, 15, 17]. Соответственно, изучение локальных флор антропогенно нарушенных территорий является актуальным научным направлением [14, 17].

Исследование трансформированных флор Донбасса сотрудниками биологического факультета ДонГУ осуществляется на протяжении десятилетий. Объектами исследования являются экотопы, подверженные различным типам антропогенной нагрузки. Особое внимание уделяется уникальным техногенным новообразованиям Донбасса – породным отвалам угольных шахт [12–18]. Исследование растительного покрова на отвалах позволяет выявить особенности процессов флорогенеза в специфических условиях, имеет большую практическую значимость, так как необходимо для разработки мероприятий по фиторекультивации. Работа является комплексным исследованием, которое включает изучение фитоценозов в антропогенно трансформированных экотопах и изучение ценопопуляций (ЦП) отдельных видов в сложившихся экстремальных условиях.

Во время исследований в этом аспекте использованы маршрутные и стационарные методы, общепринятые методы фитоценологии и геоботаники. Для выявления эколого-демографических характеристик ценопопуляций используются методы, разработанные в рамках популяционно-онтогенетического направления советскими и российскими учеными.

Исследованы фитоценозы породных отвалов г. Макеевки: отвалы № 1 и № 2 шахты «Калиновская-Восточная»; отвал шахты «Капитальная»; породный отвал, расположенный на территории ботанического заказника «Зорянская степь». Выявлено 74 вида, которые относятся к 64 родам, 24 семействам. Анализ спектра ведущих семейств не соответствует региональной флоре, отмечены изменения в распределении семейств и доле их участия. Установлены особенности формирования фитоценозов в ходе самозаращения и вследствие проведенной рекультивации, выполнена геостратегическая визуализация, выявлены параметры флористического разнообразия с помощью индексов разнообразия (см. рис. 5).

В рамках демографических исследований изучены ценопопуляции адвентивных и аборигенных видов, которые были сформированы в техногенных экотопах отвалов угольных шахт. Это популяции *Echium vulgare* L., *Berteroa incana* (L.) DC., *Melilotus officinalis* (L.) Pall, *Oberna behen* (L.) Ikonn., *Oenothera salicifolia* Desf. ex G. Don, *Oenothera biennis* L. Собранные данные об особенностях эколого-демографической структуры ценопопуляции, морфологической изменчивости видов в условиях произрастания на породных отвалах. Выявленные закономерности ценопопуляций исследованных видов свидетельствуют об адаптивной способности, способности к самоподдержанию ценопопуляции, их приспособленности к среде обитания в техногенно нарушенных экотопах.

Фитотестирование является неотъемлемым элементом экологического мониторинга, наиболее приемлемым методом изучения почв, демонстрирующим не только информацию о загрязнениях, но и о реакциях организмов на загрязнители и их сочетания. Были выполнены тестирования с использованием стандартных тест-культур, таких как *Lepidium sativum* L., а также с видами из местной флоры: *Medicago sativa* L. и *Berteroa incana* (L.) DC. В ходе экспериментов установлены такие чувствительные тест-функции и тест-отклики, как всхожесть, длина корешков проростка, наличие морфологических отклонений проростков.

В ходе проведенных мониторинговых исследований на некоторых породных отвалах угольных шахт г. Макеевки изучены особенности растительных сообществ, которые сформированы в техногенных экотопах после проведения фиторекультивационных мероприятий, а также образованные в результате самозаращения. Подтвержден факт о благотворном влиянии на самозаращение техногенных экотопов в зависимости от близости природных участков растительности с богатым видовым разнообразием. Выявлены особенности ценопопуляции отдельных видов, которые демонстрируют высокую адаптивную способность, способность к самоподдержанию ценопопуляции и приспособленность к среде обитания в условиях экстремальных экотопов отвалов угольных шахт, что позволяет рекомендовать их в качестве видов для рекультивации.

Таким образом, от коллектива сотрудников и студентов кафедры ботаники и экологии ДонГУ в 2024 г. на ВДНХ была представлена серия пяти слайд-систем, характеризующих

специфику Донецкой Народной Республики по некоторым аспектам флористического и прикладного ботанического исследования.

### Выводы

Результаты НИР кафедры ботаники и экологии ДонГУ являются комплексом данных иллюстративно-демонстрационного содержания, которые были представлены в общей презентации Донецкого государственного университета для слайд-системы ВДНХ на Форуме «Россия» в 2024 г. в павильоне, посвященном функционированию и деятельности Донецкой Народной Республики в составе Российской Федерации.

Разнообразие растительных ресурсов и сфер их применения в Донбассе велико. Особое место в разработках профессорско-преподавательского состава и студентов ДонГУ занимает направление параметрической диагностики природных систем: отдельно представлены объекты для оценки качества (дифференциальной квантификации) воздушной, водной и почвенной сред. В научных направлениях реализуется программа аутфитоиндикационных данных, проведения гидробиологического, палинологического, ценопопуляционного анализа, результатов фитотестирования субстратов и картографирования полученных сведений.

Предложенная система комплексного мониторинга включает таксономический, демографический и структурно-функциональный аспекты, на основании которых получают данные, требующие картографического анализа и плоскостной визуализации для понимания негативных или конструктивных тенденций в развитии локальных экосистем Донбасса.

Работа выполнена в рамках инициативной научной темы кафедры ботаники и экологии Донецкого государственного университета «Ботаника антропогенеза: индикация и оптимизация», № 0122D000085 без финансирования сторонними организациями, а также в рамках молодежной лаборатории «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно-трансформированных экосистем Донбасса» (№ госрегистрации НИОКТР 1023110700153-4-1.6.19;1.6.11;1.6.12).

### Список литературы

1. Авраимова Т. В., Сафонов А. И. Экологические разработки в Донбассе: библиографический учет и популяризация научных исследований // Научные и технические библиотеки. 2023. № 3. С. 30–42. DOI : 10.33186/1027-3689-2023-3-30-42. EDN : BLUFHQ.
2. Алексушин Г. В., Шаронова Ю. А. История «Выставки достижений народного хозяйства» в Москве // Перспективы развития современных социально-экономических процессов : сб. науч. тр. по матер. XXVII Междунар. науч.-практ. конф. (Анапа, 21 апреля 2022 г.). Анапа : ООО «Научно-исследовательский центр экономических и социальных процессов» в Южном Федеральном округе, 2022. С. 10–14. EDN : UKGXZJ.
3. Бабурин С. Н. Цивилизационная эффективность суверенитета Русского Донбасса // Журнал исторических, политологических и международных исследований. 2022. № 4 (83). С. 146–157. EDN : UTQKEL.
4. Бабурин С. Н. Ценностный аспект государственного суверенитета русского Донбасса // Уральский форум конституционалистов : матер. Уральского Форума. Екатеринбург : УрГЮУ, 2023. С. 21–27. EDN : JJSUCO.
5. Беспалова С. В. Концепция развития Донецкого национального университета как научно-образовательного и инновационного кластера Донбасса // Донецкие чтения 2016. Образование, наука и вызовы современности. Донецк : ЮФУ, 2016. С. 5–16. EDN : YRZZQD.
6. Беспалова С. В., Горецкий О. С., Рева М. В., Прокопенко Е. В., Сафонов А. И. Аспекты изучения биоразнообразия в Центральном Донбассе: инвентаризация, оценка природных сред, регистрация антропогенных трансформаций // Степная Евразия – устойчивое развитие : сб. Междунар. форума. Ростов-на-Дону : ЮФУ, 2022. С. 179–181. EDN : LUJGKG.

7. Бондарь Е. Н. Мохообразные Донбасса как объект выставочной работы // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет». 2023. Т. 1, № 15. С. 29–33. EDN : CVEDQF.
8. Горецкий О. С., Столярова Т. П., Сафонов А. И. К 100-летию основателя Донецкого ботанического сада М. Л. Ревы (1922–1996) // Историко-биологические исследования. 2023. Т. 15, № 1. С. 187–204. DOI : 10.24412/2076-8176-2023-1-187-204. EDN : CHZGFD.
9. Горецкий О. С., Столярова Т. П., Сафонов А. И. К 115-летию выдающегося биолога Федора Львовича Щепотьева (1906–2000) // Историко-биологические исследования. 2021. Т. 13, № 4. С. 169–183. DOI : 10.24412/2076-8176-2021-4-169-183. EDN : ZUJVDA.
10. Епринцев С. А., Клевцова М. А., Калаев В. Н., Шекоян С. В. Мониторинг состояния биотехносферы урбанизированных территорий (на примере города Воронежа) как фактора экологической безопасности населения // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2017. № 1. С. 126–132. EDN : YKOJNJ.
11. Епринцев С. А., Клепиков О. В., Шекоян С. В. Мониторинг социально-экологических условий как механизм обеспечения безопасности населения // Наука Юга России. 2021. Т. 17, № 1. С. 74–83. DOI : 10.7868/S25000640210107. EDN : YMIEVB.
12. Калинина А. В. Диагностика эдафотопов некоторых отвалов угольных шахт г. Макеевки методами фитотестирования // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2019. № 1–2. С. 6–12. EDN : OJDSTP.
13. Калинина А. В. Динамика фиторазнообразия сообществ породного отвала шахты «Капитальная» г. Макеевки // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2021. № 3–4. С. 19–23. EDN : RKHALE.
14. Калинина А. В. Альфа-разнообразие некоторых фитоценозов нерекультивированного породного отвала шахты Калиновская-Восточная г. Макеевки // Проблемы трансформации естественных ландшафтов в результате антропогенной деятельности и пути их решения : сб. Междунар. науч. конф. Краснодар : КубГАУ, 2021. С. 694–696. EDN : VXCQNE.
15. Калинина А. В. Изменчивость морфометрических параметров *Oenothera depressa* Greene в ценопопуляциях трансформированных экотопов г. Макеевки // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2022. № 3–4. С. 16–20. EDN : DEKIUI.
16. Калинина А. В. Состояние ценопопуляций видов рода *Oenothera* L. в трансформированных экотопах Донбасса // Лесохозяйственная информация. 2022. № 3. С. 135–144. DOI : 10.24419/LHI.2304-3083.2022.3.12. EDN : ZROQMW.
17. Калинина А. В. Таксономический и эколого-ценотический анализ раннецветущих растений некоторых трансформированных экотопов Донецко-Макеевской агломерации // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2023. № 1–2. С. 23–28. EDN : SVIYEG.
18. Калинина А. В., Гермонова Е. А. Геостратегическая визуализация фитоценозов породных отвалов угольных шахт г. Макеевки в условиях самозарастания и рекультивации // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2018. № 3–4. С. 28–34. EDN : KDDDDQU.
19. Клепиков О. В., Епринцев С. А., Шекоян С. В. Анализ данных социальногигиенического мониторинга регионов России, определяющих эколого-гигиеническую безопасность населения // Санитарный врач. 2020. № 1. С. 60–66. DOI : 10.33920/med-08-2001-08. EDN : GCUFZF.
20. Кольченко О. Р., Корниенко В. О. Методический подход к оценке флуктуирующей асимметрии клена остролистного (*Acer platanoides* L.) в условиях г. Донецка // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. 2019. № 1. С. 107–114. EDN : AMCDXQ.
21. Минникова Т. В., Колесников С. И., Минин Н. С. Интегральная фитотоксичность нефтезагрязненного чернозема после ремедиации биочаром и бактериальным препаратом //

Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2024. Т. 335, № 5. С. 95–106. DOI : 10.18799/24131830/2024/5/4337. EDN : KGCWVB.

22. Мирненко Н. С. Формирование базы пыльцы растений техногенных экотопов г. Донецка // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов : сб. матер. науч. конф. Донецк : ДонНТУ, 2022. С. 41–42. EDN : FBUKAP.

23. Мирненко Н. С. Качество пыльцевых зерен *Populus alba* L. на пробных площадках г. Донецка // Экология родного края: проблемы и пути их решения : матер. Всерос. науч. конф. Киров : ВятГУ, 2023 а. С. 315–318. EDN : RIYNOL.

24. Мирненко Н. С. Оценка состояния пыльцы цветковых растений агломерации г. Донецка // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов : сб. матер. науч. конф. Донецк : ДонНТУ, 2023 б. С. 41–42. EDN : UJGRUE.

25. Мирненко Э. И. Таксономическое разнообразие фитопланктона реки Кальмиус и водохранилищ, расположенных на ней // Трансформация экосистем. 2022. Т. 5, № 2 (16). С. 63–73. DOI : 10.23859/estr-220204. EDN : KANIXE.

26. Мирненко Э. И. Семейство Hydrodictyaceae в водоемах Донбасса // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2023 а. № 1–2. С. 35–40. EDN : CSAYCZ.

27. Мирненко Э. И. Диатомовый анализ водохранилищ, расположенных на р. Кальмиус // Самарский научный вестник. 2023 б. Т. 12, № 1. С. 82–86. DOI : 10.55355/snv2023121112. EDN : OHMYXM.

28. Монахов Д. Е. Посещение международной выставки-форума «Россия» как компонент патриотического воспитания обучающихся // Мировые научные дискуссии в эпоху цифровизации: от теории к практике : матер. Междунар. науч. конф. Рязань : Концепция, 2023. С. 86–88. EDN : GVCGGD.

29. Палагуца А. П. Экспозиции научных разработок кафедры ботаники и экологии ДонГУ на международном форуме 2023 // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет». 2024. Т. 1, № 16. С. 128–132. EDN : XHQZMH.

30. Петкогло О. В., Сафонов А. И. Научный ресурс ботанического музея в Донецке // Донецкие чтения 2016. Образование, наука и вызовы современности. Донецк : ЮФУ, 2016. С. 139–140. EDN : WCLWCT.

31. Петкогло О. В., Сафонов А. И. Ретроспективный анализ интерьерной и ландшафтной фитооптимизации промышленной среды (к 100-летию профессора М. Л. Ревы) // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. 2022. № 3. С. 72–79. EDN : GTDLEL.

32. Сапелин А. Ю., Махрова Т. Г. О перспективах использования дендрологической коллекции ВДНХ в образовательном процессе обучающихся по направлениям подготовки «Лесное дело» и «Ландшафтная архитектура» // Проблемы озеленения крупных городов : сб. науч.-практ. форума. М. : ООО «ИНТЕК», 2023. С. 193–200. EDN : SQNTEA.

33. Сафонов А. И. Опорные разработки в рамках тематического направления по ботанике антропогенеза (2022 г.) // Донецкие чтения 2022: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : матер. Междунар. конф. Донецк : ДонНУ, 2022. С. 113. EDN : ZSZAOG.

34. Сафонов А. И. Экспозиции редких растений на кафедре ботаники и экологии Донецкого государственного университета // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2023. № 4. С. 18–33. EDN : QQCBET.

35. Сафонов А. И., Гермонова Е. А. Макромаркеры ландшафтных трансформаций в Донбассе: анализ картографического материала // Вестник Донецкого национального университета. Серия А : Естественные науки. 2023. № 4. С. 68–75. EDN : NSSBBY.

36. Чунаева Н. В. Гербарий кафедры ботаники и экологии ДонГУ как источник климатических данных в Донбассе с 1965 года // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет». 2024. Т. 1, № 16. С. 170–174. EDN : KGZAPH.

37. *Glukhov A. Z., Safonov A. I.* Phytomonitoring concept for anthropogenically disturbed regions // Scientific research of the SCO countries: synergy and integration. Beijing. 2024. P. 96–104. DOI : 10.34660/INF.2024.87.72.160. EDN : WLKXRD.

38. *Kharchenko N. N., Kalaev V. N., Kornienko V. O.* Mechanical resistance of *Quercus robur* L. at the environmental boundary of the species distribution in the steppe // IOP Conference Series : Earth and Environmental Science. 2021. P. 12049. DOI : 10.1088/1755-1315/875/1/012049. EDN : HNQTEI.

39. *Kolesnikov S. I., Evstegneeva N. A., Minnikova T. V., Timoshenko A. N., Tsepina N. I., Kazeev K. S.* Assessment of ecotoxicity of tellurium in soils of contrasting properties // Emerging Contaminants. 2024. Vol. 10, No. 3. P. 100334. DOI : 10.1016/j.emcon.2024.100334. EDN : IZAVAJ.

40. *Korniyenko V. O., Kalaev V. N.* Impact of natural climate factors on mechanical stability and failure rate in silver birch trees in the city of Donetsk // Contemporary Problems of Ecology. 2022. Vol. 15, No. 7. P. 806–816. DOI : 10.1134/s1995425522070150. EDN : EUVZMY.

41. *Ruseva A. S., Minnikova T. V., Kolesnikov S. I., Trufanov D. A., Minin N. S., Revina S. Yu., Gaivoronsky V. G.* Assessment of the ecological state of haplic chernozem contaminated by oil, fuel oil and gasoline after remediation // Petroleum Research. 2024. Vol. 9, No. 1. P. 155–164. DOI : 10.1016/j.ptlrs.2023.03.002. EDN : JQAJLY.

42. *Yeprintsev S. A., Kurolap S. A., Komov I. V., Minnikov I. V. Y.* Monitoring of factors of ecological safety of urbanized territories' population (by example of settlements of Voronezh region) // Life Science Journal. 2013. Vol. 10, No. 12s. P. 846–848. EDN : UZUSAB.

**Safonov A. I., Mirnenko E. I., Mirnenko N. S., Kalinina A. V., Kalinina Yu. S., Palaguta A. P.** Exhibition material from the Department of Botany and Ecology of Donetsk State University for the presentation of the DPR at the Exhibition of Achievements of the National Economy forum «Russia» in 2024. – A description and justification are given for fragments of illustrative material provided by the Department of Botany and Ecology of Donetsk State University for exhibiting at the Exhibition of National Economic Achievements (Moscow) within the framework of the «Russia» forum about the Donetsk People's Republic as a subject of the Russian Federation. The materials reflect the main scientific developments of the department in the areas of environmental botany, monitoring of natural environments, assessment of the quality of ecosystems, and the level of disturbance of ecotopes. The information program of the presented material emphasizes the uniqueness of the flora and the richness of species diversity in modern Donbass.

**Key words:** Donbass, Exhibition of Achievements of the National Economy, Department of Botany and Ecology of Donetsk State University, expositions, botanical and environmental research, exhibition of scientific developments.

УДК 595.799: 591.563

© А. В. Амолин

**К ИЗУЧЕНИЮ СТАЦИЙ ГНЕЗДОВАНИЯ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ПЧЕЛ  
(HYMENOPTERA: APOIDEA: APIFORMES) НА ТЕРРИТОРИИ ДОНБАССА**

*ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»*

*Россия, 283050, ДНР, г. Донецк, ул. Щорса, 46*

*a.amolin@mail.ru*

**Амолин А. В. К изучению стаций гнездования некоторых видов пчел (Hymenoptera: Apoidea, Apiformes) на территории Донбасса.** – В статье приведены сведения о стациях гнездования 12 видов роющих пчел. Описание стаций гнездования было проведено на территории Донбасса и включает: механический состав почвы, угол наклона поверхности гнездования, степень агрегированности гнезд (плотность гнезд на единицу площади), проективное покрытие растительности в месте гнездования. Для сохранения роющих видов пчел необходимо в местах компактного их гнездования создавать энтомологические заказники с полным запретом вытаптывания и сенокошения.

*Ключевые слова:* роющие пчелы, стации гнездования, Донбасс.

**Введение**

Изучение гнездовых стаций гнездостроящих видов пчел является неотъемлемым компонентом при исследовании их ландшафтно-биотопического распределения в современных ландшафтах. Подобные исследования необходимы для более точной характеристики местообитаний вида, что дает возможность разрабатывать реальные меры охраны многих редких и важных в практическом значении (опылители) видов пчел. Кроме того, на основе данных о местах гнездования в естественных условиях важнейших опылителей и исчезающих видов, можно создавать условия для их искусственного разведения.

Описание гнездовых стаций пчел с разной степенью полноты приводится большей частью в работах, посвященных изучению строения гнезд отдельных видов. Из числа русскоязычных работ, содержащих относительно полные описания гнездовых стаций некоторых видов пчел, самостоятельно выкапывающих гнездовой ход в почве, следует отметить работы Н. Н. Благовещенской [5], В. Г. Радченко [10, 11], А. А. Ситдикова [12], Л. М. Поповой [9], Л. В. Голубничей, П. Г. Москаленко [6], С. П. Иванова [7, 8].

Основная цель данной работы – дать характеристику гнездовых стаций 12 изученных роющих видов пчел в пределах Донбасса.

Ранее автором уже были опубликованы сведения по описанию стаций гнездования целого ряда видов пчел [1–3].

**Материал и методы исследований**

Исследования проводили в период с 1995 по 2023 гг. Основным методом исследований был поиск гнезд изучаемых видов в различных ландшафтах Донбасса, с последующим описанием гнездовых участков. При характеристике гнездовых стаций, прежде всего, учитывали экологию гнездования изучаемых видов. Например, для роющих геобионтов особое внимание уделяли механическому составу почвы, определению угла наклона поверхности гнездования, степени агрегированности гнезд (плотности гнезд на единицу площади), проективного покрытия растительности в месте гнездования. Для видов строящих свободные гнезда, очень важными характеристиками являются: место прикрепления гнезда, освещенность гнездового участка в течение дневной части суток, качественный состав гнездостроительного материала. Для видов строящих гнезда в полых сухих стеблях растений, или в стеблях с мягкой сердцевинкой, важными признаками, характеризующими их

гнездовые станции, являются: пространственная ориентация стеблей растений, в которых отмечены их гнезда, высота расположения гнезда от поверхности земли (определение яруса в растительном покрове), видовая принадлежность растений, в стеблях которых обнаружены гнезда. Под поверхностью гнездования понимали участок плоского твердого субстрата, на котором, или в котором строится гнездо.

Названия видов приведены в соответствии с «Аннотированным каталогом перепончатокрылых насекомых России» [4].

### Результаты и обсуждение

Ниже приводим характеристику гнездовых станций для 12 изученных видов роющих видов пчел.

#### 1. *Andrena (Melandrena) vaga* Panzer, 1799

Данный вид находили в пойме Северского Донца, а также локально – в РЛП «Клебан-Бык» (окр. г. Константиновки). По-видимому, псаммобионт, приуроченный к песчаным почвам. В пойме Северского Донца гнездование отмечали на хорошо освещенных лесных полянах в прирусловой части поймы. Гнезда в виде небольших компактных гнездовых агрегаций (в среднем, площадь обнаруженных гнездовых агрегаций составила около 3 м<sup>2</sup>), размещались на горизонтальных участках в песчаной почве, практически полностью лишенной травостоя. В РЛП «Клебан-Бык» вид приурочен к псаммофитным участкам степи.

#### 2. *Andrena (Andrena) varians* (Kirby, 1802)

Гнездование этого вида отмечали на приусадебном участке в черте г. Донецка. Обнаруженная нами станция гнездования в целом соответствовала описанию места гнездования этого вида, приведенного В. Г. Радченко [11]. Гнезда размещались одиночно, возле плодовых деревьев и ягодных кустарников (крыжовник), на затененных горизонтальных участках, в уплотненной тяжелосуглинистой почве с развитым травостоем (проективное покрытие 60 %).

#### 3. *Andrena (Poecilandrena) potentille* Panzer, 1809

На изучаемой территории локальный вид, отмеченный в степных биотопах и в старых песчаных карьерах в Ясиноватском районе ДНР. Гнезда находили в песчаном карьере в окр. г. Ясиноватая. Гнездовая станция вида – хорошо освещенная, горизонтальная и слабонаклонная поверхность с песчаной почвой, лишенная растительного покрова. Гнезда размещались компактной агрегацией (общая площадь гнездовой агрегации чуть более 2 м<sup>2</sup>) на окраине заброшенного песчаного карьера.

#### 4. *Halictus (Halictus) quadricinctus* (Fabricius, 1776)

Широко распространенный на изучаемой территории вид, отмеченный нами в открытых степных биотопах. Гнездовые станции вида отмечали в г. Донецке и г. Мариуполе. В первом случае небольшая агрегация гнезд (общая площадь гнездовой агрегации составила около 2,5 м<sup>2</sup>) размещалась на склоне искусственного земляного холма южной экспозиции. Гнезда располагались на хорошо освещенных и открытых участках холма, с разреженным травостоем (проективное покрытие – не более 30 %), в плотной суглинистой почве между куртинами пырея и ковыля. Угол наклона поверхности гнездования составил приблизительно 40 °. На 1 м<sup>2</sup> было до 15 гнезд. Во втором случае, также небольшая агрегация гнезд данного вида была обнаружена на крутом склоне (угол наклона около 60 °), в плотно утрамбованной глинисто-песчаной почве (тропинка на склоне).

#### 5. *Halictus (Hexataenites) sexcinctus* (Fabricius, 1775)

По-видимому, достаточно обычный, на изучаемой территории, вид. Крупная агрегация гнезд этого вида была обнаружена нами в 2006 г. на надпойменной песчаной террасе Северского Донца, в окр. пгт. Станично-Луганское (ЛНР). Гнезда располагались на южной стороне хорошо освещенного участка песчаного вала (угол наклона поверхности гнездования составил около 45 °) в сосновом лесу. Общая площадь гнездовой агрегации составила около 8 м<sup>2</sup>.

### 6. *Lasioglossum (Evylaeus) calceatum* (Scopoli, 1763)

Один из широко распространенных и обычных, на изучаемой территории, видов данного рода. Гнезда находили на плотных суглинистых почвах, на открытых степных участках (степные склоны в долинах небольших рек, склоны степных балок), часто в комплексе с другими видами этого рода. Гнездовые станции представляют горизонтальные или слабонаклонные поверхности с развитым или с разреженным травостоем, вплоть до полностью лишенных травостоя участков (колеи проселочных дорог) (рис. 1, А–В).



А



Б



В



Г

Рис. 1. Агрегации гнезд *Evylaeus calceatus* (окр. г. Донецка):

А – участок с хорошо развитым травостоем; Б – участок проселочной дороги, лишенный травостоя; В – общий вид гнездовой станции в долине речки Богодуховка; Г – гнездовая башня, обрамляющая вход в гнездо (фото автора)

### 7. *Lasioglossum (Evylaeu) malachurum* (Kirby, 1802)

Гнездовые станции вида – горизонтальные или наклонные поверхности, с плотными суглинистыми почвами, лишенные растительного покрова (днища глинистых карьеров, проселочные дороги). Гнездовые холмики кратеровидного типа (рис. 2, А).

### 8. *Nomioides (Nomioides) minutissimus* (Rossi, 1790)

На изучаемой территории вид отмечали в долинах небольших рек, заброшенных песчаных карьерах, возле терриконов. Локально многочисленен. Гнезда находили в заброшенных песчаных карьерах. В частности, в окр. с. Васильевка (Ясиноватский р-н, ДНР) гнездовая станция вида представляла собой дно неглубокого (глубина около 2,5 м) песчаного карьера, расположенного на открытом степном склоне возле байрачного леса. Гнезда в виде

гнездовой агрегации размещались на горизонтальном участке с разреженным травостоем (проективное покрытие 10–20 %) в песчаной почве.

**9. *Nomiapis bispinosa* (Brullé, 1832)**

На изучаемой территории редкий вид, отмеченный нами на участках псаммофитных степей в пределах Азовского побережья. Компактная гнездовая агрегация вида обнаружена на берегу Азовского моря в 2 км западнее г. Новоазовска. Гнездовая станция представляла собой горизонтальный участок псаммофитной степи в 40 м от уреза воды, с разреженной растительностью и уплотненной песчаной почвой.

**10. *Nomiapis diversipes* (Latreille, 1806)**

На изучаемой территории широко распространенный и обычный вид. Встречается в открытых степных биотопах (склоны степных балок). В окр. с. Дроновка (ДНР) гнезда этого вида находили в супесчаной почве на степном склоне в долине Северского Донца (рис. 2, Б).



А



Б

**Рис. 2. Гнезда *Lasioglossum malachurum* (А) и *Nomiapis diversipes* (Б)**  
(фото автора)

### 11. *Dasydoda hirtipes* (Fabricius, 1793)

В Донбассе один из самых обычных видов данного рода. Псаммобионт. На изучаемой территории вид приурочен к надпойменным песчаным террасам рек, выходам песка в зональных степных ландшафтах, а также к песчаным косам на побережье Азовского моря. Гнезда находили в виде компактных гнездовых агрегаций на деградированных участках псаммофитных степей, возле песчаных карьеров – в окр. г. Донецка, на надпойменной песчаной террасе Северского Донца, на участках псаммофитной степи в РЛП «Клебан-Бык», в отделениях «Придонцовская пойма» и «Трёхизбенская степь» Луганского природного заповедника. Гнездовые станции вида представляют собой горизонтальные или слабонаклонные поверхности, с разреженным травостоем и песчаной почвой (рис. 3).



А



Б

Рис. 3. Гнездовая станция *Dasydoda altercator* в окр. с. Дроновка (левый берег Северского Донца):

А – общий вид агрегации гнезд; Б – отдельный гнездовой холмик с входом в гнездо

(фото Ю. В. Проценко)

### 12. *Dasydoda spinigera* Kohl, 1905

На изучаемой территории редкий вид, отмеченный нами на слаботрансформированных участках псаммофитной степи в отделении «Трёхизбенская степь» Луганского природного заповедника. Гнездовые станции вида представляют собой горизонтальные или слабонаклонные, хорошо освещенные участки с разреженным травостоем и песчаной почвой.

Для сохранения роющих видов пчел, включая важнейших опылителей сельскохозяйственных культур, необходимо в местах компактного гнездования пчел создавать энтомологические заказники с полным запретом вытаптывания и сенокошения.

В состав таких заказников желательно также включать заброшенные песчаные и глиняные карьеры, служащие местом гнездования целого ряда видов пчел, например, *Lasioglossum malachurum*, *Dasydoda hirtipes*, *Nomioides minutissimus*.

Важно также на законодательном уровне определить население всех видов диких пчел как важнейшего биологического ресурса, определяющего продовольственную безопасность государства.

Данная работа выполнена в соответствии с планом научно-исследовательской работы кафедры зоологии и экологии Донецкого государственного университета «Биологическое разнообразие беспозвоночных и позвоночных животных Донбасса и проблемы его сохранения» (№ государственного учета 0122D000035).

### Список литературы

1. Амолин А. В. Изучение гнездовых стаций пчел *Xylocopa valga* и *Ceratina chalybea* на юго-востоке Украины // Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету. 2014. № 1 (33). С. 82–86.
2. Амолин А. В. К изучению ландшафтно-биотопического распределения пчел семейства Colletidae (Hymenoptera: Apoidea) в Донбассе // Эверсманния. 2018. Вып. 54. С. 43–48.
3. Амолин А. В. К изучению экологии и брачного поведения четырех гнездостроящих видов пчел (Hymenoptera: Apoidea: Apiformes) в Донбассе // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2018. № 1–2. С. 51–62.
4. Аннотированный каталог перепончатокрылых насекомых России. Т. I. Сидячебрюхие (Symphyta) и Жалоносные (Aprocrita : Aculeata) / Под общ. ред. С. А. Белокобыльский, А. С. Лелей. СПб. : ЗИН РАН, 2017. 475 с.
5. Благовещенская Н. Н. Гнездование мохноногих пчел *Dasypoda plumipes* Pz. (Hymenoptera, Melittidae) в Ульяновской области // Энтومол. обозрение. 1955. Т. XXXIV. С. 157–163.
6. Голубничая Л. В., Москаленко П. Г. Особенности биологии пчелы *Halictus zonulus* Smith (Hymenoptera, Halictidae) // Энтومол. обозрение. 1991. Т. LXX. С. 361–365.
7. Иванов С. П., Филатов М. А. Строение ячеек гнезд диких пчел *Megachile albisecta*, *Hoplitis mocsaryi* и *Osmia tergestensis* (Hymenoptera: Apoidea: Megachilidae) // Известия Харьковского энтومол. общества. 2007 (2008). Т. XV, вып. 1–2. С. 109–116.
8. Иванов С. П., Филатов М. А., Фатерыга А. В. Сведения о гнездовании пчел (Hymenoptera: Apoidea) на заповедных территориях Крыма // Заповедники Крыма. Биоразнообразие и охрана природы в Азово-Черноморском регионе : Матер. VI Междунар. науч.-практ. конф. (Симферополь, 20–22 октября 2011 г.). Симферополь, 2011. С. 281–286.
9. Попова Л. М. Гнездование некоторых видов пчел-антофорид (Hymenoptera, Anthophoridae) в Среднем Поволжье // Энтومол. обозрение. 1990. Т. LXIX, 1. С. 23–35.
10. Радченко В. Г. Гнездование пчелы *Nomioides minutissimus* (Rossi) (Hymenoptera, Halictidae) // Энтومол. обозрение. 1979. Т. LVIII, вып. 4. С. 762–765.
11. Радченко В. Г. Гнездование четырех видов пчел рода *Andrena* F. (Hymenoptera, Andrenidae) // Энтومол. обозрение. 1981. Т. LX, вып. 4. С. 766–774.
12. Ситдииков А. А. Гнездование пчелы *Halictus quadricinctus* (F.) (Hymenoptera, Halictidae) в Удмуртской АССР // Энтومол. обозрение. 1987. Т. LXVI. С. 529–538.

**Amolin A. V. To the study of nesting stations of some bees species on the territory of Donbass.** – The article provides information on the nesting stations of 12 species of burrowing bees. The description of nesting stations was carried out on the territory of Donbass and includes: mechanical composition of the soil, angle of inclination of the nesting surface, degree off aggregation of nests (density of nests per unit area), projective coverage of vegetation at the nesting site. To preserve the burrowing species of bees, it is necessary to create entomological reserves in places of compact nesting with a complete prohibition of trampling and haymaking.

**Key words:** burrowing bees, nesting stations, Donbass.

УДК 595.43

© Е. В. Прокопенко  
**СЕНОКОСЦЫ (ORIPIONES) ЦЕНТРАЛЬНОГО ДОНБАССА**  
 ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»  
 Россия, 283050, ДНР, г. Донецк, ул. Щорса, 46  
 helen\_procop@mail.ru

**Прокопенко Е. В. Сенокосцы (Oripiones) Центрального Донбасса.** – В настоящее время в Центральном Донбассе отмечено 8 видов сенокосцев единственного семейства Phalangidae. *Opilio lederi* Roewer, 1911 приводится впервые для региона. В статье приведен аннотированный список видов сенокосцев с информацией о распространении, биотопическом распределении, сезонной динамике численности и находках в регионе.

*Ключевые слова:* сенокосцы, фауна, биотопическое распределение.

### Введение

Видовой состав сенокосцев в Центральном Донбассе (в пределах Донецкой Народной Республики и Луганской Народной Республики) на настоящее время изучен достаточно полно: были зарегистрированы 7 видов из семейства Phalangidae [2, 3]. Рассматривался видовой состав и структура населения сенокосцев городских древесных насаждений [1], агроценозов [7, 8], заповедника «Каменные Могилы» [6]. За прошедшие годы были получены новые данные, кроме того, пересмотр коллекционных фондов позволил выявить ошибки в идентификации некоторых видов.

Таким образом, целью данной работы было обобщение и анализ накопленных данных о видовом составе, распространении и биотопической приуроченности сенокосцев Центрального Донбасса.

### Материал и методика исследования

Материалом для настоящей работы послужили сборы, проведенные в Донецкой Народной Республике и Луганской Народной Республике (список пунктов сбора материала с координатами приведен ниже) в период с 1999 по 2024 гг.

ЛНР

с. Дьяково (47°56'58" с. ш. 39°08'24" в. д.)

ДНР

с. Богородичное (49°00'58" с. ш. 37°30'30" в. д.)

с. Дроновка (48°55'04" с. ш. 38°02'29" в. д.)

с. Елизаветовка, урочище Широкий лес (48°46'35" с. ш. 36°50'56" в. д.)

г. Соледар (48°41'49" с. ш. 38°04'17" в. д.)

г. Артемовск (48°36'16" с. ш. 38°00'24" в. д.)

г. Ясиноватая (48°07'00" с. ш. 37°50'00" в. д.)

пгт. Нижняя Крынка (48°06'52" с. ш. 38°09'38" в. д.)

пос. Пески (48°03'44" с. ш. 37°40'30" в. д.)

пгт. Зуевка, Зуевский РЛП (48°03'31" с. ш. 38°15'20" в. д.)

г. Макеевка (48°03'20" с. ш. 37°57'40" в. д.)

г. Донецк (48°00'32" с. ш. 37°48'00" в. д.)

с. Екатериновка (48°52'31" с. ш. 37°20'32" в. д.)

г. Амвросиевка (47°47'45" с. ш. 38°28'48" в. д.)

пгт. Старобешево (47°45'00" с. ш. 38°02'00" в. д.)

с. Чичерино (47°33'36" с. ш. 37°37'39" в. д.)

с. Назаровка, заповедник «Каменные Могилы» (47°19'39" с. ш. 37°06'29" в. д.)

с. Хомутово, заповедник «Хомутовская степь» (47°15'17" с. ш. 38°08'18" в. д.)

с. Никольское (47°12'07" с. ш. 37°18'46" в. д.)

пгт. Седово (47°04'25" с. ш. 38°09'37" в. д.)

Материал был собран с помощью почвенных ловушек, кошения энтомологическим сачком и ручным способом. Общая экспозиция почвенных ловушек составила 58148 ловушко-суток. Было собрано 9349 экземпляров сенокосцев.

### Результаты и обсуждение

В настоящее время в Центральном Донбассе отмечено 8 видов сенокосцев единственного семейства Phalangidae. *Opilio lederi* Roewer, 1911 приводится впервые для региона. Ниже приведен аннотированный список видов сенокосцев с информацией о распространении, биотопическом распределении, сезонной динамике численности и находках в регионе.

### Аннотированный список видов сенокосцев Центрального Донбасса

#### Семейство Phalangidae Latreille, 1802

##### *Odiellus lendlii* (Sørensen, 1894)

**Распространение.** Вид широко распространен на Восточных Балканах, в Крыму, Карпатах и некоторых прилегающих частях Румынии и Польши, также как и на большей части Русской равнины до Жигулевского заповедника на восток. Найден на Кавказе (Северная Осетия, Грузия, Азербайджан), в Турции [18, 19].

**Литературные указания.** ДНР, заповедник «Каменные Могилы» [2, 6]; пос. Пески, пос. Нижняя Крынка [2, 8 – также как *Oligolophus tridens*].

**Экология.** В регионе приурочен к древесным массивам различного типа и степным биотопам, включая сгоревшую и выпасаемую степь и заросли степных кустарников; в агроценозах редок, в техногенных местообитаниях не отмечен (рис. 1). Встречается под камнями и в листовом опаде.

Первые половозрелые особи отмечены в июне. Пик численности приходится на сентябрь (рис. 1).

**Материал.** ЛНР, с. Дьяково, плодовый сад, 2♀, 27.08–2.09.10, сб. Ткаченко С.; ДНР, г. Славянск, РЛП «Славкурорт», 1♀, 10.11.2013, сб. Мартынов Вч.В.; с. Дроновка, 2 экз., 31.07.02; глинистый отвал, полыни, 1 juv, 16.07.02; пойменный лес, под корой, 2 juv, 31.07.02, 1 juv, 3.08.02; под трухлявой древесиной, 2 juv, 23.07.02; тростник, 1 juv, 27.07.02; г. Соледар, лесополоса, 17 экз., 17–24.09.11, сб. Михайлова К.; г. Донецк, Путиловский лес, 544 экз., 26.09–3.10.99, 70 экз., 23–30.07.00, 148 экз., 23–29.10.01, 121♀, 27.09–3.10.04; акк-позиция, берег ручья, 2 экз., 26.06–1.07.13; парк им. Ленинского Комсомола, 1 экз., 24–31.07.99, 21 экз., 25.09–2.10.99, 277 экз., 23–29.07.00; древесный массив «Раковка», 9 экз., 25.09–2.10.99, 26 экз., 25.09–2.10.00, 3 экз., 23–30.09.01, 1♂, 3♀, 25.09–2.10.04; ЦПКиО им. Щербакова, 1♀, 27.09–3.10.04; р-н Щегловка, породный отвал, 1♀, 15–21.09.18, сб. Савченко Е.Ю.; берег р. Кальмиус, 1 juv, 19–26.05.18, 4♂, 23♀, 15–21.09.18, сб. Савченко Е.Ю.; г. Макеевка, сосновый лес, 2 экз., 1–7.07.12; пгт. Нижняя Крынка, заброшенное поле, 2♀, 18–25.07.08, 4♀, 18–25.09.08, сб. Савченко Е.Ю.; кукуруза (подсолнечник), 1♀, 19–26.09.08, сб. Савченко Е.Ю.; г. Ясиноватая, байрачный лес, 12 экз., 24–30.09.01, 8♀, 20–27.07.04; пос. Пески, лесополоса, 1♀, 26.09–3.10.07, сб. Савченко Е.Ю.; эспарцет, 1♀, 1♂, 26.09–3.10.07, сб. Савченко Е.Ю.; пгт Зуевка, Зуевский РЛП, петрофитная степь, 4 экз., 7–14.10.16, сб. Савченко Е.Ю.; берег р. Ольховка, 32 juv, 27.05–4.06.18, 1 juv, 13–20.06.18, 2 juv, 16–20.06.18, 76♀, 22–28.09.18, сб. Токарь А.; лиственная посадка, 3 экз., 7–14.10.16, сб. Савченко Е.Ю.; балка в типчаковой степи, 2 экз., 7–14.10.16, сб. Савченко Е.Ю.; породный отвал, 3 juv, 25.05–4.06.18, сб. Токарь А.; Велико-Анадольский лес, 1♀, 11–18.09.05; г. Амвросиевка, поле люцерны, 1 экз., 16–26.06.16, сб. Литвиченко Н.; лесополоса, 2 экз., 16–25.09.16, 1 экз., 16–23.09.17, сб. Литвиченко Н.; степной участок, 8 экз., 16–25.09.16, сб. Литвиченко Н.; посадка молодой сосны, 9♀, 20–27.09.15, сб. Литвиченко Н.; осинник, 5♀, 20–27.09.15, сб. Литвиченко Н.; посадка молодой акации с бобовым разнотравьем, 1♂, 20–27.09.15, сб. Литвиченко Н.; зап. «Каменные Могилы», 11♀,

2♂, степь, 9 экз., 15–22.08.06, 311 экз., 15–22.10.06, 98 экз., 16–23.09.07, 12♀, 17–24.09.07, 113 экз., 13–20.09.08, 7♂, 48♀, 14–21.09.08, сб. Савченко Е.Ю.; петрофитная степь, 3 экз., 15–22.10.06, 1♀, 13–20.09.08, сб. Савченко Е.Ю.; выпас, 1♀, 15–22.08.06, 53 экз., 15–22.10.06, 2♀, 16–23.09.07, 18♀, 1♂, 13–20.09.08, сб. Савченко Е.Ю.; выпал, центр, 14–21.09.08, сб. Савченко Е.Ю.; выпал, левый край, 1♀, 17–24.09.07, сб. Савченко Е.Ю.; выпал, правый край, 16♀, 5♂, 17–24.09.08, сб. Савченко Е.Ю.; луг, 16 экз., 15–22.08.06, 48 экз., 15–22.10.06, 15 экз., 13–20.09.08, сб. Савченко Е.Ю.; терновник, 40 экз., 15–22.10.06, 4♀, 16–23.09.07, 24♀, 8♂, 16–23.09.08, сб. Савченко Е.Ю.; осинник, 3♂, 9♀, 15–22.10.06, 4♀, 13–20.09.08, сб. Савченко Е.Ю.; лесополоса, 15♀, 15–22.10.06, 6 экз., 16–23.09.07, 1♂, 5♀, 13–20.09.08, сб. Савченко Е.Ю.; зап. «Хомутовская степь», АЗУ, 12 экз., 24.09–1.10.16, сб. Савченко Е.Ю.; выпас, 4 экз., 24.09–1.10.16, сб. Савченко Е.Ю.; край выпала, 2 экз., 24.09–1.10.16, сб. Савченко Е.Ю.; лесополоса, 1 экз., 24.09–1.10.16, сб. Савченко Е.Ю.

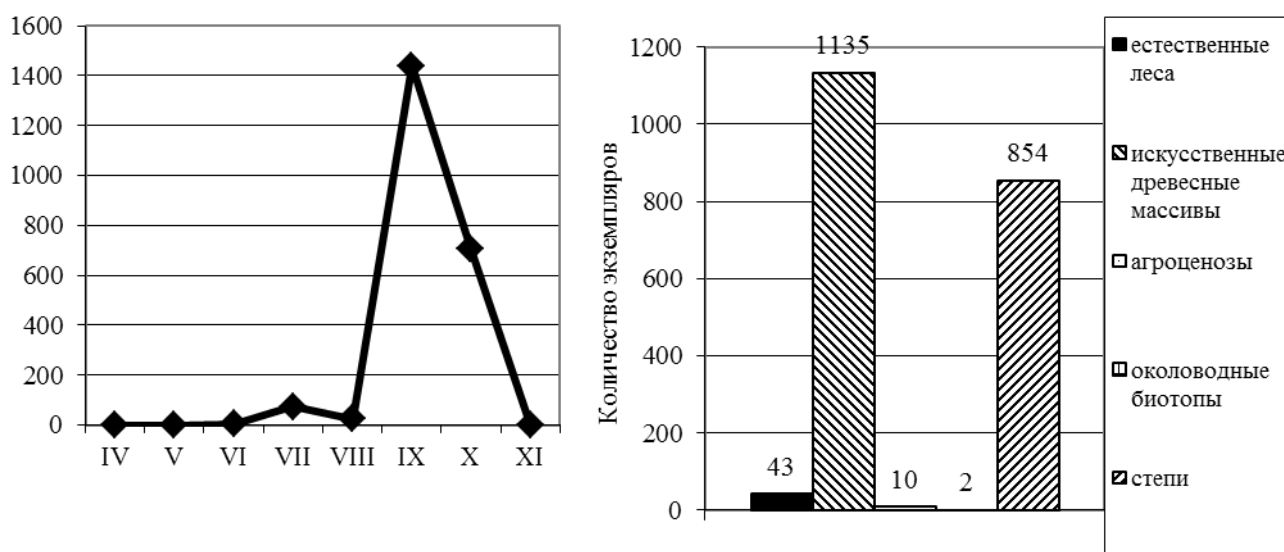


Рис. 1. Сезонная динамика численности (слева) и биотопическое распределение (справа) *O. lendlii*

### *Opilio lederi* Roewer, 1911

**Распространение.** Армения, Азербайджан, Северная Осетия, Грузия, Иран, Россия, Украина [20, 23].

**Литературные указания.** ДНР, заповедник «Каменные Могилы» [2, 6 – в обоих случаях как *Opilio parietinus*].

**Экология.** В регионе приурочен к агроценозам, в остальных биотопах редок (рис. 2).

Первые половозрелые особи отмечены в июле. Пик численности приходится на октябрь (рис. 2).

**Материал.** ДНР, с. Дроновка, остепненный луг, 1♀, 4.07.02; г. Донецк, лесонасаждение около общежитий ДонГУ, 3♂, 5♀, 6–14.07.10, сб. Свиридова Д.; древесное насаждение «Раковка», 2♂, 25.09–2.10.00; г. Макеевка, берег техногенного ручья, тростник, 5♂, 4♀, 26.09–5.10.15; поле подсолнечника, 1♂, 8♀, 7–29.09.16, 4♂, 106♀, 7–14.10.17, сб. Семькина О.; зап. «Каменные Могилы», степь с выпасом, 1♂, 1♀, 16–23.09.07, сб. Савченко Е.Ю.; лесополоса, 1♀, 1♂, 13–20.09.08, сб. Савченко Е.Ю.; зап. «Хомутовская степь», сгоревший терновник, 1♂, 1♀, 24.09–1.10.16, сб. Савченко Е.Ю.; с. Седово, степной склон, верх, 1♂, 5♀, 9–16.09.16.

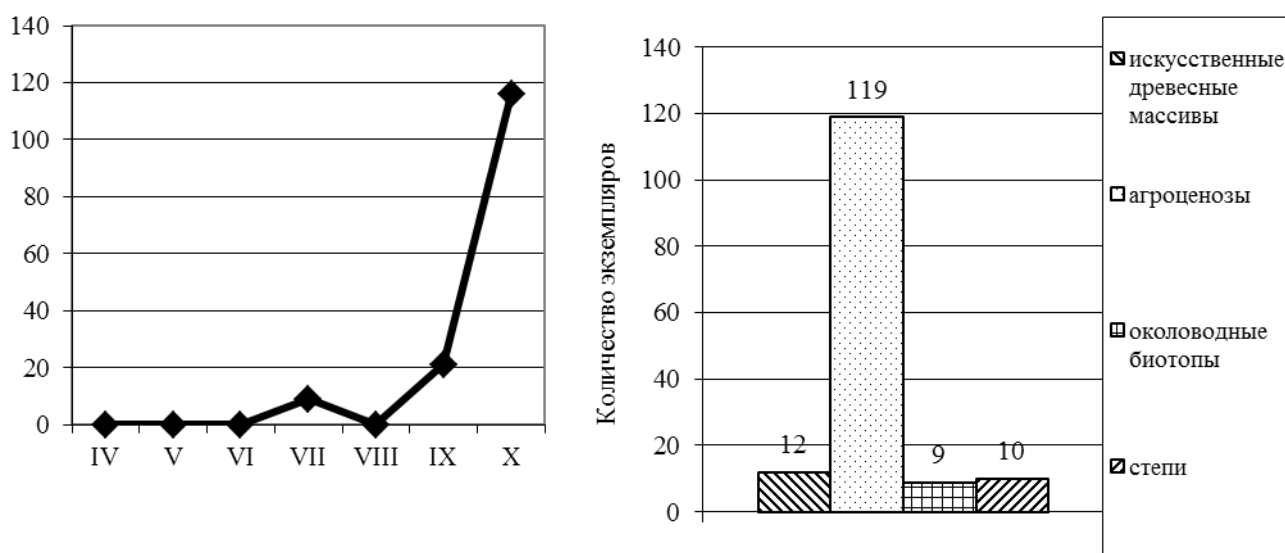


Рис. 2. Сезонная динамика численности (слева) и биотопическое распределение (справа) *O. lederi*

### *Opilio parietinus* (De Geer, 1778)

**Распространение.** Европа, Россия, Иран, Грузия, Азербайджан, Афганистан, Казахстан, Северная Америка, Тасмания [9, 19, 23].

**Литературные указания.** ДНР, г. Мариуполь [22].

**Экология.** Синантропный вид, обитающий в основном на деревянных, реже на кирпичных стенах зданий, иногда проникает во внутренние помещения. Также встречается на стволах деревьев в садах и парках, заборах, но всегда в непосредственной близости от зданий [17–19].

В регионе – единственная находка.

**Материал.** ДНР, пос. Белосарайская коса, 1♂, 06.06.

### *Opilio saxatilis* C. L. Koch, 1839

**Распространение.** Европа (исключая Иберийский п-ов), Турция, Израиль [9, 12, 14, 23].

**Литературные указания.** ДНР, заповедник «Каменные Могилы» [2, 6]; пос. Пески, пос. Нижняя Крынка [2, 8].

**Экология.** Ксеротолерантный и синантропный вид. Предпочитает открытые местообитания, например, поля сельскохозяйственных культур, луга и др. Встречается также в открытых кустарниковых зарослях, на опушках лесов, редко в открытых лесах, но избегает лесов с густым травяным ярусом. Обитает в верхних слоях почвы, под поверхностью почвы и на разложившихся кусках дерева и камнях; иногда он забирается на стены в городских районах [13]. Обычно встречается в городах и поселках городского типа, где обитает на газонах, в парках и садах, частично также на нижних частях стен зданий. Встречается также в дерне на открытых, хорошо освещенных солнцем, предпочтительно разреженных участках: дюнах, сухих лугах, железнодорожных насыпях [17]. Степная растительность на техноземах [5]. Агроценозы, лесозащитные полосы [8]. Искусственное древесное насаждение, огород, плодовый сад, поле под паром [4].

В регионе – вид временных и нарушенных местообитаний, максимум численности отмечен в агроценозах (рис. 3).

Отмечены два пика численности – в июне и сентябре (рис. 3).

**Материал.** ЛНР, с. Дьяково, плодовый сад, 1♀, 21–27.06.10, сб. Ткаченко С. ДНР, г. Бахмут, карьерный отвал, верх, 3 экз., 23–29.09.2012; г. Соледар, лесополоса, 2♀, 17–24.09.11, сб. Михайлова К.; г. Донецк, Донецкий ботанический сад, водохранилище, лесополоса, 1♂, 2♀, 9–17.06.15, сб. Семькина О.; Путиловский лес, 1♀, 19–26.07.04, 1♀, 27–

3.10.04, 1 экз., 7–13.07.11; парк им. Ленинского Комсомола, 1 экз., 24–31.07.99; 1 экз., 25.09–2.10.99; ЦПКиО им. Щербакова, 65 экз., 24.09–1.10.99, 19♀, 12♂, 4 juv, 10.00, 4 экз., 27.07–2.08.01, 9♂, 10♀, 25.09–1.10.01, 10♂, 3♀, 26.07–2.08.03, 23♂, 54♀, 16 juv., 28.09–3.10.03, 3♂, 13♀, 19–26.07.04, 2♂, 3♀, 27.09–3.10.04, 16 экз., 6–14.07.10; древесный массив «Раковка», 97 экз., 25.09–2.10.99, 26 экз., 25.09–2.10.00, 4♂, 5♀, 28.09–5.10.03, 1♀, 20–27.07.04, 1♂, 25–2.10.04; лесонасаждение около общежитий ДонНУ, 5♂, 20♀, 6–14.07.10, сб. Свиридова Д.; второе городское водохранилище, лесопосадка, 51 экз., 11–18.06.18; г. Макеевка, самозаросший террикон, 2♀, 3–10.10.04, сб. Рокицкая Е.; подножие, 3♂, 2♀, 3–10.10.04, сб. Рокицкая Е.; ш-та им. Ленина, горящий террикон, подножие, 3 экз., 10–17.09.06, сб. Рокицкая Е.; 2 экз., вершина, 10–17.09.06, сб. Рокицкая Е.; 1 экз., склон, 10–17.09.06, сб. Рокицкая Е.; пос. Осипенко, ш-та Капитальная, самозаросший террикон, подножие, 2 экз., 10–17.09.06, сб. Рокицкая Е.; склон, 1 экз., 10–17.09.06, сб. Рокицкая Е.; берег техногенного ручья, тростник, 2♂, 2♀, 26.09–5.10.15, сб. Семькина О.; пгт. Нижняя Крынка, заброшенное поле, 1♂, 3♀, 18–25.09.08, сб. Савченко Е.Ю.; кукуруза, 20♂, 60♀, 18–25.06.07, 135 экз., 18–25.08.07, 19♂, 50♀, 16–23.09.07, сб. Савченко Е.Ю.; кукуруза (ячмень), 4♂, 3♀, 18–25.06.08, 4♀, 18–25.07.08, 16♂, 33♀, 19–26.09.08, сб. Савченко Е.Ю.; кукуруза (подсолнечник), 1♀, 18–25.06.08, 3♀, 18–25.07.08, 2♀, 18–25.08.08, 202 экз., 19–26.09.08, сб. Савченко Е.Ю.; ячмень, 6♂, 10♀, 18–25.06.07, 1♀, 18–25.08.07, 33 экз., 16–23.09.07, сб. Савченко Е.Ю.; ячмень (кукуруза), 2 экз., 18–25.06.08, 2♂, 18–25.07.08, 2♀, 18–25.08.08, 61 экз., 19–26.09.08, сб. Савченко Е.Ю.; г. Ясиноватая, байрачный лес, 126 экз., 26.09–3.10.99, 5 экз., 25.09–1.10.00, 10 экз., 24–30.09.01, 16♂, 24♀, 21–28.05.03, 2♂, 5♀, 20–27.07.04; пос. Пески, лесополоса, 2♀, 26.07–2.08.07, 46♂, 42♀, 26.09–3.10.07, 14♂, 3♀, 29.09–6.10.08, сб. Савченко Е.Ю.; пшеница, 161♂, 327♀, 26.06–3.07.07, 3♂, 12♀, 26.07–2.08.07, 7♂, 26♀, 26.09–3.10.07, 17♂, 22♀, 27.06–3.07.08, 3 экз., 28.07–4.08.08, 50 экз., 8–15.10.08, сб. Савченко Е.Ю.; подсолнечник, 8♂, 40♀, 26.06–3.07.07, 3♀, 26.07–2.08.07, сб. Савченко Е.Ю.; эспарцет, 615 экз., 26.06–3.07.07, 4♂, 17♀, 26.09–3.10.07, 5♂, 9♀, 27.06–3.07.08, 1♂, 3♀, 18.07–4.08.08, 48♂, 113♀, 29.09–6.10.08, сб. Савченко Е.Ю.; с. Екатериновка, обочина грунтовой дороги, 1♂, 3–10.07.11, сб. Михайличенко И.; пгт. Зуевка, степной участок, 1♀, 22–28.09.18, сб. Токарь А.; с. Ивановка, древесное насаждение, 2♂, 6♀, 1–7.10.06, сб. Гойдык И.; г. Старобешево, петрофитная степь, 4 экз., 6–11.04.14; г. Амвросиевка, поле люцерны, 1 экз., 16–23.09.17, сб. Литвиченко Н.; лесополоса, 2 экз., 16–23.09.17, сб. Литвиченко Н.; степной участок, 3 экз., 7–14.07.15, 31 экз., 20–27.09.15, 4 экз., 16–25.09.16, сб. Литвиченко Н.; посадка молодой сосны, 1♀, 20–27.09.15, сб. Литвиченко Н.; посадка молодой акации с бобовым разнотравьем, 3♀, 20–27.09.15, сб. Литвиченко Н.; с. Чичерино, огород, 5 экз., 20–23.07.06, 1 экз., 23–27.07.06; Велико-Анадольский лес, берег водохранилища, 1♀, 5.11.05; зап. «Каменные Могилы», петрофитная степь, 9 экз., 15–22.05.06, 1♀, 15–22.06.06, 4♀, 15–22.10.06, сб. Савченко Е.Ю.; 2♂, 16–23.09.07, сб. Савченко Е.Ю.; петрофитная степь у г. Острая, 1♂, 2♀, 16–19.07.01; выпас, 28 экз., 15–22.09.06, 1♀, 16–23.07.07, 1♂, 2♀, 16–23.09.07, 1♀, 13–20.09.08, сб. Савченко Е.Ю.; 2♀, выпал, центр, 14–21.09.08, сб. Савченко Е.Ю.; выпал, край, 1♀, 17–24.07.07, сб. Савченко Е.Ю.; выпал, правый край, 1♂, 1♀, 17–24.09.08, сб. Савченко Е.Ю.; терновник, 2♂, 15–22.09.06, сб. Савченко Е.Ю.; осинник, 1♂, 15–22.09.06, сб. Савченко Е.Ю.; лесополоса, 1♀, 15–22.08.06, 21 экз., 15–22.09.06, 2♂, 7♀, 16–23.07.07, 3♀, 2♂, 16–23.09.07, сб. Савченко Е.Ю.; зап. «Хомутовская степь», ПКУ, 5♀, 24.09–1.10.16, сб. Савченко Е.Ю.; выпас, 1♀, 24.09–1.10.16, сб. Савченко Е.Ю.; центр выпала, 1♀, 24.09–1.10.16, сб. Савченко Е.Ю.

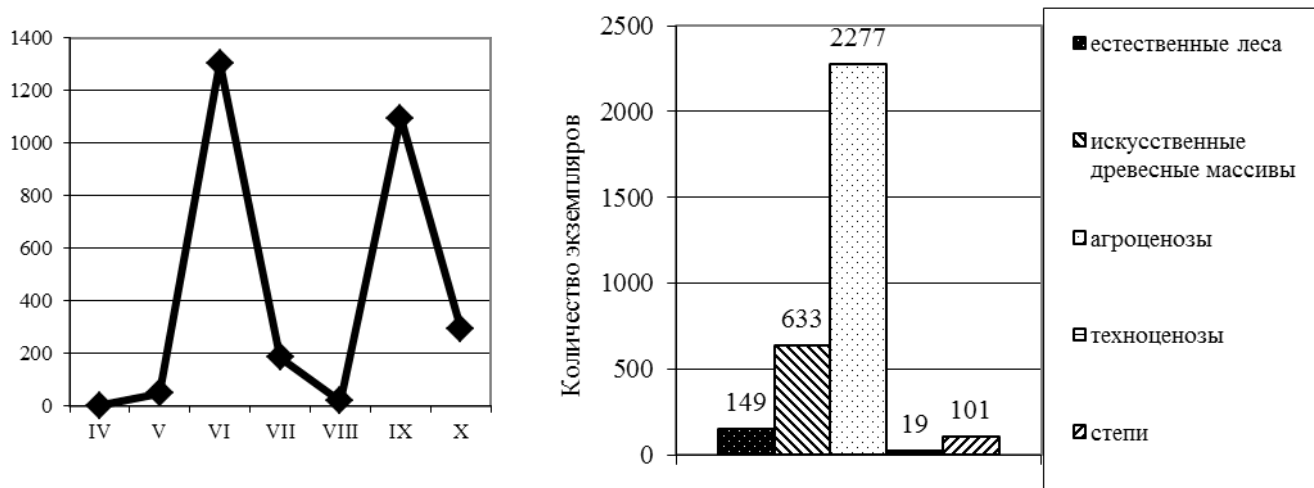


Рис. 3. Сезонная динамика численности (слева) и биотопическое распределение (справа) *O. saxatilis*

### *Dasylobus* sp.

**Материал.** ДНР, Краснолиманский р-н, с. Богородичное, пойменный лес, 1♂, 1♀, 15–18.06.99.

**Замечание.** По-видимому, новый вид (устное сообщение А. Чемериса).

### *Phalangium opilio* Linnaeus, 1758

**Распространение.** Широко распространен в Голарктике, исходно – в Европе и Азии, интродуцирован в США, Канаду и Новую Зеландию [12, 14].

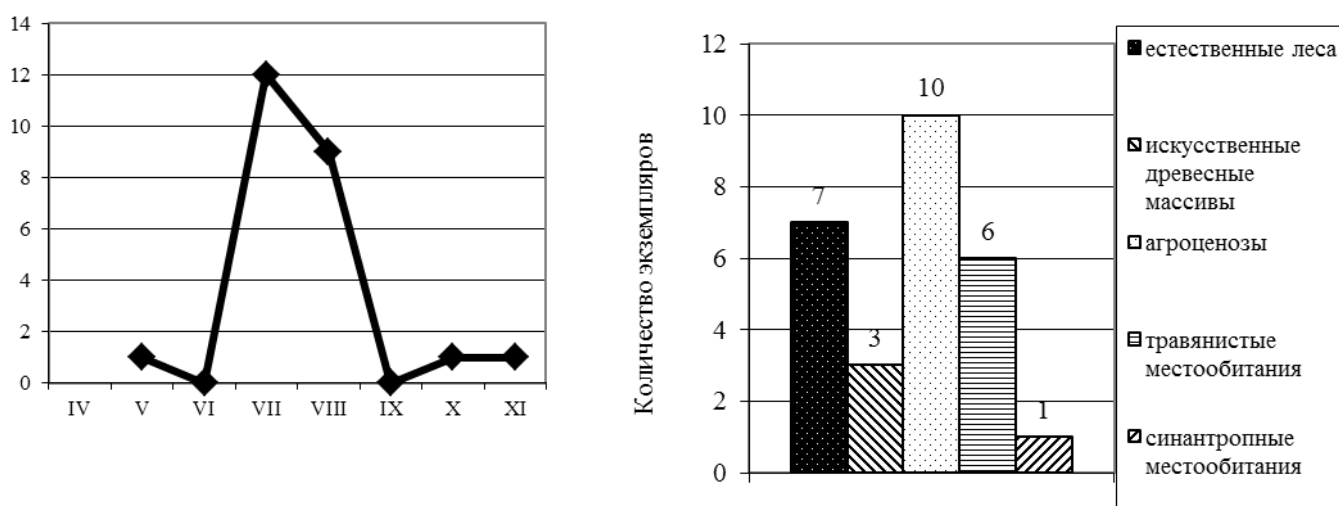
**Литературные указания.** ДНР, заповедник «Каменные Могилы» [2, 6]; пос. Пески, пос. Нижняя Крынка [2, 8].

**Экология.** Населяет открытые местообитания, такие как луга и болота, открытые, светлые леса, а также различные типы антропогенных местообитаний, такие как сады, агроэкосистемы, лесные опушки, живые изгороди, газоны, карьеры, а в городских центрах – зеленые насаждения, стены и мосты из различных материалов. Часто отмечается в синантропных местообитаниях. На открытых участках с высокими объектами также взбирается на них [16]. Лесозащитные полосы [8]. Искусственное древесное насаждение [4].

В регионе максимальная численность зарегистрирована в агроценозах и древесных массивах (рис. 4).

Отмечен пик численности в июле (рис. 4). По литературным данным – стенохронный вид, достигающий половозрелости поздним летом и ранней осенью [16].

**Материал.** ДНР, с. Дроновка, пойменный луг, 1♀, 9.08.99; остепненный луг, пойменный лес, 1♂, 3♀, 4.07.02; пойменный лес, 1♂, 30.07.02, под корой, 3♀, 2 juv, 3.08.02; сосновый лес, 1♀, 16.07.10; г. Константиновка, груда кирпича, 1♀, 8.10.04; пос. Пески, лесополоса, 1♂, 2♀, 26.07–2.08.07, сб. Савченко Е.Ю.; с. Чичерино, огород, 10 экз., 20–27.07.06; зап. «Каменные Могилы», лесополоса, 2♀, 15–22.08.06, сб. Савченко Е.Ю.; степь, 1♀, 15–22.05.06, сб. Савченко Е.Ю.

Рис. 4. Сезонная динамика численности (слева) и биотопическое распределение (справа) *Ph. opilio****Phalangium punctipes* (L. Koch, 1879)**

**Распространение.** Крым, Кубань, Предкавказье, Азербайджан, Армения, Грузия, Турция, Сирия, Кипр, Израиль, Конго, Куба [11, 19, 21].

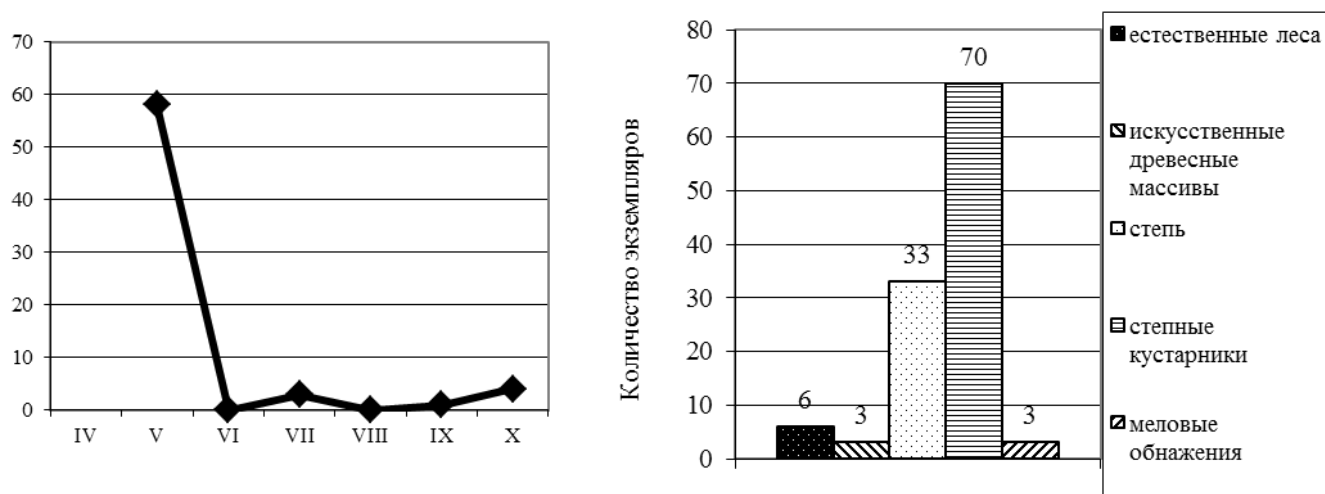
**Литературные указания.** ДНР, заповедник «Каменные Могилы» [2, 6 – также как *Mitopus morio*].

**Экология.** Открытые травянистые местообитания [12, 19].

В регионе – степной вид, наибольшая численность отмечена в зарослях степных кустарников и на участках петрофитной степи (рис. 5).

Максимум численности приходится на май (рис. 5).

**Материал.** ДНР, с. Сидорово, обнажения мела, 2♀, 1♂, 5.05.99; заповедник «Каменные Могилы», степь, 1♀, 16–23.05.07, 1♂, 17–24.05.08, сб. Савченко Е.Ю.; петрофитная степь, 1♀, 15–22.07.06, 6♂, 16♀, 16–23.05.08, сб. Савченко Е.Ю.; петрофитная степь под горой «Острая», 2♀, 16–19.07.01, сб. Сергеев М.Е.; выпас, 4 экз., 15–22.10.06, сб. Савченко Е.Ю.; выпал, край, 1♂, 3♀, 17–24.05.08, сб. Савченко Е.Ю.; терновник, 19♀, 15–22.04.06, 2♀, 15–22.05.06, 5♂, 2♀, 16–23.05.07, 6♂, 35♀, 16–23.05.08, 1 экз., 16–23.09.08, сб. Савченко Е.Ю.; осинник, 1♂, 1♀, 16–23.05.07, 1♀, 16–23.07.07, 2♀, 16–23.05.08, сб. Савченко Е.Ю.; лесополоса, 3♀, 16–23.07.07, сб. Савченко Е.Ю.

Рис. 5. Сезонная динамика численности (слева) и биотопическое распределение (справа) *Ph. punctipes*

***Zachaeus crista* (Brullé, 1832)**

**Распространение.** Карпаты, юго-восточная часть Аппенинского полуострова, большая часть Балкан (не отмечен на Эгейских островах), западная часть Анатолии и Анатолийских островов, Азербайджан, Турция [9, 12, 15, 19].

**Литературные указания.** ДНР, заповедник «Каменные Могилы» [2, 6].

**Экология.** Термофильный вид [10]. Широколиственный лес [5].

Вид отмечен в основном в древесных массивах различного типа (рис. 6).

Пик численности отмечен в июле (рис. 6).

**Материал.** ДНР, г. Донецк, Донецкий ботанический сад, водохранилище, лесополоса, 1♀, 9–17.06.15, сб. Семькина О.; березовая аллея, 1♂, 9–17.06.15, сб. Семькина О.; около бетонной ограды, 1♂, 21.06.2024; Путиловский лес, байрачный лес, 1 экз., 23–30.05.99, 12 экз., 25.07–1.08.99, 1 экз., 23–29.07.00, 1 экз., 28.07–4.08.01, 2♀, 26.07–2.08.03, 4♂, 17♀, 19–26.07.04, 1 экз., 4–11.06.08, 32 экз., 4–11.06.09, 44 экз., 7–13.07.11; эль-позиция, 9 экз., 7–13.07.11, 17 экз., 26.06–1.07.13, транс-позиция, 31♂, 26♀, 7–13.07.11, 78 экз., 26.06–1.07.13; акк-позиция, 5 экз., 7–13.07.11; г. Макеевка, самозаросший террикон, 1♀, 3–10.10.04, сб. Рокицкая Е.; г. Ясиноватая, байрачный лес, 5 экз., 25.07–1.08.99, 6 экз., 29.07–5.08.01, 1♂, 10♀, 27.07–3.08.03, 3♂, 86♀, 20–27.07.04; пгт. Зуевка, берег р. Ольховка, 7♀, 16–20.06.18, сб. Токарь А.; г. Амвросиевка, лесополоса, 3 экз., 24.07–1.08.17, сб. Литвиченко Н.; 6♀, 2–12.06.17, сб. Петровский В.Р.; поле люцерны, 2♀, 1♂, 20–27.09.17, сб. Литвиченко Н.; пгт. Никольское, древесное насаждение, 32 экз., 7–10.07.01; зап. «Каменные Могилы», степь, 1♀, 15–22.05.06, 1 экз., 15–22.10.06, сб. Савченко Е.Ю.; петрофитная степь, 130 экз., 15–22.05.06, сб. Савченко Е.Ю.; край выпала, 3♂, 1♀, 17–24.05.08, сб. Савченко Е.Ю.; луг, 5♀, 15–22.06.06, 3♀, 15–22.07.06, 1♀, 16–23.07.08, сб. Савченко Е.Ю.; терновник, 2♀, 15–22.07.06, сб. Савченко Е.Ю.; осинник, 1♀, 15–22.05.06, 3♂, 13♀, 15–22.06.06, 6♀, 15–22.07.06, 3♀, 16–23.07.08, сб. Савченко Е.Ю.; лесополоса, 16♀, 15–22.06.06, 2♀, 15–22.07.06, 4♀, 16–23.07.08, сб. Савченко Е.Ю.; в доме, 1♂, 30.06.97; зап. «Хомутовская степь», АЗУ, 1 экз., 17–26.05.16, 25 экз., 7–13.07.16, сб. Савченко Е.Ю.; ПКУ, 7 экз., 7–13.07.16, сб. Савченко Е.Ю.; выпас, 1 экз., 17–26.05.16, 23 экз., 7–13.07.16, сб. Савченко Е.Ю.; терновник, 6 экз., 7–13.07.16, сб. Савченко Е.Ю.; лесополоса, 56 экз., 7–13.07.16, сб. Савченко Е.Ю.

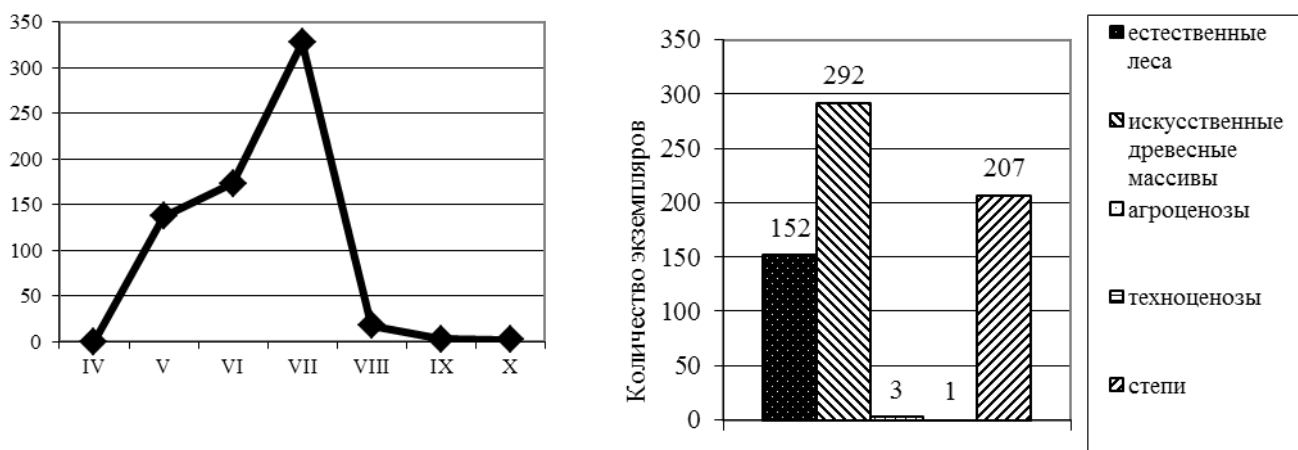


Рис. 6. Сезонная динамика численности (слева) и биотопическое распределение (справа) *Z. crista*

**Ошибочные указания**

*Mitorpus morio* (Fabricius, 1779). ДНР, заповедник «Каменные Могилы» [6] – ошибочное определение, указание относится к *Phalangium punctipes*.

*Oligolophus tridens* (C. L. Koch, 1836). ДНР, пос. Пески, пос. Нижняя Крынка [8] – ошибочное определение, указание относится к *Odiellus lendlii*.

### Благодарности

Автор выражает свою искреннюю благодарность Е. Ю. Савченко (Донецк), предоставившей материал для обработки, А. Н. Чемерису (Томск) и Н. Ю. Снеговой (Баку) за помощь в таксономической идентификации ряда видов.

Исследование выполнено в рамках молодежной лаборатории «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно-трансформированных экосистем Донбасса» (№ госрегистрации НИОКТР 1023110700153-4-1.6.19;1.6.11;1.6.12).

### Список литературы

1. Мартынов В. В., Прокопенко Е. В. Многолетняя и сезонная динамика герпетобионтных членистоногих в урболандшафтах степной зоны Украины (на примере парков г. Донецка) // Тез. доп. IV з'їзду Українського ентомологічного товариства. Біла Церква, 2003. С. 67–68.
2. Прокопенко Е. В. Степень изученности сенокосцев (Opiliones) Донбасса // Донецкие чтения 2019: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : Материалы IV Международной научной конференции (Донецк, 31 октября 2019 г.). Том 2: Химико-биологические науки / под общей редакцией проф. С. В. Беспаловой. Донецк : Изд-во ДонНУ, 2019. С. 309–311.
3. Прокопенко Е. В. Сенокосцы (Opiliones) Левобережной Украины // Материалы IV Международного арахнологического совещания «Arachno-Meeting», посвященного 50-летию «Определителя пауков Европейской части СССР» В. П. Тыщенко (Екатеринбург, 13, 19 и 25 февраля 2021 г.). М. : Товарищество научных изданий КМК, 2021. С. 37.
4. Прокопенко Е. В. Пауки (Aranei) и сенокосцы (Opiliones) агроэкосистемы с. Малиновка (Гуляйпольский район, Запорожская область) // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2023. № 1–2. С. 55–59.
5. Прокопенко Е. В., Жуков А. В. Разнообразие герпетобионтных беспозвоночных на экспериментальном участке рекультивации земель, нарушенных горнодобывающей промышленностью // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2011. Вып. 1 (11). С. 172–187.
6. Прокопенко Е. В., Савченко Е. Ю. К изучению фауны пауков (Aranei) и сенокосцев (Opiliones) заповедника «Каменные Могилы» // Кам'яні Могили – минуле та сучасність : Мат. наук.-практ. конф., присвяч. 85-річчю ювілею відділення Українського степового природного заповідника НАН України «Кам'яні Могили». Донецьк : Ноулідж, 2012. Вип. 2 (Ч. 1). С. 274–286.
7. Прокопенко Е. В., Савченко Е. Ю. Сенокосцы (Opiliones) агроценозов Донецко-Макеевской городской агломерации // Биоразнообразие. Экология. Эволюция. Адаптация : Материалы VII Международной конференции молодых ученых, посвященной 150-летию со дня основания Одесского университета (Одесса, 18–19 сентября 2015 г.). Одесса : Репозитарий Научной библиотеки Одесского национального университета им. И. И. Мечникова, 2015. С. 33–34.
8. Савченко Е. Ю., Горбачева Д. С., Прокопенко Е. В. Сенокосцы (Opiliones) агроценозов Донецкой области // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов : Тез. докл. XX Всеукр. науч. конф. аспирантов и студентов. Донецк : ДонНТУ, ДонНУ. 2010. С. 30–31.
9. Blick T., Komposch C. Checkliste der Weberknechte / harvestmen / OpilionesCheckliste der Weberknechte Mittel- und Nordeuropas. Checklist of the harvestmen of Central and Northern Europe (Arachnida: Opiliones). Version 27. Dezember 2004. URL : [http://www.AraGes.de/checklist.html2004\\_Opiliones](http://www.AraGes.de/checklist.html2004_Opiliones).
10. Biogeography and Ecology of Bulgaria. Monographiae Biologicae. Vol. 82 / Fet V., Popov A. (Eds.). 2007. 687 p.
11. Chemeris A. N., Kovblyuk M. M. A contribution to the knowledge of the harvestman fauna of the Crimea (Arachnida: Opiliones) // Arthropoda Selecta. 2005. Vol. 14. P. 305–328.

12. Kurt K., Babaşoğlu A., Seyyar O., Topçu A. New faunistic records for the Turkish harvestmen fauna (Arachnida: Opiliones) // Mun. Ent. Zool. Vol. 3, No. 2. P. 654–660.
13. Litavský J., Stašiov S., Svitok M., Michalková E., Majzlan O., Žarnovičan H. F. P. Epigeon communities of harvestmen (Opiliones) in Panonian Basin floodplain forests: an interaction with environmental parameters // Biologia. 2018. Vol. 73 (8). P. 753–763.
14. Martens J. Spinnentiere, Arachnida: Weberknechte, Opiliones. Die Tierwelt Deutschlands. Verlag, Jena, 1978. Vol. 64. 464 p.
15. Murányi D. Poorly-known phalangiid harvestmen (Opiliones: Phalangioida) from the Balkans // Opusc. Zool. Budapest. 2013. 44 (suppl. 1). P. 139–156.
16. Novak T., Klokočovník V., Delakorda S. L., Devetak D., Janželpvoč F. Preferences for different substrates in *Phalangium opilio* (Opiliones: Phalangiidae) in natural environment // Acta Biologica Slovenica. 2009. Vol. 52. P. 28–35.
17. Rozwálka R. Rozmieszczenie synantropijnych i ekspansywnych gatunków kosarzy (Arachnida: Opiliones) w polskich Karpatach // Roczniki Bieszczadzkie. 2014. 23 (2015). S. 211–224.
18. Snegovaya N. Contribution to the Harvest Spider (Arachnida, Opiliones) fauna of the Caucasus // Tr. J. of Zoology. 1999. Vol. 23. P. 453–459.
19. Snegovaya N. Yu. Preliminary notes on the harvestman fauna (Opiliones) of Azerbaijan // European Arachnology 2003. Proceeding of the 21<sup>st</sup> European Colloquium of Arachnology, St.-Petersburg, 4–9 August 2003. Arthropoda Selecta (Special Issue № 1, 2004). 2003. P. 307–318.
20. Snegovaya N. Yu. Further studies on harvestmen of the genus *Opilio* Herbst, 1798 (Arachnida: Opiliones: Phalangiidae) from the Caucasus // Caucasian Entomological Bulletin. 2010. Vol. 6, № 1. P. 3–18.
21. Snegovaya N. Yu. Survey of the genus *Phalangium* Linnaeus, 1758 (Phalangiidae: Opiliones) from the Caucasus with description of two new species // Fragmenta faunistica. 2014. Vol. 57 (1). P. 1–19. DOI : 10.3161/00159301FF2014.57.1.001.
22. Staręga W. Katalog der Weberknechte (Opiliones) der Sowjet-Union // Fragmenta Faunistica. 1978. Vol. 23 (10). S. 197–241.
23. Staręga W. On the identity and synonymies of some Asiatic Opilioninae (Opiliones: Phalangiidae) // Acta Arachnologica. 2003. Vol. 52 (2). P. 91–102.

**Prokopenko E. V. Harvestmen (Opiliones) of the Central Donbas.** – At present 8 species of harvestmen of the only family Phalangiidae are recorded in the Central Donbas. *Opilio lederi* Roewer, 1911 is given for the first time for the region. The article contains an annotated list of harvestmen species with information on distribution, biotopic preferences, seasonal dynamics of abundance and findings in the region.

**Key words:** harvestmen, fauna, biotopic preferences.

УДК 631.465 : 58.072

© А. С. Березовский, Д. В. Сыщиков

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОСТИ УРЕАЗЫ ПО ПРОФИЛЮ ПОЧВ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ ШАХТЕРСКОГО РАЙОНА ДНР**

*ФГБНУ Донецкий ботанический сад*

*Россия, 283059, ДНР, г. Донецк, пр. Ильича, 110*

*berezovskii@list.ru, 2007dmitry@rambler.ru*

**Березовский А. С., Сыщиков Д. В.** Распределение активности уреазы по профилю почв сельскохозяйственных угодий Шахтерского района ДНР. – Проведены исследования уреазной активности почв сельскохозяйственного назначения северной части Шахтерского района ДНР. Показана приуроченность активности уреазы к верхним генетическим горизонтам. Наложение нескольких видов деградационных процессов наиболее негативно влияет на активность изученного фермента (уменьшение на 28–35 % по сравнению с контролем). Выведение угодий из активного сельскохозяйственного производства позитивно сказывается на функционировании уреазы.

*Ключевые слова:* агроэкосистема, деградация, почва, уреазы, ферменты.

**Введение**

Почва представляет собой многофазную, высокореакционную систему, в пределах которой происходят сложные процессы создания, миграции, разрушения разнообразных органических и неорганических соединений [5].

В настоящее время установлено, что биологическая активность является важным фактором плодородия почв и чувствительным агрономическим и экологическим индикатором. Показано, что биологическая активность почв является одним из возможных и достоверных способов оценки состояния, как естественных, так и агрогенно преобразованных почв. До сих пор одной из актуальных задач в области биохимических и микробиологических исследований остается поиск новых методов и путей, позволяющих более детально изучить все многообразие процессов, протекающих в почве. Основным показателем устойчивости почвы к неблагоприятным воздействиям является почвенная биота. Однако определение лишь общей численности микроорганизмов и соотношения представленных в ней эколого-трофических групп недостаточно для понимания функций, выполняемых микроорганизмами в почве и направленности почвообразовательного процесса [2, 4, 11].

Следует отметить, что ферменты осуществляют функциональные связи между компонентами экосистемы и, таким образом, ферментативная активность почвы отражает функциональное состояние ее живого населения. Под действием ферментов органические вещества почвы и остатки биоты распадаются до различных промежуточных и конечных продуктов минерализации. При этом для микроорганизмов и растений образуются доступные питательные вещества (трофические связи), а также освобождается энергия (энергетические связи) [12].

Ферментам принадлежит важная роль в азотном режиме почвы. Содержание различных форм минерального азота в почве является довольно изменчивой величиной и зависит от многих факторов. Ферментативная активность определяет скорость процессов сложного цикла трансформации азота в почве, включая аммонификацию, нитрификацию и фиксацию свободного азота [8]. Таким образом, рядом исследователей уделено большое внимание активности ферментов в почве [1, 13–16].

Уреазы – фермент, катализирующий гидролиз мочевины до  $\text{CO}_2$  и  $\text{NH}_3$ . Она участвует в гидролитическом расщеплении связей между азотом и углеродом (CO–NH) в молекулах азотсодержащих органических соединений. Максимум функционирования фермента

характерен для гумусового горизонта, снижаясь вниз по профилю [8]. Активность уреазы используется в качестве биологического индикатора почвы, поскольку на нее влияют такие факторы, как культуры севооборота, методы возделывания, содержание органического вещества, глубина отбора почвенных образцов, содержание тяжелых металлов, температура и pH почвы [16].

Целью настоящих исследований было изучение уреазной активности почв сельскохозяйственных угодий северной части Шахтерского района Донецкой Народной Республики.

В задачи исследований входило исследование функционирования уреазы в генетических горизонтах почв деградированных агроэкосистем.

### Материал и методы исследования

Для исследования почвенного покрова деградированных агроэкосистем были выбраны модельные участки различной степени деградации. При их выборе учитывались такие факторы, как распространенность типа нарушения в пределах района исследований и степень антропогенной трансформации. Исследования проводились в 2022 г.

**Участок № 1.** Участок со степной растительностью (с. Малоорловка, Шахтерский район, 48°11'23.3"N 38°17'08.9"E). Общее проективное покрытие (ОПП) 95–100 %. Доминируют *Festuca valesiaca* Gaud., *Poa compressa* L., *Artemisia austriaca* Jacq., *Bromus squarossus* L., *Lotus ucrainicus* Klok. Рассеянно встречаются *Odontites vulgaris* Moench, *Medicago romanica* Prod., *Berteroa incana* (L.) DC., *Melilotus officinalis* (L.) Pall., *Chondrilla juncea* L., *Asparagus polyphyllus* Stev., *Centaurea diffusa* Lam., *Artemisia absinthium* L., *Linaria genistifolia* (L.) Mill, *Lepidium campestre* (L.) R. Br., *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth. Единично растут *Acillea nobilis* L., *Koeleria cristata* (L.) Pers., *Potentilla impolita* Wahlenb., *Vicia tenuifolia* Roth, *Echium vulgare* L., *Agrimonia eupatoria* L., *Salvia officinalis* L., *Tanacetum vulgare* L., *Scorzonera mollis* Bieb., *Eryngium campestre* L., *Cichorium intybus* L., *Echium vulgare* L., *Daucus carota* L.

**Разрез № 1.** Чернозем обыкновенный среднemocный среднегумусный.

А – 0–27 см. Свежий, темно-бурый однородный, легкосуглинистый, среднезернистый, умеренно плотный. Новообразований и включений не отмечено. Густые корни. Переход в горизонт В ясный, волнистый по цвету.

В – Сухой, светло-каштановый, однородный, легкосуглинистый, среднезернистый, умеренно плотный, каменистость – 15 %. Новообразований и включений не отмечено. Единичные корни. Прослежен до глубины 43 см.

Данный участок рассматривается нами как условный контроль.

**Участок № 2.** Склоновый участок поля под яровой пшеницей (с. Славное, Шахтерский район, 48°12'45.0"N 38°19'57.1"E).

**Разрез № 2.** Чернозем щебневатый среднесмытый на элювии твердых некарбонатных пород.

А – 0–12 см. Сухой, структурный, темно-бурый, однородный, среднесуглинистый, пылевато-зернистый, уплотненный. Новообразований и включений не отмечено. Много корней. Переход в горизонт В резкий, волнистый по цвету.

В – Сухой, структурный, палево-бурый, однородный, среднесуглинистый, комковато-зернистый, плотный. Отмечаются выцветы солей (белесые). Каменистость – 12 %. Единичные корни. Прослежен до глубины 37 см.

**Участок № 3.** Поле под яровой пшеницей первый год после пара (с. Славное, Шахтерский район, 48°12'47.2"N 38°19'48.8"E).

**Разрез № 3.** Чернозем щебневатый на элювии твердых некарбонатных пород.

А – 0–23 см. Свежий, структурный, темно-бурый, однородный, среднесуглинистый, пылевато-зернистый, слабо уплотненный. Новообразований и включений не отмечено. Много корней. Переход в горизонт В ясный, волнистый по цвету.

В – Свежий, структурный, палево-бурый, однородный, среднесуглинистый, комковато-зернистый, плотный. Отмечаются выцветы солей (белесые). Единичные корни. Прослежен до глубины 43 см.

**Участок № 4.** Выведенные из сельскохозяйственного использования земли для выгона скота (с. Славное, Шахтерский район, 48°13'06.6"N 38°20'02.0"E). ОПП 85–90 %, доминируют *F. valesiaca*, *Elytrigia repens* (L.), *L. genistifolia*, *A. absinthium*, также представлены *L. ucrainicus*, *D. carota*, *E. vulgare*, *Ambrosia artemisifolia* L., *Verbascum lychnitis* L., *L. genistifolia*.

**Разрез № 4.** Чернозем щебневатый на элювии твердых некарбонатных пород.

А – 0–12 см. Сухой, структурный, светло-бурый, однородный, среднесуглинистый, глыбисто-комковатый, слабо уплотненный. Новообразований и включений не отмечено. Густые корни. Переход в горизонт В постепенный, языковатый по цвету.

В – Сухой, структурный, светло-серый, однородный, среднесуглинистый, комковато-зернистый, плотный. Отмечаются выцветы солей (белесые). Редкие корни. Прослежен до глубины 32 см.

**Участок № 5.** Поле под паром (с. Славное, Шахтерский район, 48°13'19.1"N 38°20'09.7"E).

**Разрез № 5.** Чернозем щебневатый на элювии твердых некарбонатных пород.

А – 0–17 см. Свежий, структурный, буро-черный, однородный, среднесуглинистый, зернисто-порошистый, слабо уплотненный. Новообразований и включений не отмечено. Единичные корни. Переход в горизонт В постепенный, волнистый по цвету.

В – Свежий, структурный, серо-черный, однородный, среднесуглинистый, зернистый, плотный. Отмечаются выцветы солей (белесые). Прослежен до глубины 36 см.

**Участок № 6.** Поле под яровым ячменем (с. Малоорловка, Шахтерский район, 48°10'46.5"N 38°17'39.1"E).

**Разрез № 6.** Чернозем щебневатый на элювии твердых некарбонатных пород.

А – 0–12 см. Сухой, структурный, темно-бурый, однородный, среднесуглинистый, зернистый, слабо уплотненный. Новообразований и включений не отмечено. Единичные корни. Переход в горизонт В резкий, волнистый по структуре.

В – Сухой, структурный, черный, однородный, среднесуглинистый, плитчатый, плотный. Прослежен до глубины 27 см.

**Участок № 7.** Поле под яровой пшеницей (с. Малоорловка, Шахтерский район, 48°10'15.2"N 38°17'36.3"E).

**Разрез № 7.** Чернозем щебневатый на элювии твердых некарбонатных пород.

А – 0–35 см. Свежий, структурный, серовато-черный, однородный, среднесуглинистый, зернистый, слабо уплотненный. Новообразований и включений не отмечено. Единичные корни. Переход в горизонт В постепенный, размытый по цвету.

В – Свежий, структурный, светло-бурый, однородный, среднесуглинистый, зернистый, плотный. Прослежен до глубины 48 см.

**Участок № 8.** Склоновый участок поля под яровым ячменем (с. Малоорловка, Шахтерский район, 48°10'04.1"N 38°17'37.8"E).

**Разрез № 8.** Чернозем щебневатый среднесмытый на элювии твердых некарбонатных пород.

А – 0–17 см. Сухой, структурный, палево-бурый, однородный, среднесуглинистый, пылевато-зернистый, плотный. Новообразований и включений не отмечено. Единичные корни. Переход в горизонт В постепенный, размытый по цвету.

В – Сухой, структурный, светло-бурый, однородный, среднесуглинистый, зернистый, плотный. Прослежен до глубины 29 см.

Описание почвенных разрезов проводили согласно общепринятым методикам [6, 10]. Отбор почвенных образцов проводили по почвенным горизонтам [7]. Определение активности уреазы проводилось согласно методике К. Ш. Казеева [3]. Статистическая

обработка экспериментальных данных проводилась по общепринятым методам параметрической статистики на 5 % уровне значимости [9].

### Результаты и обсуждение

Анализ данных табл. 1 свидетельствует о том, что максимальная активность уреазы наблюдается на участке, выведенном из сельскохозяйственного использования для выгона скота (участок № 4), достигая значений зональной почвы. Высокие показатели ферментативной активности на данном участке обусловлены наличием большого количества органического вещества, которое является источником фермента и одновременно содержит субстрат для его работы. На участке, выведенном под пар (участок № 5), активность уреазы по отношению к контрольным показателям составляет 95–96 % и примерно одинакова в горизонтах А и В. Это может объясняться тем, что после вспашки при отсутствии растительного покрова происходит смешение почв двух горизонтов и как следствие – зафиксированы идентичные показатели ферментативной активности. Возделывание пшеницы на участке первого года после пара привело к незначительному снижению (на 17 %) уреазной активности в пахотном горизонте, что, вероятнее всего, обусловлено перестройкой ценоза почвенных микроорганизмов при интенсификации агрогенной нагрузки, однако в нижележащем горизонте показатели ферментативной активности статистически достоверно не отличались от контроля (табл. 1).

Таблица 1

#### Активность уреазы (мг $\text{NH}_3/10$ г почвы за сутки) в почвах сельскохозяйственных угодий

| Участок / горизонт | $M \pm m$       | % к контролю | Tst  |
|--------------------|-----------------|--------------|------|
| № 1 А              | $6,52 \pm 0,23$ | –            | –    |
| № 1 В              | $4,87 \pm 0,19$ | –            | –    |
| № 2 А              | $4,27 \pm 0,16$ | 65,5         | 8,03 |
| № 2 В              | $4,12 \pm 0,18$ | 84,6         | 2,87 |
| № 3 А              | $5,43 \pm 0,32$ | 83,3         | 2,77 |
| № 3 В              | $4,62 \pm 0,29$ | 94,9         | 0,72 |
| № 4 А              | $6,37 \pm 0,34$ | 97,7         | 0,37 |
| № 4 В              | $4,91 \pm 0,28$ | 100,8        | 0,12 |
| № 5 А              | $6,29 \pm 0,24$ | 96,5         | 0,69 |
| № 5 В              | $4,63 \pm 0,27$ | 95,1         | 0,73 |
| № 6 А              | $5,97 \pm 0,08$ | 91,6         | 2,14 |
| № 6 В              | $4,41 \pm 0,14$ | 90,4         | 2,23 |
| № 7 А              | $5,12 \pm 0,31$ | 78,5         | 3,63 |
| № 7 В              | $4,78 \pm 0,15$ | 98,2         | 0,37 |
| № 8 А              | $4,72 \pm 0,21$ | 72,4         | 5,78 |
| № 8 В              | $4,48 \pm 0,03$ | 92,0         | 2,03 |

Примечание. % – процент превышения значений по отношению к аналогичным почвенным горизонтам участка № 1, Tst – значения критерия Стьюдента, \* – различия статистически достоверны при  $p < 0,05$ .

Неодинаковая интенсивность выноса минеральных форм азота сельскохозяйственными культурами обусловила различия и в активности уреазы. Так, если в пахотном горизонте поля под пшеницей отмечено угнетение функционирования фермента, выражающееся в уменьшении активности на 21 % по сравнению с зональной почвой, то в обоих почвенных горизонтах поля под ячменем не зафиксировано статистически достоверных различий относительно контрольных показателей (см. табл. 1). Самые низкие показатели

ферментативной активности уреазы, не превышающие 72 % по сравнению с зональной почвой наблюдаются в пахотном горизонте склоновых участков полей под зерновыми культурами (участки № 2 и 8) с максимальным уровнем развития деградационных процессов.

Изменение активности уреазы по горизонтам имеет достаточно четкую картину. Так, практически на всех мониторинговых участках уреазная активность в горизонте А выше, чем в горизонте В, так как данный фермент иммобилизуется в месте своего образования, а именно в верхнем горизонте почвы, и подвержен слабой миграции в пределах почвенного профиля.

Распашка почв ведет к угнетению активности уреазы, так как данный фермент активизируется преимущественно в верхнем, гумусо-аккумулятивном горизонте. На склоновых участках также отмечена инактивация функционирования данного фермента в связи с вымыванием органической составляющей почвы, что хорошо прослеживается при анализе показателей энзиматической активности на модельных участках № 2 и 8.

Таким образом, низкое количество почвенных микроорганизмов, связанное с укороченностью почвенного профиля и развитием деградационных процессов различного генезиса привело к угнетению функционирования уреазы почв модельных участков, а уровень ее активности согласно шкале Гапонюка и Малахова определен как «слабый» [3].

### Выводы

Анализ полученных данных показал приуроченность уреазы к верхним генетическим горизонтам. В пахотном горизонте склоновых участков полей с усилением и наложением нескольких видов деградационных процессов активность изученного фермента была наиболее низкой, снижаясь на 28–35 % по сравнению с показателями зональной почвы. Выведение угодий из активного сельскохозяйственного производства позитивно сказывается на функционировании уреазы, активность которой на данных участках (№ 4, 5) статистически достоверно не отличалась от контроля.

### Информация о финансировании работы

Работа выполнена в рамках госзадания ФГБНУ Донецкий ботанический сад по теме FREG-2023-0002 «Качественные и функциональные характеристики почв сельскохозяйственных угодий в степной зоне и пути восстановления их биологической продуктивности», № 123101300198-З.

### Список литературы

1. Березовский А. С., Сыщиков Д. В. Активность уреазы почв антропогенных территориальных комплексов Донецко-Макеевской агломерации // Промышленная ботаника. 2023. Т. 23, № 3. С. 42–51.
2. Галстян А. Ш. Ферментативная активность почв Армении. Ереван-Айастан, 1974. 275 с.
3. Казеев К. Ш., Колесников С. И., Вальков В. Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Ростов н/Д : Изд-во РГУ, 2003. 216 с.
4. Козлов К. А. Биологическая активность почвы // Изв. АН СССР. Сер. биол. 1966. № 5. С. 719–733.
5. Краснова Н. М. Активность почвенных ферментов в условиях техногенного загрязнения // Химия в сельском хозяйстве. 1982. Т. 20, № 3. С. 28–30.
6. Методические рекомендации по морфологическому описанию почв / сост. Дюкарев А. Г., Пологова Н. Н., Герасько Л. И. Томск : Изд-во СО РАН. 1999. 39 с.
7. Методы почвенной микробиологии и биохимии / под. ред. Д. Г. Звягинцева. М. : Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
8. Наими О. И. Закономерности профильного распределения уреазы в черноземе обыкновенном в агроценозе // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2019. № 8–1. С. 12–14.

9. *Приседський Ю. Г.* Статистична обробка результатів біологічних експериментів : навчальний посібник. Донецьк : Касіопія, 1999. 210 с.
10. *Розанов Б. Г.* Морфология почв. М. : Академический проект, 2004. 432 с.
11. *Фомина Н. В.* Особенности ферментативных процессов почв лесных питомников Красноярского края // Вестник КрасГАУ. 2008. № 2. С. 135–142.
12. *Хазиев Ф. Х.* Функциональная роль ферментов в почвенных процессах // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2015. Т. 20, № 2 (78). С. 14–24.
13. *Шорец М. А., Балаева-Тихомирова О. М.* Ферментативная активность почв областных центров Республики Беларусь // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя 5. Хімія. Біялогія. Навукі аб зямлі. 2018. № 1. С. 7–14.
14. *Holik L., Hlisnikovsky L., Honzik R., Trogl J., Burdova H., Popelka J.* Soil microbial communities and enzyme activities after long-term application of inorganic and organic fertilizers at different depths of the soil profile // Sustainability. 2019. N 11 (12). P. 1–14. DOI : 10.3390/su11123251
15. *Martinez J., McLaren J., Tweedie C., Darrouzet-Nardi A.* Soil enzymes are preferentially associated with larger particles in highly organic Arctic tundra soils // Elementa Science of the Anthropocene. 2021. N 9 (1). P. 1–14. DOI : 10.1525/elementa.2021.00020
16. *Utobo E. B., Tewari L.* Soil enzymes as bioindicators of soil ecosystem status // Applied Ecology and Environmental Research. 2015. Vol. 13, N 1. P. 147–169. DOI : 10.15666/aer/1301\_147169

**Berezovskiy A. S., Syshchykov D. V. Spreading of urease activity along the soil profile of agricultural lands in the Shakhtersky district of the DPR.** – Investigation was carried out on the urease activity of agricultural soils in the northern part of the Shakhtersky district of the DPR. The urease activity is shown to be confined to the upper genetic horizons. Overlay of several types of degradation processes has the most negative effect on the activity of the studied enzyme (a decrease of 28–35 % compared to the control). Removing land from active agricultural production has a positive effect on the functioning of urease.

*Key words:* agroecosystem, degradation, enzymes, soil, urease.

© О. В. Чемерис

**БИОСИНТЕЗ ЦЕЛЛЮЛАЗ ГРИБОМ *IRPEX LACTEUS* (FR.) FR. ПРИ КУЛЬТИВИРОВАНИИ НА РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДАХ**

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»

Россия, 283050, ДНР, г. Донецк, ул. Щорса, 46

chemeris07@rambler.ru

**Чемерис О. В. Биосинтез целлюлаз грибом *Irpex lacteus* (Fr.) Fr. при культивировании на растительных отходах.** – Показана возможность использования в качестве индуктора эффективного синтеза целлюлаз грибом *Irpex lacteus* растительных отходов – соломы озимой пшеницы и листьев початков кукурузы (талаша). Установлен характер изменения активности внеклеточных целлюлаз и редуцирующих сахаров в культуральной жидкости штаммов *I. lacteus* 1080 и 1632. Высокая эндоглюканазная активность штаммов-продуцентов наблюдалась при культивировании на кукурузном талаше.

*Ключевые слова:* целлюлазы, эндоглюканаза, растительные отходы, *Irpex lacteus*, штаммы-продуценты.

**Введение**

Ферментативные технологии стали одним из наиболее эффективных средств трансформации многих видов растительного сырья [7, 13]. Использование ферментов в качестве биокатализаторов позволяет существенно расширить сырьевую базу пищевой промышленности [17], повысить глубину переработки сырья и создать новые продукты, представляющие коммерческий интерес: биоэтанол [21], органические кислоты [18], антибиотики и корма для животных [10]. Ферментативный катализ более выгоден, чем химические способы, поскольку он обеспечивает более высокие выходы продуктов, снижает спрос на сырье и сокращает выбросы и отходы, что приводит к экономии средств и уменьшению образования загрязняющих веществ [17]. Однако стоимость производства и низкий выход целлюлазы, отсутствие высокопроизводительных технологий биоконверсии лигноцеллюлозы в асептических условиях ограничивают применение ферментативного гидролиза в промышленности [7, 17].

Целлюлозолитические ферменты играют ключевую роль в процессе гидролиза целлюлозных субстратов и превращении их в растворимые моносахара. Для эффективного гидролиза целлюлозного субстрата необходимы три типа синергически действующих ферментов: эндоглюканазы, экзоглюканазы и  $\beta$ -глюкозидаза [15, 19, 22]. Также отмечено участие литических полисахаридмонооксигеназ – ферментов, расщепляющих гликозидные связи по окислительному механизму [3]. Эффективность ферментативной конверсии целлюлозосодержащего сырья зависит от сбалансированного состава целлюлазного комплекса, поэтому поиск новых продуцентов целлюлаз как среди разных групп организмов [11, 17], так и их создание с помощью генетической инженерии [2] остается актуальной задачей. Потенциальными продуцентами ферментов целлюлазного комплекса являются бактерии и грибы [13, 17], в том числе и базидиальные [15].

Целлюлазы являются индуцируемыми ферментами, и наиболее проблемным и дорогостоящим аспектом их промышленного производства является использование соответствующего индуктора. Одним из эффективных подходов к снижению стоимости производства ферментов является замена чистой целлюлозы на относительно более дешевые лигноцеллюлозные субстраты с контролем динамики индукции и подавления [19, 20]. Использование растительных агропромышленных отходов для производства целлюлаз является многообещающим подходом [12, 19]. Высокий выход целлюлозолитических ферментов может быть обусловлен как оптимальными условиями культивирования продуцента [6], так и оптимизацией ферментативного гидролиза субстратов [8].

Целью данной работы являлось исследование способности штаммов гриба *Irpex lacteus* (Fr.) Fr. к синтезу внеклеточных целлюлаз при культивировании на растительных отходах.

### Материал и методы исследования

Объектами исследования были штаммы-продуценты внеклеточных целлюлаз 1080 и 1632 базидиального гриба *Irpex lacteus* (Fr.) Fr. из коллекции культур кафедры физиологии растений ФГБОУ ВО «ДонГУ» и Коллекции культур шляпочных грибов Института ботаники им. Н. Г. Холодного НАН Украины (ИБК).

Штаммы *I. lacteus* культивировали на растительных отходах агропромышленного комплекса – соломе озимой пшеницы и кукурузном талаше (листья початков) в колбах Эрленмейера объемом 100 мл с 50 мл дистиллированной воды. Растительные отходы измельчали до конечного размера частиц 0,5–0,7 см и вносили в количестве 2 %. Культивирование продуцентов проводили в течение 30-ти суток при температуре 32 °С. В качестве инокулюма использовали блоки размером 5×5 мм семисуточной культуры штамма, выращенного на картофельно-глюкозном агаре.

Активность целлюлозолитических ферментов культуральной жидкости (КЖ) штаммов-продуцентов *I. lacteus* была определена относительно следующих субстратов: фильтровальная бумага (Filtrak, плотность 90 г/м<sup>2</sup>) – общая целлюлозолитическая активность, или ФБ-активность, Na-карбоксиметилцеллюлоза (C5678, Sigma, США) – эндоглюканазная активность. Состав реакционных смесей для определения целлюлозолитической активности и условия проведения реакций соответствовали общепринятым методикам [4, 5, 14]. За единицу целлюлозолитической активности (Ед.) принимали такое количество фермента, которое образовывало 1  $\mu\text{mol}$  редуцирующих сахаров в течение 1 мин в условиях опыта ( $t = +37^\circ\text{C}$ ). Удельную активность (Ед./мг) определяли отношением общей активности культуральной жидкости (Ед./мл) к содержанию белка в культуральной жидкости (мг/мл). Концентрацию редуцирующих сахаров в перерасчете на глюкозу определяли методом Шомодьи-Нельсона [4, 5, 16].

Содержание белка в культуральной жидкости определяли по методу Бредфорда [9].

Исследования проводили в трехкратной повторности. Статистическую обработку полученных данных осуществляли методом дисперсионного анализа качественных и количественных признаков, а сравнение средних арифметических величин – по критерию Дункана [1].

### Результаты и обсуждение

Данные, представленные на рис. 1, свидетельствуют о разном характере проявления целлюлозолитической активности относительно фильтровальной бумаги штаммов-продуцентов гриба *I. lacteus* при культивировании их на лигноцеллюлозных отходах – пшеничной соломе и листьях кукурузных початков.

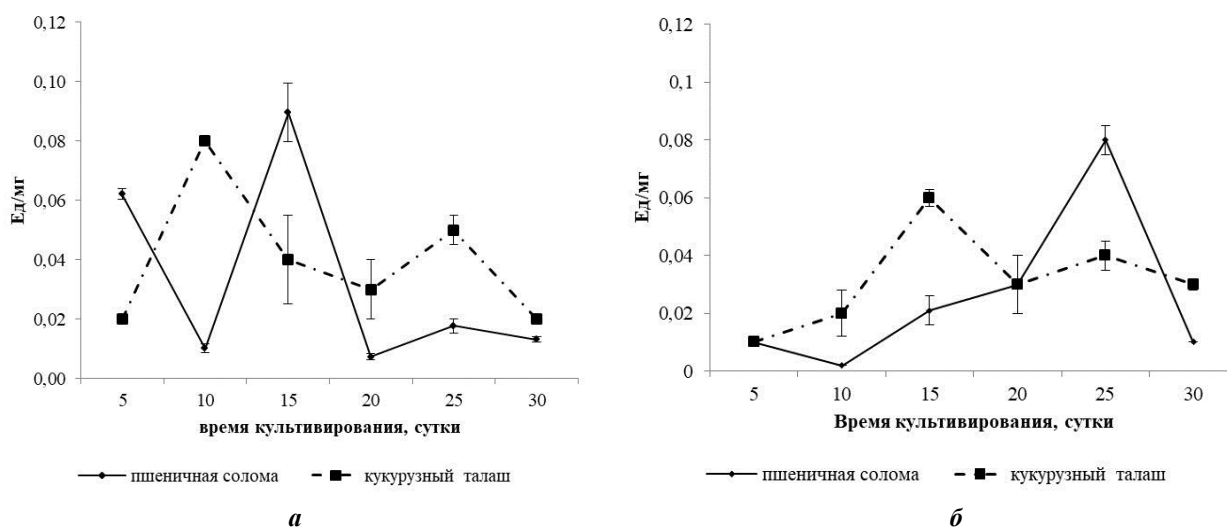


Рис. 1. Удельная общая целлюлозолитическая активность штаммов *I. lacteus* при культивировании на растительных отходах: а – штамм 1080, б – штамм 1632

При использовании в качестве субстрата пшеничной соломы установлены два пика максимальной ФБ-активности культуральной жидкости – на 5-е и 15-е сутки культивирования штамма *I. lacteus* 1080. Снижение общей целлюлозолитической активности более чем на 80 % отмечено на 20-е сутки культивирования данного продуцента. При культивировании штамма *I. lacteus* 1080 на кукурузном талаше также отмечены два пика максимальных значений ФБ-активности на 10-е сутки на уровне 0,08 Ед./мг и на 25-е сутки – 0,05 Ед./мг (рис. 1, а).

Для штамма *I. lacteus* 1632 выявлена иная закономерность проявления ферментативной активности при культивировании на растительных отходах. Максимум ФБ-активности культуральной жидкости продуцента наблюдался на 25-е сутки при использовании пшеничной соломы и на 15-е сутки при культивировании на листьях початков кукурузы (рис. 1, б).

На рис. 2 представлена удельная эндогликаназная активность штаммов *I. lacteus* при культивировании на растительных отходах. Установлено, что при использовании пшеничной соломы активность эндогликаназы культуральной жидкости значительно снижалась на 20-е сутки как для штамма *I. lacteus* 1080, так и для штамма 1632.

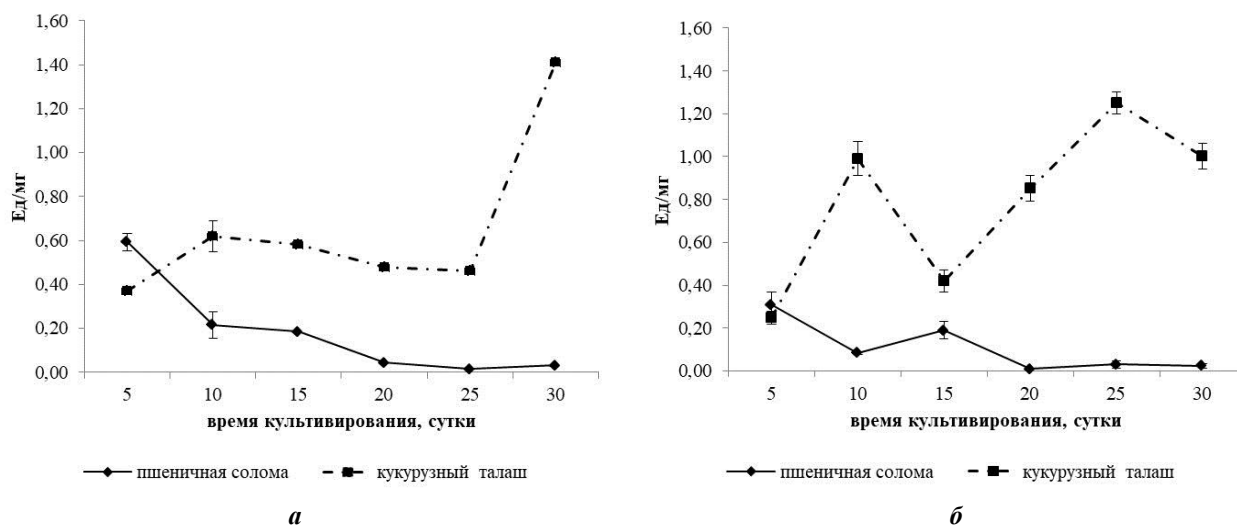


Рис. 2. Удельная эндогликаназная активность штаммов *I. lacteus* при культивировании на растительных отходах: а – штамм 1080, б – штамм 1632

При использовании кукурузного талаша характер изменения активности внеклеточных эндогликаназ был иной. Так, для штамма 1080 ферментативная активность культуральной жидкости находилась на одном уровне с 10-х по 25-е сутки культивирования (рис. 2, а). На 30-е сутки культивирования активность внеклеточной эндогликаназы возрастала более чем в 3 раза. Для штамма *I. lacteus* 1632 наблюдались два пика максимальных значений целлюлозолитической активности относительно Na-карбоксиметилцеллюлозы – на 10-е сутки и на 25-е сутки культивирования (рис. 2, б).

Нами также было исследовано содержание редуцирующих сахаров в культуральной жидкости штаммов *I. lacteus* при культивировании на растительных отходах – пшеничной соломе и кукурузном талаше (рис. 3). Достаточно высокое содержание редуцирующих сахаров наблюдалось на 5-е сутки культивирования штамма *I. lacteus* 1080 на пшеничной соломе. Именно в этот период отмечены высокие удельные активности внеклеточных целлюлаз относительно фильтровальной бумаги и Na-карбоксиметилцеллюлозы, что может указывать на активное освоение лигноцеллюлозного субстрата штаммом-продуцентом (см. рис. 1, а и рис. 2, а). В целом, содержание редуцирующих сахаров в культуральной жидкости штамма *I. lacteus* 1080 снижалось на протяжении всего процесса культивирования как на пшеничной соломе, так и на отходах кукурузы.

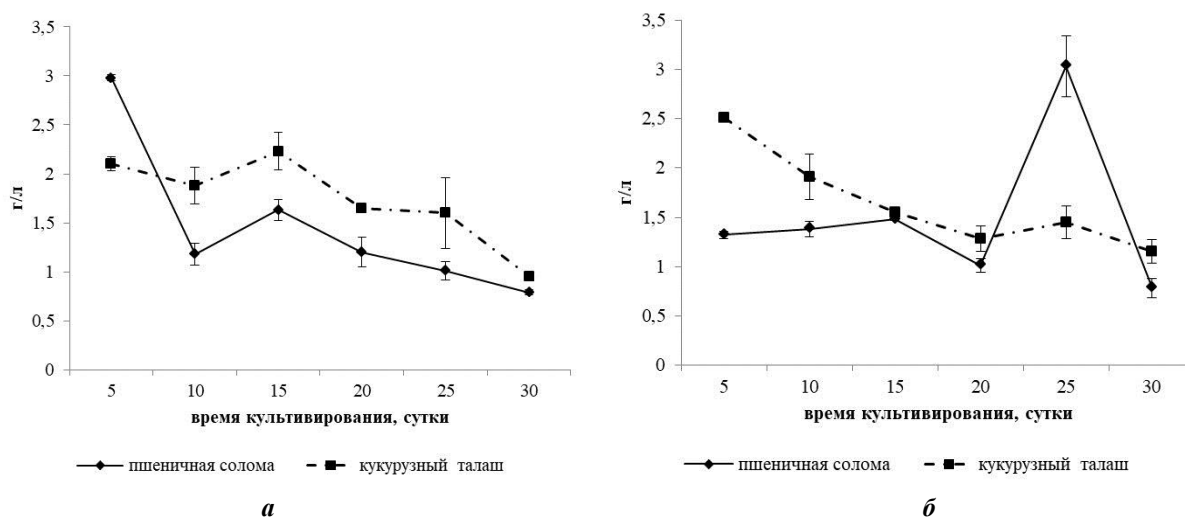


Рис. 3. Содержание редуцирующих сахаров в культуральной жидкости при культивировании штаммов *I. lacteus* на растительных отходах: а – штамм 1080, б – штамм 1632

Снижение содержания редуцирующих сахаров в культуральной жидкости наблюдалось и при культивировании штамма *I. lacteus* 1632 на растительных отходах (см. рис. 3, б). Однако при использовании в качестве субстрата пшеничной соломы отмечено максимальное содержание редуцирующих сахаров на 25-е сутки культивирования – в период высокой общей целлюлозолитической активности (см. рис. 1, б).

### Выводы

Исследование показало, что штаммы гриба *I. lacteus* 1080 и 1632 способны к синтезу ферментов целлюлозолитического действия при культивировании на растительных отходах – соломе озимой пшеницы и листьях початков кукурузы. При использовании отходов кукурузы активность эндоглюканаз штаммов *I. lacteus* была выше, чем при культивировании на пшеничной соломе.

Исследование проведено в рамках выполнения государственного задания по теме «Биологические способы переработки растительных отходов агропромышленного комплекса» (№ госрегистрации 124012400346-5).

### Список литературы

1. Приседський Ю. Г. Статистична обробка результатів біологічних експериментів : навч. посібник. Донецьк : Кассиопея, 1999. 210 с.
2. Проскурина О. В., Короткова О. Г., Рожкова А. М., Матыс В. Ю., Кошелев А. В., Окунев О. Н., Немайшало В. А., Сеницына О. А., Сеницын А. П. Применение технологии «фьюжн» для создания высокоэффективных биокатализаторов на основе рекомбинантных штаммов гриба *Penicillium verruculosum* для конверсии целлюлозосодержащей биомассы // Катализ в промышленности. 2013. № 5. С. 65–73.
3. Сеницын А. П., Гусаков А. В., Черноглазов В. М. Биоконверсия лигноцеллюлозных материалов : уч. пособие. М. : Изд-во МГУ, 1995. 224 с.
4. Сеницын А. П., Сеницына О. А., Зоров И. Н., Рожкова А. М. Карбогидразы – 50 лет исследований на кафедре химической энзимологии МГУ имени М. В. Ломоносова, история и перспективы // Вестник Московского университета. Серия 2: Химия. 2023. Т. 64, № 4. С. 312–333. DOI : 10.55959/MSU0579-9384-2-2023-64-4-312-333.
5. Сеницын А. П., Черноглазов В. М., Гусаков А. В. Методы изучения и свойства целлюлозолитических ферментов // Итоги науки и техники. Сер. Биотехнология. 1993. Т. 25. 152 с.
6. Чемерис О. В. Влияние условий культивирования на биосинтез ферментов целлюлазного комплекса штаммом *Irpex lacteus* 2434 // Вестник Донецкого национального

университета. Серия А: Естественные науки. 2023. № 4. С. 115–120.

7. Шубаков А. А., Михайлова Е. А., Мартынов В. В. Биоконверсия целлюлозосодержащего сырья. Ферментативный гидролиз целлюлозы (обзор литературы) // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2022. № 4 (56). С. 27–38. DOI : 10.19110/1994-5655-2022-4-27-38.

8. Boiko S. Optimization of the catalytic process and increase of the *Irpex lacteus* cellulases yield for saccharification // Bioresource Technology Reports. 2021. Vol. 15. P. 100780. DOI : 10.1016/j.biteb.2021.100780.

9. Bradford M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding // Anal. Biochem. 1976. Vol. 72. P. 248–254.

10. Cao Y., Zhang H., Xiong P. Application of cellulase-assisted method to extract flavonoids from plants // Agricultural Science & Technology. 2014. Vol. 15. P. 729.

11. Das A., Paul T., Halder S. K., Maity Ch., Mohapatra P. K. D., Pati B. R., Mondal K. Ch. Study on regulation of growth and biosynthesis of cellulolytic enzymes from newly isolated *Aspergillus fumigatus* ABK9 // Polish Journal of Microbiology. 2013. Vol. 62, N 1. P. 31–43. DOI : 10.33073/pjm-2013-004.

12. Du W., Yu, H., Song L., Zhang J., Weng C., Ma F., Zhang X. The promoting effect of byproducts from *Irpex lacteus* on subsequent enzymatic hydrolysis of bio-pretreated cornstalks // Biotechnol. Biofuels. 2011. Vol. 4. N 37. DOI : 10.1186/1754-6834-4-37.

13. Ejaz U., Sohail M., Ghanemi A. Cellulases: from bioactivity to a variety of industrial applications // Biomimetics. 2021. Vol. 6, N 44. DOI : 10.3390/biomimetics6030044.

14. Ghose T. K. Measurement of cellulase activity // Pure Appl. Chem. 1987. Vol. 59, N 2. P. 257–268.

15. Hai Ph. Q., Nozaki K., Amano Y., Kanda T. Synergistic effects of cellobiose dehydrogenase, cellulases, and  $\beta$ -glucosidase from *Irpex lacteus* in the degradation of various types of cellulose // J. Appl. Glycosci. 2002. Vol. 49, N 1. P. 9–17.

16. Nelson N. A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of sugars // J. Biol. Chem. 1944. Vol. 153, N 2. P. 375–379.

17. Sajith S., Priji P., Sreedevi S., Benjamin S. An overview on fungal cellulases with an industrial perspective // J. Nutr. Food Sci. 2016. Vol. 6, N 1. P. 461. DOI : 10.4172/2155-9600.1000461.

18. Shen X., Xia L. Lactic acid production from cellulosic material by synergetic hydrolysis and fermentation // Appl. Biochem. Biotechnol. 2006. Vol. 133. P. 251–262.

19. Srivastava N., Srivastava M., Manikanta A., Ramteke P. W., Singh R. L., Mishra P. K., Upadhyay S. N. Fungal cellulases production for biodegradation of agriculture waste / Microorganisms for Green Revolution. 2018. P. 75–89.

20. Sukumaran R. K., Singhania R. R., Pandey A. Microbial cellulases: Production, application and challenges // J. Sci. Ind. Res. 2005. Vol. 64. P. 832–844.

21. Yinbo Q., Zhu M., Liu K., Bao X., Lin J. Studies on cellulosic ethanol production for sustainable supply of liquid fuel in China // Biotechnol. J. 2006. Vol. 1. P. 1235–1240.

22. Zhang Y.-H. P., Lynd L. R. Toward an aggregated understanding of enzymatic hydrolysis of cellulose: noncomplexed cellulase systems // Biotechnol. Bioeng. 2004. Vol. 88, N 7. P. 797–824. DOI : 10.1002/bit.20282.

**Chemeris O. V. Biosynthesis of cellulases by the fungus *Irpex lacteus* (Fr.) Fr. during cultivation on plant waste.** – The possibility of using plant agricultural waste – winter wheat straw and corn cob leaves as an inducer of effective synthesis of cellulases by the *Irpex lacteus* fungus. The nature of changes in the activity of extracellular cellulases and reducing sugars in the culture liquid of *I. lacteus* strains 1080 and 1632 has been established. High endoglucanase activity of producing strains was observed during cultivation on corn cob leaves.

*Key words:* cellulases, endoglucanase, plant waste, *Irpex lacteus*, producing strains.

Научно-практический журнал

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И ОХРАНЫ ПРИРОДЫ  
ТЕХНОГЕННОГО РЕГИОНА

2024

№ 1

Учредитель: ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»

Свидетельство о регистрации СМИ, выданное Министерством информации ДНР:  
Серия ААА № 000073 от 21.11.2016 г.

Оригинал-макет: А. Д. Штирц

Адрес редакции:

Россия, 283050, ДНР, г. Донецк, ул. Щорса, 46, к. 310  
Донецкий государственный университет,  
биологический факультет

Тел.: +7 (856) 302-09-95; +7 (949) 419-59-19  
e-mail: eco-1999@mail.ru

Сайт журнала: <http://donnu.ru/ecolog>